



В. В. Горбачев КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ



Рекомендовано
Министерством образования Российской Федерации
в качестве учебного пособия
для студентов высших учебных заведений
Москва
«ОНИКС 21 век»
«Мир и Образование»
2003

УДК 50(075.8) ББК 20.1 Г67

Г67

Горбачев В. В.

Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

Концепции современного естествознания: Учеб. пособие для студентов вузов / В. В. Горбачев.—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

ISBN 5-329-00647-3 (ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век») ISBN 5-94666-055-1 (ООО «Издательство «Мир и Образование»)

В учебном пособии изложены физические принципы, позволяющие объяснить окружающий нас мир живой и неживой природы с позиций современной, в том числе постнеклассической, физики. Рассмотрены общие фундаментальные физические проблемы движения материальных объектов в представлениях классической, квантовой и релятивистской механик, взаимосвязи пространства и времени, модели происхождения, эволюции и организации Вселенной. Изложены физические основы экологии и роль биосферы и ноосферы в жизни человека и синергетические модели в экономике.

Пособие содержит интересные факты и гипотезы из различных областей физики и техники, биологии, химии, социологии и других наук. В книгу включены вопросы для самопроверки, обширный список литературы, темы рефератов, словарь терминов, используемых в современном естествознании.

Предназначено для студентов, аспирантов и преподавателей вузов. Полезно широкому кругу читателей, интересующихся проблемами современного естествознания.

Автор: ГОРБАЧЕВ В. В. — академик-секретарь секции физики Российской Академии естественных наук и действительный член Российской академии космонавтики им. Э. К. Циолковского, профессор, доктор физико-математических наук. Автор более 20 монографий и учебников. Заслуженный деятель науки РФ. Лауреат именных медалей РАЕН им. П. Л. Капицы и Петра I. Награжден серебряным крестом РАЕН, орденом Татищева «За пользу Отечеству». Лауреат премии А. Л. Чижевского «За вклад в пропаганду идей Чижевского и развития современного естествознания».

УДК 50(075.8) ББК 20.1

ISBN 5-329-00647-3 (ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век») ISBN 5-94666-055-1 (ООО «Издательство «Мир и Образование»)

© Горбачев В. В., 2003

© ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век». Оформление, 2003

Электронное оглавление

Электронное оглавление.....	3
Капсулы (вставки)	9
ПРЕДИСЛОВИЕ.....	10
Данный курс состоит из двух частей.....	10
Часть I. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СТРОЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНОГО МИРА	12
Глава 1. ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ ЕСТЕСТВОЗНАНИИ	12
Владимир Иванович Вернадский.....	13
1.1. Этапы развития и становления естествознания	15
1.1.1. Программа Платона	16
1.1.2. Представления Аристотеля	16
1.1.3. Модель Демокрита.....	17
1.2. Проблемы естествознания на пути познания мира	18
1.2.1. Физический рационализм.....	18
1.2.2. Методы познания	19
Эрнест Резерфорд	19
1.2.3. Целостное восприятие мира.....	20
1.2.4. Физика и восточный мистицизм.....	20
Лао-Цзы	21
Рис. 1.1	23
1.2.5. Взаимосвязь естественных и гуманитарных наук.....	23
Вернер Гейзенберг.....	25
1.2.6. Синергетическая парадигма.....	26
1.2.7. Универсальный принцип естествознания — принцип дополнительности Бора	27
Нильс Бор	27
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	32
ЛИТЕРАТУРА.....	32
Глава 2. МЕХАНИКА ДИСКРЕТНЫХ ОБЪЕКТОВ.....	32
2.1. Трехмерность пространства.....	33
2.2. Пространство и время	35
Исаак Ньютон	37
Рис. 2.1. Изображение мировой линии в пространственно-временной системе отсчета.....	38
2.3. Особенности механики Ньютона	39
2.4. Движение в механике	41
2.5. Законы Ньютона — Галилея.....	42
2.6. Законы сохранения	44
2.7. Принципы оптимальности	46
2.8. Механическая картина мира.....	48
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	49
ЛИТЕРАТУРА.....	49
Глава 3. ФИЗИКА ПОЛЕЙ	49
3.1. Определение понятия поля	49
Рис. 3.1. Модель силовых линий поля.....	50
3.2. Законы Фарадея — Максвелла для электромагнетизма.....	51
3.3. Электромагнитное поле	52
3.4. Гравитационное поле	53
3.5. Электромагнитная картина мира.....	55
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	55
ЛИТЕРАТУРА.....	55
Глава 4. ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ЭЙНШТЕЙНА — МОСТ МЕЖДУ МЕХАНИКОЙ И ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМОМ	55
4.1. Физические начала специальной теории относительности (СТО).....	56
А. Эйнштейн	56
4.1.1. Постулаты А. Эйнштейна в СТО.....	56
4.1.2. Принцип относительности Г. Галилея	57
Рис. 4.1.	57
Рис. 4.2. Преобразование Галилея $x' = x - vt$ связывает положение тела P в системах	

отсчета K и K'	58
Рис. 4.3. Изменение электромагнитных сил в неподвижной K и подвижной K' системах отсчета.	58
Рис. 4.4.	59
4.1.3. Теория относительности и инвариантность времени	59
4.1.4. Постоянство скорости света.....	60
Рис. 4.5. «Поезд Эйнштейна»	60
4.1.5. Преобразования Г. Лоренца	61
4.1.6. Изменение длины и длительности времени в СТО	61
Рис. 4.6. Сокращение длины отрезка в направлении перемещения для системы, движущейся со скоростью $v \approx c$	62
4.1.7. «Парадокс близнецов»	62
4.1.8. Изменение массы в СТО.....	63
4.2. Общая теория относительности (ОТО).....	64
4.2.1. Постулаты ОТО.....	64
4.2.2. Экспериментальная проверка ОТО	65
Рис. 4.7. Отклонение световых лучей от звезды S при прохождении около Солнца от прямолинейной траектории.....	65
4.2.3. Гравитация и искривление пространства.....	66
Рис. 4.8. Движение субъектов A и B с экватора точно на север по параллельным траекториям	67
4.2.4. Основные итоги основ теории относительности.....	68
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	68
ЛИТЕРАТУРА.....	69
Глава 5. ОСНОВЫ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ И КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ	69
5.1. Описание процессов в микромире	69
Первое.	69
Второе.	69
5.2. Необходимость введения квантовой механики	70
Эрвин Шрёдингер.....	70
абсолютно черное тело	71
корпускулярно-волновой дуализм.....	71
Луи де Бройль	71
5.3. Гипотеза Планка	72
Макс Планк	72
5.4. Измерения в квантовой механике	74
5.5. Волновая функция и принцип неопределенности В. Гейзенберга.....	74
Вольфганг Паули	75
5.6. Квантовая механика и обратимость времени.....	76
5.7. Квантовая электродинамика	76
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	77
ЛИТЕРАТУРА.....	77
Глава 6. ФИЗИКА ВСЕЛЕННОЙ	77
6.1. Космологическая модель А. Эйнштейна — А.А. Фридмана	77
6.2. Другие модели происхождения Вселенной.....	79
6.2.1. Модель Большого Взрыва	79
Георгий Антонович Гамов.....	81
6.2.2. Реликтовое излучение.....	82
6.2.3. Расширяется или сжимается Вселенная?	83
6.2.4. Сценарий развития Вселенной после Большого Взрыва.....	83
Рис. 6.1. Схема физической истории Вселенной.....	84
6.2.5. Модель раздувающейся Вселенной.....	85
6.3. Современные представления об элементарных частицах как первооснове строения материи Вселенной.....	86
Поль Дирак.....	88
6.3.1. Классификация элементарных частиц	88
Рис. 6.2. Схема классификации элементарных частиц	89
6.3.2. Кварковая модель.....	89
Таблица 6.1	90
Таблица 6.2	91
Таблица 6.3	91
6.4. Фундаментальные взаимодействия и мировые константы.....	91
6.4.1. Мировые константы.....	92

6.4.2. Фундаментальные взаимодействия и их роль в природе	93
6.4.3. Из чего же состоит вещество Вселенной?	94
Рис. 6.3. Возможные формы стабильной материи во Вселенной	95
6.4.4. Черные дыры	95
6.5. Модель единого физического поля и многомерность пространства—времени	97
6.5.1. Возможность многомерности пространства	98
Рис. 6.4. Модель трехмерного частотного пространства (ОД — оптический диапазон, видимая часть спектра, УФ — ультрафиолетовая, ИК — инфракрасная)	99
6.6. Устойчивость Вселенной и антропный принцип	99
6.6.1. Множественность миров	100
Рис. 6.5. Схематическое изображение областей, соответствующих устойчивым областям Вселенной	101
6.6.2. Иерархичность структуры Вселенной	101
Рис. 6.6. Масштабы Вселенной	102
Рис. 6.7. Масштабы микромира	103
6.7. Антивещество во Вселенной и антигалактики	103
6.8. Механизм образования и эволюции звезд	104
6.8.1. Протон-протонный цикл	105
Рис. 6.8. Схематическое изображение протон-протонной цепочки	106
6.8.2. Углеродо-азотный цикл	106
6.8.3. Эволюция звезд	107
Рис. 6.9. Главная последовательность звезд населения I, к которым относится Солнце ($m_{\odot}$ — масса Солнца)	108
Рис. 6.10. Диаграмма эволюции звезд населения I	109
6.8.4. Пульсары	109
Рис. 6.11. Модель пульсара, предложенная Голдом	110
6.8.5. Квазары	111
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	112
ЛИТЕРАТУРА	113

Глава 7. ПРОБЛЕМА «ПОРЯДОК—БЕСПОРЯДОК» В ПРИРОДЕ И ОБЩЕСТВЕ.

СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ	113
7.1. Неравновесная термодинамика и синергетика	114
7.2. Динамика хаоса и порядка	115
7.3. Модель Э. Лоренца	115
7.4. Диссипативные структуры	116
7.6. Реакции Белоусова — Жаботинского	116
7.7. Динамический хаос	117
7.8. Фазовое пространство	118
7.9. Аттракторы	118
Рис. 7.1. Изображение аттракторов на фазовых диаграммах	119
Рис. 7.2. Бифуркационная диаграмма (A — характеристика системы, λ — управляющий параметр)	119
7.10. Режим с обострением	122
7.11. Модель Пуанкаре описания изменения состояния системы	124
7.12. Динамические неустойчивости	125
7.13. Изменение энергии при эволюции системы	126
7.14. Гармония хаоса и порядка и «золотое сечение»	126
Леонардо да Винчи	127
7.15. Открытые системы	129
7.16. Принцип производства минимума энтропии	130
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	131
ЛИТЕРАТУРА	131

Глава 8. СИММЕТРИЯ И АСИММЕТРИЯ В РАЗЛИЧНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ

ПРОЯВЛЕНИЯХ	131
8.1. Симметрия и законы сохранения	133
8.2. Симметрия—асимметрия	134
8.3. Закон сохранения электрического заряда	135
8.4. Зеркальная симметрия	135
8.5. Другие виды симметрии	136
8.6. Хиральность живой и неживой природы	137
Рис. 8.1. Зеркальная симметрия молекул воды (а) и бутилового спирта (б)	138
8.7. Симметрия и энтропия	138
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	139
ЛИТЕРАТУРА	139

Глава 9. СОВРЕМЕННАЯ ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНАЯ КАРТИНА МИРА С ПОЗИЦИИ ФИЗИКИ.....	139
9.1. Классификация механик	140
Рис. 9.1. Куб фундаментальных физических теорий.	141
9.2. Современная физическая картина мира	141
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	143
ЛИТЕРАТУРА.....	144
Часть II. ФИЗИКА ЖИВОГО И ЭВОЛЮЦИЯ ПРИРОДЫ И ОБЩЕСТВА	145
Глава 10. ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ ЖИВОГО	145
Глава 11. ОТ ФИЗИКИ СУЩЕСТВУЮЩЕГО К ФИЗИКЕ ВОЗНИКАЮЩЕГО	146
11.1. Термодинамические особенности развития живых систем	147
11.1.1. Роль энтропии для живых организмов.....	148
11.1.2. Неустойчивость как фактор развития живого	149
11.2. Энергетический подход к описанию живого	150
11.2.1. Устойчивое неравновесие	151
11.3. Уровни организации живых систем и системный подход к эволюции живого	152
11.3.1. Иерархия уровней организации живого.....	153
11.3.2. Метод Фибоначчи как фактор гармонической самоорганизации.....	154
11.3.3. Физический и биологический методы изучения природы живого.....	155
11.3.4. Антропный принцип в физике живого.....	156
11.3.5. Физическая эволюция Л. Больцмана и биологическая эволюция Ч. Дарвина	157
11.4. Физическая интерпретация биологических законов	158
11.4.1. Физические модели в биологии.....	159
11.4.2. Физические факторы развития живого	161
11.5. Пространство и время для живых организмов.....	162
11.5.1. Связь пространства и энергии для живого	163
11.5.2. Биологическое время живой системы	163
11.5.3. Психологическое время живых организмов.....	165
11.6. Энтропия и информация в живых системах.....	167
11.6.1. Ценность информации	168
11.6.2. Кибернетический подход к описанию живого	170
11.6.3. Роль физических законов в понимании живого	171
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	172
ЛИТЕРАТУРА:	172
Глава 12. ФИЗИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ПРИНЦИПЫ БИОЛОГИИ	172
12.1. От атомов к протожизни	172
12.1.1. Гипотезы происхождения жизни.....	172
12.1.2. Необходимые факторы возникновения жизни	174
12.1.3. Теория абиогенного происхождения жизни А.И. Опарина.....	175
12.1.4. Гетеротрофы и автотрофы.....	176
12.2. Химические процессы и молекулярная самоорганизация	177
12.2.1. Химические понятия и определения	178
Рис. 12.1. Схема изменения свободной энергии и химической связи в молекулах живых организмов.....	181
12.2.2. Аминокислоты.....	182
12.2.3. Теория химической эволюции в биогенезе.....	182
12.2.4. Теория молекулярной самоорганизации М. Эйгена	183
12.2.5. Циклическая организация химических реакций и гиперциклы	184
12.3. Биохимические составляющие живого вещества	185
12.3.1. Молекулы живой природы.....	185
12.3.2. Мономеры и макромолекулы	186
12.3.3. Белки	187
Рис. 12.2. Структура белка-миоглобина.....	188
Рис. 12.3. Структуры 20 аминокислот, встречающихся в белках	189
12.3.4. Нуклеиновые кислоты	191
Рис. 12.4. Строение нуклеотида — мономера нуклеиновых кислот.	191
Рис. 12.5. Двойная спираль молекулы ДНК.....	192
Рис. 12.6. Построение нуклеиновой кислоты из нуклеотидов.	193
12.3.5. Углеводы.....	193
Рис. 12.7. Структура АТФ.	194
Рис. 12.8. Схема получения свободной энергии с участием АТФ.....	194
Рис. 12.9. Схема образования молекулы АТФ.....	194
Рис. 12.10. Схема цикла Липмана по участию молекул фосфора в энергетических процессах живого организма.	195
12.3.6. Липиды.....	195

Рис. 12.11. Структура ненасыщенных (а) и насыщенных (б) жирных кислот.	196
Рис. 12.12. Растворение ионного конца жирной кислоты в воде.	196
Рис. 12.13. Растворение углеводородных цепей мыла в масле.	197
12.3.7. Роль воды для живых организмов.	198
12.4. Клетка как элементарная частица молекулярной биологии.	199
12.4.1. Строение клетки.	200
Рис. 12.14. Строение клетки.	200
12.4.2. Процессы в клетке.	202
12.4.3. Клеточные мембраны.	203
12.4.4. Фотосинтез.	204
12.4.5. Деление клеток и образование организма.	205
Рис. 12.15. Клеточный цикл.	206
12.5. Роль асимметрии в возникновении живого.	207
12.5.1. Оптическая активность вещества и хиральность.	208
12.5.2. Гомохиральность и самоорганизация в живых организмах.	209
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.	211
ЛИТЕРАТУРА.	212
Глава 13. ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ВОСПРОИЗВОДСТВА И РАЗВИТИЯ ЖИВЫХ СИСТЕМ.	212
13.1. Информационные молекулы наследственности.	212
13.1.1. Генетический код.	213
13.1.2. Гены и квантовый мир.	214
Иерархия и сопоставление элементов в физическом и генетическом атомизме.	215
13.2. Воспроизводство и наследование признаков.	215
13.2.1. Генотип и фенотип.	216
Геном.	216
Генофонд.	216
13.2.2. Законы генетики Г. Менделя.	216
13.2.3. Хромосомная теория наследственности.	217
13.3. Процессы мутагенеза и передача наследственной информации.	218
13.3.1. Мутации и радиационный мутагенез.	218
Николай Владимирович Тимофеев-Ресовский.	219
13.3.2. Мутации и развитие организма.	221
13.4. Матричный принцип синтеза информационных макромолекул и молекулярная генетика.	222
13.4.1. Передача наследственной информации через репликации.	222
Рис. 13.1. Репликация ДНК.	223
13.4.2. Матричный синтез путем конвариантной редупликации.	223
13.4.3. Транскрипция.	224
13.4.4. Трансляция.	224
Рис. 13.2. Схема биосинтеза белков.	225
Рис. 13.3. Основные этапы процесса передачи генетической информации.	225
13.4.5. Отличия белков и нуклеиновых кислот.	226
13.4.6. Новый механизм передачи наследственной информации и прионные болезни.	227
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.	228
ЛИТЕРАТУРА.	228
Глава 14. ФИЗИЧЕСКОЕ ПОНИМАНИЕ ЭВОЛЮЦИОННОГО И ИНДИВИДУАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ОРГАНИЗМОВ.	228
14.1. Онтогенез и филогенез. Онтогенетический и популяционный уровни организации жизни.	228
14.1.1. Закон Геккеля для онтогенеза и филогенеза.	228
14.1.2. Онтогенетический уровень жизни.	229
14.1.3. Популяции и популяционно-видовой уровень живого.	229
14.2. Физическое представление эволюции.	230
14.2.1. Синтетическая теория эволюции.	230
14.2.2. Эволюция популяций.	231
14.2.3. Элементарные факторы эволюции.	232
14.2.4. Живой организм в индивидуальном и историческом развитии.	233
14.2.5. Геологическая эволюция и общая схема эволюции Земли по Н.Н. Моисееву.	234
14.3. Аксиомы биологии.	235
14.3.1. Первая аксиома.	236
14.3.2. Вторая аксиома.	236
14.3.3. Третья аксиома.	237
14.3.4. Четвертая аксиома.	239
14.3.5. Физические представления аксиом биологии.	240

14.4. Признаки живого и определения жизни.....	240
14.4.1. Совокупность признаков живого.....	241
14.4.2. Определения жизни	243
14.5. Физическая модель демографического развития СП. Капицы.....	245
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	248
ЛИТЕРАТУРА.....	248
Глава 15. ФИЗИЧЕСКИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПОЛЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР.....	248
15.1. Физические поля и излучения функционирующего организма человека	248
Рис. 15.1. Схема физических полей в организме человека.....	249
15.1.1. Электромагнитные поля и излучения живого организма.....	249
Рис. 15.2. Распределение вокруг человека электрического поля, образующегося в результате биоэлектрической активности его сердца.....	250
15.1.2. Тепловое и другие виды излучений.....	253
15.2. Механизм взаимодействия излучений человека с окружающей средой	254
15.2.1. Электромагнитное и ионизирующее излучения.....	254
15.2.2. Возможности медицинской диагностики и лечения на основе излучений из организма человека.....	257
15.3. Устройство памяти. Воспроизводство и передача информации в организме.....	259
15.3.1. Физические процессы передачи информационного сигнала в живом организме.....	260
Рис. 15.3. Строение нейрона.	260
Рис. 15.4. Электрический потенциал действия нервного импульса.	261
15.3.2. Физическая основа памяти.....	262
15.3.3. Человеческий мозг и компьютер	264
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	265
ЛИТЕРАТУРА.....	265
Глава 16. ФИЗИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ БИОСФЕРЫ И ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ.....	265
16.1. Структурная организованность биосферы	265
16.1.1. Биоценозы.....	266
16.1.2. Геоценозы и биогеоценозы. Экосистемы.....	266
16.1.3. Понятие биосферы	267
16.1.4. Биологический круговорот веществ в природе.....	268
16.1.5. Роль энергии в эволюции	268
Рис. 16.1. Распределение солнечной энергии, поступающей на Землю.....	269
16.2. Биогеохимические принципы В.И. Вернадского и живое вещество	270
16.2.1. Живое вещество	270
16.2.2. Биогеохимические принципы В.И. Вернадского	271
16.3. Физические представления эволюции биосферы и переход к ноосфере.....	272
16.3.1. Основные этапы эволюции биосферы.....	272
16.3.2. Ноосфера.....	272
16.3.3. Преобразование биосферы в ноосферу	273
16.4. Физические факторы влияния Космоса на земные процессы	274
Рис. 16.2. Общая схема солнечно-земных связей.....	275
Рис. 16.3. Взаимодействие заряженных частиц от Солнца с магнитным полем Земли.	276
16.4.1. Связь Космоса с Землей по концепции А.Л. Чижевского	276
Александр Леонидович Чижевский.....	277
16.5. Физические основы экологии.....	278
16.5.1. Увеличение антропогенной нагрузки на окружающую среду.....	279
16.5.2. Физические принципы ухудшения экологии	281
16.6. Принципы устойчивого развития.....	282
16.6.1. Оценки устойчивости биосферы	282
16.6.2. Концепция устойчивого развития и необходимость экологического образования ..	284
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	285
ЛИТЕРАТУРА.....	285
Глава 17. ФИЗИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ САМООРГАНИЗАЦИИ В ЭКОНОМИКЕ.....	285
17.1. Экономическая модель длинных волн Н. Д. Кондратьева.....	287
17.2. Обратимость и необратимость процессов в экономике	288
17.3. Синергетические представления устойчивости в экономике	289
17.4. Физическое моделирование рынка	290
17.5. Циклический характер экономических процессов в модели Н.Д. Кондратьева.....	290
17.6. Модель колебательных процессов в экономике	293
КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	294
ЛИТЕРАТУРА.....	294

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ЭВОЛЮЦИОННО-СИНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПАРАДИГМА:

Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

ОТ ЦЕЛОСТНОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ К ЦЕЛОСТНОЙ КУЛЬТУРЕ	295
ЛИТЕРАТУРА	300
Основная	300
Дополнительная	300
ТЕМЫ КУРСОВЫХ РАБОТ, РЕФЕРАТОВ И ДОКЛАДОВ	304
ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ И ЭКЗАМЕНУ	309
СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ	312
А	312
Б	314
В	315
Г	317
Д	319
Е	320
Ж	320
З	321
И	322
К	323
Л	326
М	327
Н	329
О	330
П	331
Р	337
С	339
Т	343
У	345
Ф	346
Х	348
Ц	348
Ч	349
Ш	349
Э	349
Я	352
ЛИТЕРАТУРА	353
СОДЕРЖАНИЕ	354

Капсулы (вставки)

Владимир Иванович Вернадский	13
Эрнест Резерфорд	19
Лао-Цзы	21
Вернер Гейзенберг	25
Нильс Бор	27
Исаак Ньютон	37
А. Эйнштейн	56
Эрвин Шрёдингер	70
Луи де Бройль	71
Макс Планк	72
Вольфганг Паули	75
Георгий Антонович Гамов	81
Поль Дирак	88
Леонардо да Винчи	127
Николай Владимирович Тимофеев-Ресовский	219
Александр Леонидович Чижевский	277

ПРЕДИСЛОВИЕ

Курс «Концепции современного естествознания» представляет собой синтез мудрости древних цивилизаций, достижений естественных и гуманитарных наук, прокладывает путь к пониманию природы, человека и общества. Он охватывает широкий круг вопросов и является основополагающим, фундаментальным для всего современного образования.

Появление курса «Концепции современного естествознания» обусловлено проблемами, которые возникли перед человечеством к началу третьего тысячелетия. На многие конкретные вопросы той или иной профессии дают ответ специальные науки, но они не отвечают на глобальные вопросы: как устроен окружающий нас мир в целом? каким фундаментальным законам подчиняется природа? что представляют собой Жизнь, Разум, Человек и где его место во Вселенной? Во многом это определяется формированием такого типа мышления и методов познания, которые позволяют выявить фундаментальные закономерности и универсальные принципы, управляющие процессами в окружающем мире. Им соответствуют достижения естественных наук, и в первую очередь физики. Однако сейчас становится все более очевидным, что целостное восприятие и объяснение мира только на основе естественно-научного метода познания недостаточно, оно требует гуманитарного подхода. С другой стороны, в гуманитарное образование как компоненту общечеловеческой культуры важно включить понятия, представления и методологию естественных наук, показать, зачем нужна гуманитариям физика, утвердить в общественном сознании необходимость естественного образования, включив его в систему современной культуры.

Одна из основных целей пособия — вовлечь читателя в творческий процесс самопознания, показать, что без привлечения науки невозможно понять свое предназначение на Земле, но в то же время еще имеется много непознанных и неподвластных науке явлений. Курс построен таким образом, чтобы изучение его было творческим, формирующим взгляды на мир. Более того, он как нельзя лучше отвечает традициям отечественного образования с его школой фундаментальности и широты подхода к объяснению сути вещей. С другой стороны, вполне естественно, что нельзя объять необъятное и достаточно полно и в равной степени осветить все научные подходы и концепции. Несмотря на определенный отбор материала и попытку построения парадигмы современной естественно-научной картины мира, многие интересные вопросы в предлагаемом учебном пособии не нашли своего развития. В известной мере это было сделано и сознательно: на взгляд автора, вопросов в таком курсе должно быть больше, чем ответов.

Данный курс состоит из двух частей.

В первой части дается представление о физических принципах объяснения природы с позиций современной (в том числе постнеклассической) физики. Следуя терминологии И. Пригожина, это физика необ-

3

холимого, или существующего. Здесь рассмотрены общие фундаментальные принципы движения материальных тел в рамках классической, квантовой и релятивистской механики, взаимосвязь пространства и времени, основы теории относительности, физика Вселенной и современные представления о строении вещества, методы дискретного и вероятностного описания природы, применение синергетических представлений объяснения поведения сложных систем и роль симметрии-асимметрии в различных физических проявлениях. Дана эволюция представлений о природе от механической картины мира через электромагнитную и полевою к современной естественно-научной.

Во второй части рассматриваются вопросы физического понимания принципов биологии, воспроизводства и развития живых систем, физических факторов влияния Космоса на земные процессы, роль внутренних и внешних физических полей в эволюции живых организмов. Эти проблемы относятся к физике возникающего и связаны с проблемами физики живого. В качестве примера использования физических моделей в гуманитарных приложениях рассмотрены синергетические представления самоорганизации в экономике.

Каждая глава заканчивается контрольными вопросами для самопроверки и списком литературы. Приведен список вопросов, которые могут быть использованы для зачета или экзамена, разработаны темы рефератов со ссылкой на необходимую литературу.

Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

Весьма полезен для студентов словарь терминов, используемых в современном естествознании.

Пособие написано живым языком, содержит оригинальные примеры, позволяющие глубже понять проблемы современного естествознания. Оно представляет несомненный интерес для студентов-гуманитариев и любознательных читателей.

Методологической целью такого курса является получение студентами представления о целостной картине Мира в рамках естественно-научной и гуманитарной парадигм, понимание ими роли человека в объединении трех взаимосвязанных подсистем его обитания — естественной природной, искусственной (техносферы) и социальной сред.

Курс «Концепции современного естествознания» соответствует Государственному образовательному стандарту и программе для гуманитарных специальностей вузов. Он предназначен для студентов, аспирантов и преподавателей этих специальностей и полезен читателям, интересующимся проблемами современного естествознания.

Автор признателен рецензентам: чл.-корр. РАН, доктору физ.-мат. наук Л. А. Грибову, академикам РАЕН — доктору физ.-мат. наук В. И. Фистулю и доктору физ.-мат. наук А. Н. Георгобиани, а также доктору физ.-мат. наук К. Н. Быстрову за ценные советы и обсуждение пособия.

Автор

Часть I. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СТРОЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНОГО МИРА

Alles war gesagt, doch alles bleibt zu sagen. (Все было сказано, остается лишь все сказать.)

И. Гёте

Две вещи наполняют мою душу все новым и растущим восхищением и благословением по мере того, как задумываешься все глубже и больше: звездное небо надо мной и моральный закон во мне.

И. Кант

Глава 1. ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ ЕСТЕСТВОЗНАНИИ

Термин «естествознание» в своем семантическом смысле означает «естество» (природа) и знание о нем. Иногда используют менее употребительное словосочетание «природоведение», которое происходит от общеславянского слова «веды» или «веда» — знание. Мы и до сих пор иногда говорим «ведать» в смысле знать. Однако в настоящее время под естествознанием, тем более современным, понимается прежде всего точное естествознание, отражающее сформулированные в математическом виде общие закономерности природы, всех процессов, происходящих в микро- и макром мире. А природоведение, подобное обществоведению, науковедению или природообустройству, обычно ассоциируется с аморфными представлениями о предмете своего, частного «ведения».

Достаточно давно в русский язык как синоним слова «природа» вошел распространенный в европейских странах (например, в Германии, Швеции и Голландии) латинский термин *natura* — натура. На его основе образовался соответствующий термин «*Naturwissenschaft*», т.е. буквально — наука о природе, или естествознание. Он сочетается с другим определением предмета изучения природы — «натурфилософия» (философия природы).

5

Проблемы происхождения, устройства, организации природы, всего, что есть во Вселенной (Космосе), т.е. по существу все проблемы естествознания, космологии и космогонии, первоначально относились к «физике». Во всяком случае, **Аристотель (384—322 гг. до н.э.)** называл своих предшественников и современников, занимавшихся этими проблемами, «физиками» или «физиологами», ибо древнегреческое слово «физис», или «фюзис», очень близко в русском языке слову «природа».

Современное естествознание затрагивает не только собственно естественно-научные проблемы, но и гуманитарные, потому что в нем рассматриваются научные методы и пути познания человеком природы. Изучение этих путей составляет также предмет философии как науки о мышлении и познании, социологии — как науки о развитии человеческого общества, психологии — как науки о человеческом интеллекте и биологии — как науки о живом. Поэтому естествознание является до известной степени основой всякого знания — и естественно-научного, и технического, и гуманитарного.

В целом же современное естествознание как научная мировоззренческая парадигма опирается на физические представления. Это определяется тем, что, обладая научным методом и формулируя представления о природе на количественном уровне в виде фундаментальных законов и принципов, физика создала базу объяснения реального физического мира. В то же время, отвергнув после **Р. Декарта (1596—1650)** попытки познать духовную жизнь человека научными методами, физика в дальнейшем стала терять свои позиции, сталкиваясь с теми непознанными и необъясненными явлениями, которые не укладываются в рамки только физических представлений.

В настоящее время мы понимаем, что на фундаментальном уровне природа едина, границы в ней весьма условны и различные науки, изучающие ее, лишь отражают последовательное приближение коллективного разума человечества к истине наших представлений о мире.

Кроме того, как нельзя постичь законы, управляющие жизнью и деятельностью человека, посредством знакомства лишь с анатомией отдельных его органов, так невозможно, изучая порознь отдельные естественные науки, познать природу как одно целое. Поэтому современное естествознание как совокупность многих наук о мире само является обобщенной интегративной целост-

6

ной наукой. Концепция современного естествознания должна создаваться на холистической основе взаимосвязи естественных и гуманитарных культур, непредвзятого объективного взгляда на окружающий и внутренний мир человека. Как отмечал австрийский физик **Э. Шрёдингер (1887—1961)**, *«все естественные науки связаны с общечеловеческой культурой»*, а американский физик **И. Раби (1898—1973)** также подчеркивал, что *«физика составляет сердцевину гуманитарного образования нашего времени»*.

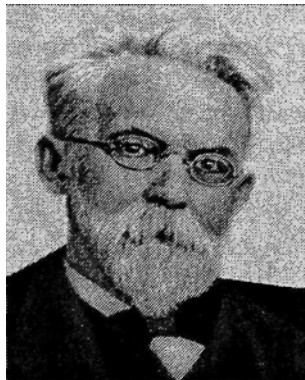
Слово «концепция» означает определенный способ понимания, трактовку какого-либо предмета, явления, процесса, основную точку зрения на эти сущности, руководящую идею для их систематического изложения и освещения. С другой стороны, концепция представляет собой такую систему ассоциаций и понятий, которая формируется в процессе развития нашего сознания. Само приобретение и построение концепции также является развитием сознания. Как сказал академик **Н. Н. Моисеев (1917— 2000)**, складывается ситуация, когда Разум познает самого себя.

В результате построения концепции современного естествознания и создается научная картина мира или научная парадигма. Под ней автор понимает целостную систему научных взглядов об общих закономерностях развития природы, общества и живого, которая возникает в результате не только синтеза и обобщения естественно-научных представлений, понятий и терминов, но и понимания и описания на базе современных физических моделей происхождения и развития в целом жизни, ее специфических проявлений в живой природе, а также сущности социально-экономического, и в том числе исторического, развития общества. Сюда следует отнести и философию, которая всегда выполняла по отношению к науке функцию методологии познания и которую еще Аристотель определил как учение о первопричинах, первопринципах, самых общих началах бытия. В настоящее время делаются успешные попытки описать и такие категории, как мораль, этика, совесть, и другие духовные и эстетические ценности через понятия точной науки.

Заметим, что физическая модель создается по существу за тем же, зачем архитектор конструирует модель группы зданий: чтобы наглядно представить соотношение и соразмерность между зданиями, свободными пространствами между ними и проходами или улицами, их соединяющими. В физике обычно стремятся сделать модель математической, чтобы описать явления, процесс

7

Владимир Иванович Вернадский



Великий русский ученый энциклопедист **В. И. Вернадский (1863—1945)** изучал вопросы происхождения и развития химических элементов на Земле и в Космосе, причины происхождения «живого вещества», взаимодействия литосферы, гидросферы, атмосферы, биосферы и ноосферы Земли и их связи с Космосом. В его трудах по существу заложены основы современного естествознания [4, 5, 42].

В. И. Вернадский родился в Петербурге в 1863 г., в семье профессора политической экономии, типичного представителя русской либеральной интеллигенции прошлого века. Владимир Иванович получил прекрасное образование в классической гимназии и затем окончил физико-математический факультет Санкт-Петербургского университета. Большое влияние на него оказал известный русский почвовед В. В. Докучаев (1846—1903), читавший в этом университете курс минералогии. Вернадский знал 15 языков, интересовался историей, философией, глобальными проблемами человеческого

общества. В 1897 г. Вернадский защитил докторскую диссертацию и стал профессором Московского университета. В 1906 г. его избирают членом Государственного совета от Московского университета. По инициативе В. И. Вернадского и под его председательством в 1915 г. была создана комиссия по изучению естественных производительных сил России при Академии наук. В конце 1921 г. Вернадский основал в Москве Радиевый институт и был назначен его директором. В 1926 г. вышла его знаменитая работа «Биосфера». Он проводил исследования природных вод, круговорота веществ и газов Земли, космической пыли, проблем времени и пространства. Но главной для него остается тема биосферы — области жизни и геохимической деятельности живого вещества.

Для Вернадского наука была средством познания природы. Он не был специалистом в какой-то одной науке или даже в нескольких науках. Он блестяще знал добрый десяток наук, но изучал природу, которая неизмеримо сложнее всех отдельных наук. Как и многие естествоиспытатели, добившиеся выдающихся успехов в специальных областях, Вернадский пришел к своим философским выводам на склоне лет, видя в них естественное обобщение фундаментальных принципов, лежащих в основе мироздания. Но даже среди корифеев естествознания он выделяется новаторством, широтой взглядов, глубиной идей и их поразительной современностью.

В. И. Вернадский является основателем геохимии, биогеохимии, радиохимии. Будучи профессором Московского университета в 1898—1911 гг., ушел в отставку в знак протеста против притеснений студенчества. В 1919 г. был первым президентом АН Украины.

или объект на количественном языке. Для создания физической модели используются три исходных положения:

- *все явления природы (а сейчас в рамках синергетических представлений сложных открытых систем к ним относятся процессы и организация социально-экономических и живых систем) могут быть объяснены физическими законами, выраженными в математической форме;*

- *эти физические законы универсальны и не зависят от времени и пространства;*
- *все основные законы должны быть простыми.*

Многие гуманитарии и в еще большей степени далекие от науки люди считают, что их жизнь никак не связана с абстрактными математическими теориями и фундаментальными физическими законами, а если математика и нужна, то только затем,

8

чтобы считать деньги. В действительности же фундаментальные математические и физические идеи, господствующие физико-математические парадигмы (в том числе и синергетическая) накладывают свой отпечаток как на стиль мышления ученых — представителей не только естественных, но и гуманитарных наук, так и на обыденное мышление всех без исключения людей. Они проникают в язык в качестве речевых оборотов, в логику, психологию, политику, в нравственные представления и ценностные установки, в этику и эстетику [128].

Человек во все времена стремится жить и действовать в соответствии со своей внутренней природой и по возможности — в согласии с внешней Природой, под которой понимается то, что мы знаем о ней и можем выразить в терминах и символах современной науки. Научить человека правильно («по-научному») ориентироваться в реальном мире, осознавать свое место в

9

нем — одна из задач современного естествознания. Кроме того, по мнению **И. Р. Пригожина (р. 1917)**, *«естествознание есть диалог с природой. И как и должно быть в настоящем диалоге, ответы часто неожиданны, а иногда и просто поразительны»* [21, 23]. Поэтому современное естествознание не просто междисциплинарный учебный курс, а настоящая наука познания мира, жизни и человека.

Человек является существенным объектом природы, имеющим космологическое значение. Еще древнегреческий философ **Протагор** (V в. до н.э.) одно из своих сочинений («О Природе») начал со слов: *«Человек есть мера всем вещам — существованию существующих и не существованию несуществующих»*. Это пророческое изречение Протагора предвосхитило так называемый *антропный принцип*, впервые сознательно введенный в основы космологии и детально проанализированный уже в

наше время. По-своему скорректировав известное протагоровское изречение, В. И. Вернадский как бы предвосхитил, вслед за самим Протагором, антропный космологический принцип: *«Мыслящий человек есть мера всему»*.

В. И. Вернадский вполне сознавал жизненную необходимость философского мировоззрения и принципиальное значение метафизических начал естествознания, о чем писал еще в 1902 г.: *«В истории развития научной мысли можно ясно и точно проследить такое значение философии, как корней и жизненной атмосферы научного искания»*. А в другой своей работе он отмечал: *«В наше время рамки отдельной науки, на которые распадается научное знание, не могут точно определить область научной мысли исследователя, точно охарактеризовать его научную работу. Проблемы, которые его занимают, все чаще не укладываются в рамки отдельной, определенной, сложившейся науки. Мы специализируемся не по наукам, а по проблемам»*. При этом В. И. Вернадский считал принципиально необходимым и возможным стремиться к предельно полному охвату природных явлений и самой природы в целом. В то же время дифференциация специальных наук продолжается, и сейчас насчитывается уже до 500 естественных и 300 гуманитарных наук. По В. И. Вернадскому, положения этих наук должны быть отражены концептуально как раз в современном естествознании.

Известный философ специалист в области логики **К. Поппер (1904—1994)** в своей книге «Логика научного открытия» писал: *«Существует по крайней мере одна философская проблема, в кото-*
10

рой заинтересовано все мыслящее человечество. Это проблема космологии, проблема понимания мира, включая и нас самих, и наше знание как часть мира».

Рассмотрим в рамках современных научных представлений, как конкретно решалась эта проблема и как создается научная картина мира.

1.1. Этапы развития и становления естествознания

Если вы хотите узнать природу и оценить ее красоту, то нужно понимать ее язык, на котором она разговаривает. Она дает информацию лишь в одной форме, и мы не вправе требовать от нее, чтобы она изменила свой язык, чтобы привлечь наше внимание. Р. Фейнман

Обучение редко приносит плоды кому-либо, кроме тех, кто к этому предрасположен, но оно им почти не нужно.

Высказывание Гиббонса, приведенное Р. Фейнманом в своих лекциях по физике

Наука о природе зародилась в Древней Греции более 2500 лет назад как единая натуральная философия. Естественной базой ее возникновения и развития явились наблюдения пытливых людей над окружающим их миром. Из этих наблюдений делались заключения и обобщения и строились теории. Поскольку в начальный период становления единой науки не было измерений, а были лишь наблюдения и рассуждения, то первые наблюдатели облакали свои выводы в некие философские категории.

Все естественно-научные знания и представления о природе в то время не разделялись на отдельные области знания и тем самым составляли единую науку, основой которой были логические рассуждения и умозаключения о том, что наблюдалось. Отсюда и произошло название *натурфилософия*, т. е. мудрые рассуждения о природе (натура — природа, философия — любовь к мудрости). Эти теоретические представления были наивными и часто ошибочными. Но наряду с накоплением знаний шел их анализ и в виде пророческих догадок формировались многие идеи, которые сейчас подтверждаются в современной естественно-научной картине мира.

Приходится удивляться гениальности догадок греческих философов, если учесть уровень развития науки тех времен. Так, основатель ионийской философской школы **Фалес (625—547 до н.э.)**

11

учил, что звезды состоят из такого же вещества, что и Земля. Анаксимандр (**610—547 до н.э.**) утверждал, что миры возникают и разрушаются.

В материалистической философской школе **Эпикура (341— 270 до н.э.)** учили множественности обитаемых миров, причем считали эти миры подобными нашей Земле. Например, эпикуреец **Митродор** утверждал, что *«считать Землю единственным населенным миром в беспредельном пространстве было бы такой же вопиющей нелепостью, как утверждать, что на громадном засеянном поле мог бы вырасти*

только один пшеничный колос».

Представителей натуральной философии Древней Греции считают первыми естествоиспытателями в понимании единства мира в целом.

В античном естествознании укрепилось представление о материальной первооснове всех вещей и вечного движения. В качестве первоосновы того, из чего состоит мир и все сущее, предлагались: огонь, вода, воздух и некое начало «айперон». Так, Гераклит Эфесский (V в. до н.э.), считавший началом всего, что есть на свете, огонь, сформулировал идею о единстве мира и его изменчивости (*«все течет, все меняется, ничто не вечно, кроме перемен»*). Идея о непрерывности движения (*«мир един, был, есть и будет вечно новым»*) в целом хорошо согласуется с современными представлениями о движущейся материи.

1.1.1. Программа Платона

В развитии древнегреческого естествознания можно выделить три научные программы: идеалистическую — Платона (428—348 до н.э.) и две материалистических — Аристотеля и Демокрита (460—370 до н.э.). Научную программу Платона можно назвать математической, поскольку в смысле понимания роли количественных вычислений в научном изучении мира она во многом определила путь развития естествознания. В ее основе лежит идея Пифагора (VI в. до н.э.), что *«числа — суть вещей»*. Платон утверждал, что *«Бог — это геометр»*. Несмотря на то что Платон признавал материальный мир состоящим из четырех субстанций: огня, воздуха, воды и земли, он приписывал частицам, из которых они состоят, различную геометрическую форму в виде многогранников: для огня — тетра-

12

эдры, для воздуха — октаэдры, для воды — икосаэдры, для земли — кубы, т. е. вводил абстрактные топологические понятия. Это было связано с идеалистическими представлениями Платона о том, что материальный мир бытия является лишь отражением мира идей человека, его представлений, а не реально существующей материей. Поэтому математическим построениям и численным абстракциям программы Пифагора — Платона отводилась почти мистическая роль, проявляющаяся до настоящего времени в религиозных канонах, астрологии и магии, а в науке — в некоторых «таинственных» математических числах: 3,1415926; $\frac{1}{137}$; 1,618034 и т.д., смысл значений которых (почему они именно такие) так до сих пор и не ясен. В этой программе была выдвинута также идея о вращении всех небесных тел, включая Солнце, по сферам вокруг центрального огня. Она возникла из наблюдений звездного неба и периодических смен дня, ночи, зимы, лета и отражала существовавшие тогда представления о мире.

Заметим, что в III в. до н.э. Аристарх Самосский (IV—III вв. до н.э.) предложил идею о гелиоцентрическом строении Вселенной и движении всех небесных тел вокруг Солнца. Эта идея была возрождена Н. Коперником (1473—1543) позднее, в средние века.

1.1.2. Представления Аристотеля

Общей чертой континуальной программы Аристотеля и атомистической Демокрита является их материалистичность. Согласно *континуальному подходу* весь материальный мир состоит из непрерывной субстанции, находящейся в постоянном движении. Все объекты природы («существующие вещи») не возникают и не уничтожаются, а существуют вечно и проявляются в различных формах этой субстанции, преобразуясь из одной формы в другую. Эта физическая по своей сути программа Анаксагора — Аристотеля также созвучна современным представлениям о формах существования и движения материи еще и потому, что предполагала наличие в каждом объекте всех «вещей» (*«все во всем»* или *«во всем есть часть всего»*). На современном научном языке это и есть строение вещества из элементарных частиц.

Аристотель считал, что мир представляет собой вращающийся Космос и его движение началось в каком-то малом

13

объеме пространства от первоначального толчка, и это хорошо согласуется с одной из современных теорий происхождения Вселенной — Большого Взрыва и расширяющейся Вселенной. Сам Космос является некой ограниченной сферой, в центре которой расположена Земля. Пространство и время существуют только в пределах этого Космоса и заполнены «первичной материей». Первичная материя под воздействием комбинации «первичных сил» — горячего, холодного, сухого и мокрого — переходит в одну из

четырех «стихий»: огонь, воздух, воду и землю. Стихии, в свою очередь, могут как переходить из одной в другую, так и вступать в различные соединения и образовывать «вещества»: камни, металлы, мясо, кровь, глину, шерсть и т.д. И как логичный результат — из веществ создаются тела.

Аристотель ввел также понятие естественных и насильственных движений тел. Для земных тел естественным является перемещение или вниз («тяжелые» тела), или вверх («легкие» тела), причем считалось, что причина естественных движений заложена в их природе. Для небесных тел естественным предполагалось их круговое движение вокруг Земли как центра Космоса. Насильственное движение объяснялось действием сил на тела, и оно прекращалось, если сила переставала действовать. Представления об естественных и насильственных силах и вызванных ими движениях вытекали из повседневной практики и наблюдений за движением тел в реальной жизни и были приняты в науке до XVIII в. К этому времени представление о силе как причине движения стало основой классической механики Галилея — Ньютона.

Заметим, что именно Аристотель первым ввел термин «физика» для обозначения учения о природе. Поэтому с формальной точки зрения Аристотель — первый физик, хотя к первым физикам можно отнести и Анаксагора с его идеей движущейся материи, и Пифагора, поскольку он первым изучал и описал появление разных звуков в зависимости от длины струны.

Аристотелем была написана 61 книга, и в истории науки вплоть до нашего времени, вероятно, не найти ни одной фигуры, равной Аристотелю по широте охвата исследованных им областей знания, уровню новизны и глубины исследований в каждой из этих областей и степени влияния на последующее развитие научной мысли. Он по праву считается античным классиком и не только естествознания. Не забудем, что Аристотель был и учителем выдающегося полководца Александра Македонского (356—323 до н.э.).

14

1.1.3. Модель Демокрита

Атомистическая программа Левкиппа — Демокрита (V в. до н.э.) была основана на идее существования мельчайших, более неделимых частиц — атомов, которые и составляют весь материальный мир. Атомы двигаются в пустоте и разнообразны по форме, при столкновениях они сцепляются и образуют тела, причем разнообразие тел объяснялось различностью атомов. Можно и здесь увидеть наивный, но в целом правильный с точки зрения современной науки взгляд на мир. В этом атомистическом мире находилось место и Богам. Они тоже были из атомов, но недоступных органам чувств человека. Естественно, Богам приписывался высший разум, который и управляет всем миром.

Этой атомистической программе был присущ жесткий детерминизм, сохраненный впоследствии и в механике Галилея — Ньютона, т.е. любое движение материи предполагалось необходимым, обусловленным какими-то причинами. Случайность полностью исключалась из картины мира. Она считалась субъективной и объяснялась недостаточностью человеческих знаний. В то же время последователь Демокрита Эпикур высказывал предположение о существовании объективной случайности. Атомистическая теория, как более ранняя, была вытеснена континуальной. Ее реабилитация началась лишь в XVII в. Отметим также, что еще в I в. до н.э. **Луcretий Кар (99—55 до н.э.)** в своей книге «О природе вещей», посвященной Эпикуру, в поэтической форме изложил много идей материалистичности мира, связи пространства, времени и материи, дискретности материи и относительности движения.

В заключение краткого рассмотрения этапов развития античного естествознания отметим, что в поэме Лукреция Кара кроме естественно-научных вопросов рассматривались общегуманитарные проблемы жизни, смерти, духовности, этики и морали, и главным в этой попытке понять окружающий мир были целостность восприятия, представление, что мир един; и описание его строения основывалось именно на таком, холистическом, как сейчас говорят, подходе.

Дальнейшее развитие миропонимания при переходе к количественному описанию процессов движения материи шло через механистические представления о природе. Это было связано с именем **Г. Галилея (1564—1642)**, который объединил физику и математику, ввел понятия инерции, системы отсчета, ускорения как причины движения, принцип относительности и ряд других параметров движения.

15

1.2. Проблемы естествознания на пути познания мира

Что вы не понимаете, то не принадлежит вам.

И. Гёте

Не то, что мните Вы, природа Не слепок, не бездушный лик, В ней есть душа, в ней есть свобода, В ней есть любовь, в ней есть язык.

Ф. Тютчев

В основе объяснения явлений природы с точки зрения физики и различных ее применений в технике лежат некоторые фундаментальные физические понятия и принципы. К наиболее общим, важным, фундаментальным принципам или концепциям физического описания природы относятся материя, движение, пространство и время. Раскрывая их содержание, отметим, в первую очередь строение материи, т.е. из чего состоит окружающий нас мир, в том числе и мы сами. Это — теория элементарных частиц в ее современном представлении и движение материи в широком смысле этого слова, а также взаимодействие частиц и полей друг с другом. К другим фундаментальным принципам относятся такие понятия: законы сохранения, симметрия—асимметрия, порядок—беспорядок, дискретность—непрерывность, вероятностный, т.е. статистический, подход к описанию явлений.

Классическая физика дала почти универсальный рецепт описания и понимания простого движения и объяснила действие и построение технических механизмов и машин на основе представлений Галилея — Ньютона. Но это относилось именно к механическому движению, а не к изменениям вообще, например в живом организме.

1.2.1. Физический рационализм

Сформировалось представление (и надолго — около 200 лет!), что классическая механика как часть физики может объяснить все возможные явления в природе. Такой взгляд привел к возникновению в XVIII в. рационального научного подхода, логично и правильно описывающего, как казалось, окружающий мир. Такое положение возвеличивало физику как науку, и позволило Резерфорду впоследствии в шутку сказать: *«Все науки делятся на две группы: физика и коллекционирование марок»*.

16

На основе рационального научного подхода возник «физикализм» — общенаучная парадигма, объясняющая любые процессы в живой и неживой природе, социуме, обществе в целом по аналогии и в соответствии с физическими принципами, разработанными в классической механике. Известно, что французский дипломат **Талейран (1754—1838)** использовал механику **Д'Аламбера (1717—1783)**, считая, что на ее основе он сможет логично и неоспоримо убедить коллег в своей правоте. Другой пример, ставший классическим: когда Наполеон, ознакомился с космологической теорией **Лапласа (1749—1827)**, классика той механики, то заметил автору, что в этой механике нет места Богу. На что Лаплас ответил: «Sire, je n'avais pas besoin de cette hypothese» *«{Мой император, этой гипотезы мне не понадобилось»}*. Французские мыслители-утописты **К. Сен-Симон (1760—1825)** и **Ш. Фурье (1772—1837)** применяли идеи механики для использования их в социальных науках.

По существу, это была попытка свести естествознание того времени к сумме известных тогда физических законов. Философской основой такого подхода, ведущего к строгому детерминизму причинно-следственных связей, в том числе и в количественных значениях, было фундаментальное разграничение между миром и человеком, введенное Р. Декартом. Как следствие этого разграничения возникла уверенность в возможности объективного описания мира, лишённого упоминаний о личности наблюдателя, и наука видела в таком объективном описании мира свой идеал и предназначение. Конечно, сейчас мы понимаем, что это неверно: классическая механика работает лишь в определенных пределах, при скоростях распространения взаимодействия, меньших скорости света, и массах, больших грамма.

Некорректен и другой, гуманитарный подход к объяснению мира на основе *антропоцентризма*, согласно которому предметы неживой природы, растения, животные и даже боги в древности уподоблялись человеку. Впоследствии оказалось, что этот довольно наивный подход более близок и понятен человеку и в современном естествознании был возрожден в виде антропного принципа.

1.2.2. Методы познания

В связи с попытками с давних времен познать мир возникли две культуры, два способа познания — естественно-научный, в основе которого лежит физика, и гуманитарный, для которого

17

Эрнест Резерфорд



Э. Резерфорд (1871—1937)— английский физик, лауреат Нобелевской премии по химии (1908 г.) за исследования по расщеплению элементов и химии радиоактивных веществ. В 1931 г. по королевскому рескрипту он получил титул барона. Лорду Резерфорду по такому случаю был положен герб. На нем по-латыни было начертано: «Primordia querere return» — «Доискиваться до природы вещей». Этого девиза Э. Резерфорд придерживался всю жизнь. Сэр Э. Резерфорд был выдающимся экспериментатором, разработал ядерную модель атома, обосновал альфа-частицы — это дважды ионизированные атомы гелия, установил (совместно с Ф. Содди) закон радиоактивного распада (для нашего курса интересно подчеркнуть, что этот закон — в ряду тех, которые лежат в основе современной картины мира), предсказал существование нейтрона, тяжелого изотопа водорода — дейтерия, окончательно ввел в научный обиход термин «протон».

В свое время, когда ему присуждали Нобелевскую премию именно в области химии, он был очень удивлен и впоследствии шутливо говорил, что из всех превращений, которые ему удалось наблюдать, *«самым неожиданным стало собственное превращение из физика в химика»*. Однако эксперты Нобелевского комитета случайно, но оказалось как в воду глядели: в 1919 г. Резерфорд осуществляет первую искусственную ядерную реакцию превращения азота в кислород при бомбардировке его альфа-частицами. В результате его работ родилась новая научная область — ядерная химия. Синтез новых элементов и изотопов справедливо считается одним из величайших достижений науки XX столетия.

Он был основателем и руководителем научной школы, из которой вышло много известных ученых (Г. Гейгер, Р. Оуэнс, Г. Мозли, Д. Чадвик и др.), в их числе и наш выдающийся ученый, будущий Нобелевский лауреат по физике 1978 г. академик **П.Л.Капица (1894—1984)**. Капица, который был на стажировке в Кавендишской лаборатории Кембриджского университета в 1921—1925 гг., был одним из любимых учеников и соратников Э. Резерфорда и после окончания научной командировки в Англии получил от него в «подарок» современную по тем временам магнитную лабораторию. Резерфорду принадлежит справедливая и для сегодняшней науки фраза: *«У нас денег нет, мы обязаны думать»*.

характерны интуиция, художественные образы, иррациональное мышление. Отсюда появляются и два метода исследования и объяснения нашего мира: логический и нелогический. На самом деле непонятно, почему так сложилось в человеческом восприятии мира, но исторически это идет от начального целостного взгляда античной натуральной философии. Возникшие специализация, дифференциация и углубление отдельных наук, столь необходимые на определенном этапе ее развития, становятся тормозом на пути дальнейшего познания мира. Возникает необходимость в междисциплинарной науке, интегрирования различных знаний. Человек начинает понимать, что природа едина, целостна и это должно найти отражение и в методах ее познания. Эту мысль выразил немецкий физик **М. Планк (1858—1947)**: *«Наука представляет собой внутренне единое целое. Ее разделение на отдельные области обусловлено не столько природой вещей, сколько ограниченной способностью человеческого познания. В действительности существует непрерывная цепь от физики и химии через биологию и*

антропологию к социальным наукам, цепь, которая ни в одном месте не может быть разорвана, разве лишь по произволу». В то же время, как говорил А. Пуанкаре (1854—1912), «наука доказывать еще не есть вся наука, и интуиция должна сохранить свою роль как дополнение — я сказал бы — как противовес, противоядие логики».

1.2.3. Целостное восприятие мира

Сейчас возникла необходимость преодолеть разрыв между естественно-научным и гуманитарным подходами различных наук и более того — объединить их на основе холистического, целостного восприятия мира в концепции современного естествознания. Мысль о единении науки и искусства высказал еще в XIX в. Г. Флобер: *«Чем дальше, тем Искусство становится более научным, а Наука более художественной; расставшись у основания, они встретятся когда-нибудь на вершине»*.

И то и другое объединяет творческий характер деятельности человека в этих областях. Две культуры — культуру естествознания с доминантой научного метода и гуманитарную культуру (искусство) не смогла объединить и философия, она не смогла стать мостом между ними. К тому же хорошо известно, что в России настороженно относятся к официальной философии: воинствующий материализм в равной степени подавлял как науку, так и искусство. В целом и раньше наука страдала от церковного

19

догматизма (Дж. Бруно (1548—1600)) и различных спекуляций, а затем от утилитарно-рассудочного техницизма и позитивизма нашего времени. Причем после Хиросимы и Чернобыля в среде гуманитариев возник устойчивый антинаучный синдром. Заметим также, что естественно-научному подходу было присуще логическое (линейное) мышление, а гуманитарному, интуитивному — нелинейное мышление.

Многие проблемы человечества могли бы быть решены на основе гармонизации частей изначально единой культуры и целостного восприятия мира, как, например, это было в античной культуре Греции и Рима или присуще еще Аристотелю и натурфилософии, но уже на новом уровне развития. Сегодня необходимо привнести в науку, в том числе и в физику, нравственные, этические и даже эстетические начала. *«Наука без совести разрушает душу»*, сказал Ф. Рабле (1494—1553). Физики шутят: *«Чем более красива и стройна теория или отдельная формула, тем она вернее»*. Бытует и другое шутовское выражение: чем больше различие между экспериментом и теорией, тем ближе автор исследования к Нобелевской премии. Но это иллюстрирует уже другое положение в науке: если этот разрыв есть, значит намечается новое осмысление, скачок в наших познаниях, рождается новая парадигма — а это в конечном счете всегда должно быть поощрено. А П. Дирак (1902—1984) по этому поводу сказал: *«Красота уравнений важнее, чем их согласие с экспериментом»*, а В. Гейзенберг добавил: *«Проблеск прекрасного в точном естествознании позволяет распознать великую взаимосвязь явлений еще до детального понимания, до того, как она может быть рационально доказана»*.

1.2.4. Физика и восточный мистицизм

Нравственные начала характерны для тысячелетних традиций религиозно-философских течений Запада и Востока в опыте единения человека с природой и Космосом. Современное естествознание находит много общего между квантовой физикой и восточным мистицизмом. Как отмечал Ф. Капра в своей книге «Дао физики» [11], которая по своему содержанию является прекрасным пособием по концепции современного естествознания: *«Осознание глубокой взаимосвязи современной физики и восточных мистических учений — еще один шаг к выработке нового взгляда на действительность при условии основательного пересмотра наших ценностей, представлений и мыслей»*. Эта общность состоит в

20

том, что и в восточной религиозной философии, и в квантовой физике, описывающей микромир, трудно передать словами свои ощущения и наблюдения. В. Гейзенберг [48, 49], один из основателей квантовой теории, говорил: *«Сложнее всего говорить на обычном языке о квантовой теории, непонятно, какие слова надо употреблять вместо математических символов. Ясно только одно: понятия обычного языка не подходят для описания строения атома»*.

Восточный мистицизм утверждает, что реальность не может быть передана словами, Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

не может быть объектом рефлексии или передаваемого знания. *«Дао, которое может быть выражено словами, не есть вечное Дао»* (Лао-Цзы). Дзэнское изречение гласит: *«В тот момент, когда ты заговариваешь о чем-то, ты не достигаешь цели»*. Эта мысль совпадает со словами **Ф. Тютчева (1803—1873)** в стихотворении «Silentium» («Молчание»):

Как сердцу высказать себя? Другому как понять тебя? Поймет ли он, как ты живешь? Мысль изреченная есть ложь.

Перефразируя отечественного физика-теоретика **Л. Д. Ландау (1908—1968)**, можно даже сказать: нельзя говорить все, что знаешь. *«Кто знает — не говорит, кто говорит — не знает»* (Лао-Цзы). Отражением же логического взгляда на науку может служить мысль **Р. Фейнмана (1918—1988)**, справедливая для физиков: *«Если не можешь объяснить, что знаешь, значит, ты не знаешь»*.

Мистики вообще считают главным восприятие действительности, а не ее описание. Для такого понимания они используют методику «коан» — тщательно продуманных парадоксальных задач, цель которых подготовить ученика к невербальному восприятию реальности. Примером такого коана может служить вопрос: «Что означает хлопок ладонью одной руки?» Ученик мистика дал через год такой ответ: «Это звучание тишины». Одно из основных положений восточного мистицизма состоит в том, что все используемые для описания природы понятия ограничены, они являются не свойствами действительности, как нам кажется, а продуктами мышления — частями карты, а не местности. И поскольку проще иметь дело с нашими представлениями о реальности, чем с самой реальностью, человек, как правило, смешивает одно с другим и принимает свои символы и понятия за

21

Лао-Цзы



Выдающийся китайский философ **Лао-Цзы** жил в **IV—III вв. до н.э.** Настоящее его имя **Ли Эр**. Лао-Цзы в переводе с китайского означает «старый Учитель», но может переводиться и как **«старый ребенок»**. Он родился в государстве Чу (современная провинция Хэнань в Северном Китае). Некоторое время служил летописцем (архивариусом) у правителя государства в эпоху Чжоу. Предполагается, что прожил более 160 лет, по некоторым источникам — даже более 200 лет, ибо считается, что при исследовании Дао достиг долголетия. Он является автором древнекитайского философского трактата «Дао де цзин» («Каноническая книга о Дао и Дэ») и тем самым основателем одного из направлений древнекитайской философии — **даосизма**. Дао — сложное философское понятие и имеет в даосизме универсальный онтологический смысл: первопричина Вселенной, ее таинственная закономерность; целостность жизни, присутствующая во всем, не познаваемая разумом и не выражаемая в словах, а также путь (дословный перевод Дао с китайского), сутью которого являются нравственное поведение и основанный на морали социальный порядок. Один и тот же иероглиф «дао» обозначал в древнекитайской культуре закон, истину и нравствен-

ный жизненный путь. Когда ученики китайского мыслителя **Конфуция (551—479 до н.э.)** спрашивали у него, как понимать «дао», то он каждому **давал разные ответы, поскольку каждый из его учеников прошел разный путь нравственного совершенствования.**

Смысл учения Лао-Цзы — это преобразование и исправление себя при недеянии и покое. Существенным моментом учения было **таиться и не иметь имени**. Приведем еще несколько выдержек из его трактата «Дао де цзин», написанного по просьбе стража на пограничной заставе, когда Лао-Цзы покидал государство Чу. Этот трактат насчитывает 5 тысяч слов и разъясняет смысл учения Лао-Цзы о Дао и добродетели. Эти мысли созвучны и нам при изучении природы и общества:

«Лучшее знание — это незнание о том, что ты что-то знаешь».

«Словами удерживают смысл, постигая же его, их забывают. Как мне найти человека, который забыл бы про слова, и с ним поговорить» (последователь Лао-Цзы и классик даосизма Чжуан-Цзы).

«Когда учатся, имеют каждый день прирост, а занимаясь Дао, ежедневно терпят умаление».

«Кто много обещает, тому мало доверяют. Большая легкость оборачивается большим затруднением».

«Нет красоты в правдивом слове, нет правды в сказанном красиво. Кто добр, не спорит, кто спорит, тот не добр. Пониманию чужда ученость, ученость далека от понимания».

реальность. Как отмечала в своих работах Т. П. Григорьева [128], согласно восточным учениям синтоизма, даосизма и буддизма мир существует не для того, чтобы его изучали, а для того, чтобы его переживали, извлекали удовольствие из общения с ним. В духе такого мировоззрения ставились лишь задачи, которые позволяли бы осознать явления и понятия, не вычленив их из целого, не нарушая всеобщих связей и гармонии. В то время как традиция европейской культуры противоположна — расчленив общее на части, изучить их в отдельности и затем соединить вместе.

В восточных мистических учениях считается, что узнать сокровенную суть мира, его Дао, могут лишь люди, лишенные страсти к восприятию отдельных феноменов, которые как бы ощущают мир в целом. Истина, согласно японскому учению чань дзэн, познается не постепенно, а путем внезапного озаре-

22

ния на уровне интуиции. Это, кстати, хорошо осознается учеными и часто «используется» в их практике. При этом оценка Дао тоже носит нравственный характер: *«Если путь (Дао), по которому идешь, обладает сердцем, то он хорош, если нет, — он бесполезен».* Даже к объективным сущностям движения и времени Лао-Цзы применяет такую же нравственную оценку — «добро движения есть время». Восточные ученые считают, что и для современной физики стоит эта проблема: *«Есть два пути — один ведет к Будде, другой — к бомбе, и ученый должен сделать нравственный выбор»* [11]. Как гласит китайское изречение: «Мистики понимают корни Дао, но не его ветви, а ученые понимают ветви Дао, но не его корни». Восточная философия утверждает, что наука не нужна мистицизму, а мистицизм — науке, но и то и другое нужно людям, чтобы понять мир вне и внутри нас.

23

В курсе естествознания мы не будем касаться подробно философской стороны взаимосвязи физики и восточных учений. Заметим лишь, что новое синергетическое направление в постнеклассическом естествознании очень созвучно восточным учениям. Ключевые идеи синергетики — самоорганизация, открытые системы, нелинейность, по существу присущи и восточной мудрости, суть которой не в противопоставлении одного другому, а в следовании естественному пути. Восточные мудрецы более всего оберегали этот порядок, не приписывая Природе того, что ей не свойственно. Они говорили: *«Если нарушить волю Неба, то все усилия что-либо понять или сделать окажутся тщетными».*

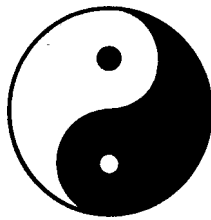
В работе [128] Т. П. Григорьева подчеркивает: *«Теперь наука ставит ту же задачу: понять законы Бытия, исходя из него самого, а не из априорных и не всегда адекватных представлений о Бытии. Как полагает синергетика, в сложной системе проявляются внутренние причины ее самоорганизации, не проявленное Дао восточной философии. Цель пути — Дао, который ведет к совершенному Добру, приближению человека к изначальной чистой природе, избавляя его от суетных мыслей и чувств, созданию гармонии внешней формы с внутренней, считая, что тогда и проявится изначальная благая природа всего сущего, когда человек достигнет целостности и завершенности, «предустановленную гармонию» — по Лейбницу. Как мы увидим дальше, в рамках синергетики сложноорганизованным системам нельзя навязывать пути их развития, можно лишь вникать и действовать сообразно, устраняя препятствие с пути гармоничного развития этих систем, что на Востоке, в даосизме и называется Недеянием, а в западноевропейском понимании — умным деланием».*

Пример рассматриваемой общности физики и восточной философии приводит Т. Я. Дубнищева [8]. В буддистских тибетских текстах Вселенная описывается как осциллирующая, выражаясь современным физическим языком, и процесс ее сжатия и расширения похож на принятые сейчас сценарии возникновения Вселенной после Большого Взрыва и ее эволюции. Для буддизма характерна связь физического и психического; считается, что некоторые состояния сознания неотделимы от физического

тела. Словом, в такой далекой от естествознания в понимании человека западной цивилизации области есть много полезных аналогий и глубоких откровений. В частности, в ней более гибко используется взаимодействие двух начал — «ян» и «инь», мужского и женского, непрерывно меняющихся, в отличие от дискретных, жестко фиксированных понятий черного и белого, «да» и «нет».

24

Рис. 1.1



Понятия «ян» и «инь» являются ключевыми в китайской философии. *Инь* — это полная потенциальность, темное подсознание, невербализованное и непроявленное. *Ян* — светлое, ясное, завершенное, реализованное, проявленное, вербализованное. Однако они не противопоставляются друг другу, они присутствуют друг в друге. Изображение такого представления дано на рис. 1.1: два полуизогнутых полушария в одном круге. В каждом из них наподобие зародыша присутствует начало другого. На темной, иньской половине — светлая точка «ян»; на светлой, янской половине — темная точка «инь». Одно постоянно переходит в другое и наоборот, образуя целое. Они взаимодополняют друг друга. Согласно даосской притче, *«в жизни существует зарождение, в смерти существует возвращение, начала и концы друг другу противоположны, но не имеют начала и когда им придет конец — неведомо»*.

Т. П. Григорьева определяет китайскую модель как *«белое станет черным, черное — белым»*, в отличие от западноевропейской модели — *«белое или черное»* или индийской — *«белое есть черное, черное есть белое»*. Согласно китайской модели, пульсация инь — ян не есть цель, а есть путь (Дао) к цели. По существу, это есть вечный колебательный процесс, хорошо известный в физике. Мы увидим дальше, что имеются и другие аналогии с инь и ян: например, дуализм квантовых частиц (волна или частица). В синергетическом естествознании это гармоничное взаимодействие хаоса и порядка, широкое и глубокое проявление принципа дополнительности Бора (см. п. 1.2.7), проблема *«управления без управления»*, когда малым резонансным воздействием можно подтолкнуть систему на один из собственных и благоприятных путей самоуправляемого и самоподдерживающегося развития. Кроме того, восточная философия безусловно более правильно относится к экологическим проблемам потому, что учитывает глубокую взаимосвязь всего живого в нашем мире. Согласно такому подходу человек — лишь часть Природы, а отнюдь не хозяин, который «не ждет милостей от природы», преобразует, ломает и подчиняет ее себе. Он должен гармонично вписаться в природу, найти свою нишу в ней. Конечно, такой экологический подход гораздо чище и нравственней, чем тот, который доминирует в нашем обществе.

25

1.2.5. Взаимосвязь естественных и гуманитарных наук

В рамках данного курса гуманитариям важно понять законы гармонии мира не на субъективно-эмоциональном уровне, а на более универсальном научном языке, как, например, физика использует количественно-объективный язык математики. Для физики это совершенно естественно. Как сказал еще Г. Галилей: *«Те, кто хочет решать вопросы естественных наук без помощи математики, ставят перед собой неразрешимую задачу. Следует измерять то, что измеримо, и делать измеримым то, что таковым не является»*. Известно и изречение Пифагора: *«Все вещи суть числа»*. Американский физик **Ф. Д. Гиббс (1839—1903)** дал определение математики как языка. Применительно к физике и шире — ко всем естественным наукам это язык чрезвычайно емкий, четкий и образный. Именно на языке математики удастся простым и наглядным образом выразить причинно-следственные соотношения между отдельными явлениями, что, в свою очередь, позволяет существенно увеличить знания о мире и предсказать ход событий. В этом — одна из основных задач науки.

Однако, как заметил академик РАН **А. А. Марков (1903— 1973)**, «...математика, в сущности, наука гуманитарная, потому что она изучает то, что человек напридумывал».

Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

Другие известные ученые и философы также подчеркивали роль математики: *«Математика — основа точного естествознания»*, — сказал немецкий математик Д. Гильберт (1544—1603). Немецкий поэт И. Гёте (1749—1832) говорил, что *«числа не управляют миром, но показывают, как управляется мир»*. Американский физик Ю. Вигнер отмечал *«непостижимую эффективность математики в естественных науках»*, а великий итальянец Леонардо да Винчи считал, что *«никакой достоверности нет в науках там, где нельзя приложить ни одной из математических дисциплин, и в том, что не имеет связи с математикой»*. Известная парадоксальная шутка русского теоретика Л. Д. Ландау — *«Физику наших дней не обязательно знать физику, ему достаточно знать математику»* — отражает тенденции роста математизации познания. Однако для гуманитарного склада мышления математика часто затрудняет восприятие смысла. Это также отмечал И. Гёте: *«Математики, как французы: все, что вы им говорите, они переводят на свой язык, и это тотчас становится чем-то совершенно иным»*. Но это не значит, что гуманитариям следует бояться математики, не использовать ее в своих доказательствах.

26

Как сказал американский математик и кибернетик Джон фон Нейман (1903—1957), *«если люди не верят, что математика проста, то только потому, что не осознают, как сложна жизнь»*. Конечно, очень важно понимать, как подчеркнул английский биолог Т. Гексли (1825—1895), что *«математика, подобно жерновам мельницы, перемалывает то, что в нее засыпали»*. И как, засыпав плевелы, мы не получим доброкачественной муки, так и, построив неправильную физическую модель, мы не получим правильного ответа, какой бы математикой мы ни пользовались.

Многие выдающиеся представители и того, и другого подхода отчетливо осознавали необходимость привлечения дополнительной, так сказать, культуры. *«Среди конкурирующих научных гипотез истинной следует признать ту, из которой вытекают более гуманитарные, нравственные выводы»*, — сказал один из основателей квантовой механики В. Гейзенберг, получивший, кстати, начальное классическое гуманитарное образование. Автор теории относительности немецкий физик А. Эйнштейн (1879—1955) неоднократно заявлял, что он научился у Ф. М. Достоевского больше, чем у любого физика. Поэт А. Одоевский (1802—1839) подчеркивал, что *«европейский рационализм лишь подвел нас к вратам истины, но открыть их он не может»*. Индийский писатель-гуманист Рабиндранат Тагор (1861—1941) ставит вопрос более широко: *«Если мы закроем дверь перед заблуждением, то как туда войдет Истина»*. А известный немецкий физик М. Борн (1882—1970) сказал: *«Человеческие и этические ценности не могут целиком основываться только на научном мышлении»*.

Таким образом, подобно нашим предшественникам, мы сейчас приходим к необходимости целостного видения мира. Курс «Концепции современного естествознания» действительно должен стать синтезом мудрости древних цивилизаций, гуманитарных и естественных наук, путем к пониманию природы, человека и общества. Кроме того, сейчас, на новом этапе осознана принципиальная неустранимость роли человека, как наблюдателя и интерпретатора эксперимента. *«Мы являемся одновременно и зрителями, и актерами»*, — говорил датский физик Н. Бор. Американский физик Уиллер считает, что мы не просто наблюдатели, а соучастники. Можно сказать, что актуален лишь целостный подход: природа + человек. Но это полностью отвергала классическая физика, которая разделяла объективные измерения и субъективные восприятия человека и стремилась уменьшить погрешности измерения и тем самым увеличить их точность.

27

Вернер Гейзенберг



В.Гейзенберг (1901—1976)— немецкий физик — теоретик, лауреат Нобелевской премии 1932 г. за создание квантовой механики, применение которой привело, в частности, к открытию аллотропных форм водорода. Для объяснения квантовых скачков В. Гейзенберг разработал специальный матричный математический аппарат, что давало возможность представлять реальные физические величины числовыми таблицами — матрицами и существенно упрощать решение теоретических проблем физики атома. Атомная механика Гейзенберга стала называться матричной механикой. В дальнейшем разработанная Э. Шрёдингером волновая механика и матричная механика Гейзенберга оказались эквивалентными, и в научной литературе сейчас стали применять общий термин «квантовая механика».

Согласно соотношению неопределенности движение электрона (впрочем, как и всех других микрочастиц) не может быть связано с определенной траекторией, поскольку для этого необходимо в каждый момент времени знать его положение в пространстве и импульс. Отсюда следует, что говорить об электронных орбитах в боровском понимании этого понятия уже нет смысла. Известен такой любопытный факт (типичный для нашего времени), как один студент спросил Н. Бора, автора планетарной модели атома: «Правда ли были такие дураки, которые думали, что электроны движутся по орбитам?»...

Есть предположение, что В. Гейзенберг не способствовал продвижению разработок по созданию немецкой ядерной бомбы, к работе над которой его привлекло руководство нацистской Германии во время Второй мировой войны. Это могло быть связано и с его моральными убеждениями, тем более что о ходе этих работ он ухитрялся сообщать своим американским коллегам-физикам.

При переходе к изучению микромира квантовая физика со своим принципом неопределенности опровергла это положение. Вот как оценивал сложившуюся ситуацию В. Гейзенберг: *«Оказалось, что мы больше не способны отделить поведение частицы от процесса наблюдения. В результате нам приходится мириться с*

28

тем, что законы природы, которые квантовая механика формулирует в математическом виде, имеют отношение не к поведению элементарных частиц как таковых, а только к нашему знанию о них». В квантовой механике было установлено соотношение:

$$\Delta p \cdot \Delta x \geq h,$$

где Δp — изменение импульса квантовомеханической частицы, а Δx — изменение ее координаты¹.

Это соотношение было сформулировано в 1927 г. в виде *принципа неопределенности* В. Гейзенбергом.

Согласно соотношению Гейзенберга, мы выигрываем в измерении одного параметра, но проигрываем в измерении другого. Это, не зная в сущности квантовых представлений в физике, отмечали еще древние греки. Так, Аристотель в «Этике» писал: *«При рассмотрении любого предмета не следует стремиться к большей точности, чем допускает природа предмета».* Писатель В. А. Набоков говорил: «То, что полностью контролируем, никогда не бывает реальным. То, что реально, никогда не бывает вполне контролируемым». Схожие мысли высказывали и представители естественно-научной компоненты естествознания. Так, А. Эйнштейн отмечал: *«Пока математические законы описывают действительность, они не определены, когда они перестают быть неопределенными, они теряют связь с действительностью».* И. Р. Пригожин

подчеркивает: *«Познание предполагает возможность воздействия мира на нас самих и на наши приборы».*

И. Р. Пригожину принадлежат многие новые идеи, способствующие сближению двух подходов, двух принципиально не совместимых парадигм: биологической эволюции английского естествоиспытателя **Чарльза Дарвина (1809—1882)**: от простого к сложному (что с точки зрения физики означает переход от беспорядка (хаоса) к более совершенному, сложному и упорядоченному живому объекту) и парадигмы австрийского физика **Людвига Больцмана (1844—1906)**, согласно которой в окружающем нас мире беспорядок возрастает:

$$S = k \ln w.$$

Здесь S — энтропия, k — постоянная Больцмана, w — вероятность возможных состояний системы. Физическое понимание

¹ Здесь и далее по всему тексту учебника физические определения и законы предполагаются известными читателю из курса физики или могут быть извлечены из него.

29

этой вероятности w состоит в том, что количественной характеристикой теплового состояния тела, обусловленного порядком — беспорядком его составных частей вплоть до молекул, является число микроскопических способов W , которыми это состояние может быть осуществлено. Это число называют также статистическим весом состояния. В термодинамике показывается, что тело, предоставленное самому себе, стремится перейти в состояние с наибольшим статистическим весом W .

1.2.6. Синергетическая парадигма

Развитие физической системы по Больцману (физическую эволюцию) связывали с идеей тепловой смерти Вселенной с наступлением равновесия, когда энтропия максимальна. Сейчас удастся преодолеть этот парадокс на основе новой науки *синергетики* (от греческого слова Sinergetikos — согласованное действие). Синергетика — область научных исследований, связанных с процессами самоорганизации в открытых системах, коллективного поведения подсистем, связанных с неустойчивостью. Более широкое определение: синергетика — согласованное действие, содействие, сотрудничество на общих идеях. Она опирается на физико-математические методы и является обобщением эволюционизма и по существу становится эволюционным естествознанием, дополняя детерминизм ньютоновской парадигмы (если заданы начальные условия и есть уравнение, описывающее поведение системы, то можно рассчитать ее развитие) универсальными принципами развития и рождения нового. Такой подход на самом деле меняет постановку проблем и в самой физике: по И. Р. Пригожину, от физики существующей к физике возникающей, от Бытия (то, что есть) к становлению (то, что будет!). Суть этой новой научной парадигмы в том, что акцент переносится со статического положения равновесия на изучение состояний неустойчивости, механизмов возникновения и перестройки структур. Отметим, что восточная философия близка и к синергетике в отношении гармонической взаимосвязи целого и его частей. Не останавливаясь здесь пока более подробно на синергетическом подходе к объяснению эволюции сложных систем, поскольку мы рассмотрим его в главе 7, укажем все же, что ключевыми понятиями являются флуктуации и бифуркации. Флуктуацию можно рассматривать как колебание, отклонение от среднего значения величины, а бифуркацию — как не-

30

кую критическую пороговую точку раздвоения, при которой система находится в двух состояниях одновременно (латинское *bi* — два и *furca* — развилка). При попадании системы в точки бифуркации может происходить качественное изменение поведения объекта при критических значениях, определяющих этот объект параметров. В области бифуркации флуктуация может скачком гигантски разрастаться, и дальнейшее поведение системы становится неопределенным. В таких необратимых термодинамических процессах оказывается, что время тесно связано с этими флуктуациями. Пригожин вводит для таких процессов понятие второго, внутреннего времени. В то же время фундаментальным фактом является возрастание в целом энтропии в окружающем мире и вытекающее из этого представление об определенной направленности хода времени. Тогда второе начало является как бы принципом отбора, вытекающим из законов классической термодинамики. Однако заметим, в неустойчивых динамических системах

невозможно задать точные начальные условия, которые привели бы к одинаковому будущему для всех степеней свободы.

1.2.7. Универсальный принцип естествознания — принцип дополнительности Бора

Привлекая к обсуждаемым общим проблемам естествознания одну из теорем Геделя о полноте и непротиворечивости, согласно которой *«ни одна из культур не самодостаточна и не может развиваться без использования методов другой науки, иначе она перейдет в застывшую догму либо в хаос абсурда»*, можно сказать, что изучение естественной науки для гуманитариев — это на самом деле реализация физического *принципа дополнительности Бора*. Понятие дополнительности в физике было введено Н. Бором в 1928 г. в период становления квантовой механики для объяснения экспериментальных результатов исследований микромира.

Н. Бор, исходя из решения чисто физических проблем, понял общность этого принципа и уже в одной из первых своих работ перекинул мост от физики к психологии и вообще ко всей теории познания. Предложенный для объяснения физики микромира, этот принцип сразу завоевал доверие ученых общностью подхода в теории познания, философии, науке и в целом в формировании образа окружающего нас реального мира.

31

Нильс Бор



Н. Бор (1885—1962) — датский физик, лауреат Нобелевской премии 1922 г. за заслуги в изучении строения атомов и испускаемого ими излучения, чрезвычайно образованный и разносторонний физик, расширивший физические представления на другие области изучения природы и человеческой интеллектуальной деятельности. Его исследования по философии познания, во многом инициированные под влиянием датского философа **С. Кьеркегора (1813—1855)**, позволили поднять принцип дополнительности до уровня универсального инструмента в современном естествознании.

Используя представления М. Планка, он ввел понятия квантов в теорию атома. Свою теорию он изложил в 1913 г. в работе «О строении атомов и молекул», в которой показал, что существуют «разрешенные» стационарные орбиты (двигаясь по ним, электрон не излучает энергию) и вместе с тем электрон может перескочить на близкую к ядру стационарную орбиту (испустив при этом квант энергии).

Заметим, что предложенная им модель не была лишена недостатков: представление о стационарных орбитах электронов опиралось на планковскую теорию, а расчет этих орбит проводился по законам классической механики и электродинамики. Об этом с юмором сказал **Г. Брэгг (1862—1942)**: *«По теории Бора мы как бы должны по понедельникам, средам и пятницам поль-*

зоваться классическими законами, а по вторникам, четвергам и субботам — квантовыми».

Н. Бор много сделал в квантовой и ядерной физике: объяснил с позиции квантовой модели строения атома основные положения Периодической системы элементов русского химика **Д. И. Менделеева (1834—1907)**; предложив так называемую капельную модель ядра (1939), объяснил явление деления урана под действием нейтронов; предсказал вероятность спонтанного деления ядер — нового вида естественной радиоактивности. Приведем несколько штрихов из его биографии, дающих представление о нем как о неординарном человеке. Когда нацисты оккупировали Данию, над Бором нависла непосредственная угроза, так как немцы намеревались привлечь его к реализации своего уранового проекта. Осенью 1943 г. Бору удалось перебраться в нейтральную Швецию, а затем в Англию, куда его доставили на бомбардировщике. Во время перелета он едва не погиб, так как был помещен в бомбовый отсек, а кислородный шлем оказался ему слишком мал (Н. Бор был человеком

весьма крупного размера) и он чуть не задохнулся.

Впоследствии уже в США он принимал участие в Манхэттенском проекте по созданию американской атомной бомбы. Но уже в августе 1944 г. он обратился к президенту США Рузвельту с письмом, в котором высказывался за полное запрещение использования нового оружия. Его сын Оге Бор продолжил дело своего отца: он стал физиком и директором института теоретической физики имени Нильса Бора в Копенгагене, а в 1975 г. получил и Нобелевскую премию за развитие теории структуры атомного ядра. В качестве своего девиза Н. Бор выбрал китайские символы «ян» и «инь».

Принцип дополнительности заключается в том, что

• *более точное определение одной из дополняющих друг друга характеристик описания объекта приводит к уменьшению точности других.*

Этот принцип применяется практически во всех методах и науках, изучающих неживую и живую природу, человека, общество. Поэтому универсальный принцип дополнительности следует считать одним из важнейших достижений науки, и его понимание и использование необходимо для научного представления действительности.

32

С формальной стороны принцип дополнительности в физике связан с принципом неопределенности: измерить одновременно с достаточно высокой точностью импульсы и координаты микрочастицы практически невозможно.

Более общая формулировка этого принципа:

• *В области квантовых явлений наиболее общие физические свойства какой-либо системы выражаются с помощью дополняющих друг друга пар независимых переменных, каждая из которых может быть лучше определена только за счет соответствующего уменьшения степени определенности другого.*

33

Принцип дополнительности не ограничивается только этими моментами. Например, волновые и корпускулярные проявления света в поведении микрочастиц также являются взаимодополняющими и отражают реально существующий дуализм микромира. Согласно принципу Бора для нас существует лишь то, что мы способны измерить или оценить. Если нет связи между фактами (элементами), то эти факты мы не можем установить. Мы можем знать лишь то, что как-то связано между собой и нами.

Дуализм наших представлений о реальном физическом мире через взаимосвязь пространства и времени, синергетических представлений об упорядочении на одном уровне и хаотичности на другом уровне состояния сложных систем, взаимодополнительности и согласованности фундаментальных мировых постоянных находит свое отражение и в духовно-нравственном восприятии мира человеком. Природа человека также двойственна — он рассматривает мир извне, в том числе с позиций Бога, и изнутри с помощью органов чувств, дополненных приборами. Отсюда и двойственное описание этой природы — с гуманитарно-духовной стороны и с объективно физических представлений. Одна часть человеческого бытия успешно описывается наукой, другая требует искусства, религии или какого-то не известного, но не механистического, а духовного способа постижения мира.

П. Дирак отмечал, что, по Бору, *«высшая мудрость должна быть выражена обязательно такими словами, смысл которых не может быть определен однозначно. Следовательно, истинность высшей мудрости не является абсолютной, а только относительной: поэтому противоположное высказывание также правомерно и мудро»*. Сам Бор считал, что *«каждое высказывание надо понимать и как утверждение, и как вопрос»*. И. Гёте писал: *«Образ, дивно расчлененный, пропадает навсегда»*. А. Эйнштейн считал, что *«физические понятия суть свободного творения человеческого разума и неоднозначно определены внешним миром»*. Французский математик А. Пуанкаре говорил, что *«никакой физический опыт не может подтвердить истинность одних преобразований и отвергнуть другие как недопустимые»*. Он же отмечал, что, *«изучая историю науки, мы замечаем два явления, которые можно назвать взаимопротивоположными: то за кажущейся сложностью скрывается простота, то, напротив, видимая простота таит в себе чрезвычайную сложность»*. Характерно высказывание того же Эйнштейна: *«...как много мы знаем и как мало понимаем»*. Русский православный философ А. Мень писал, что «наука и рели-

34

гия — эти два пути познания реальности — должны быть не просто независимыми сферами, но в гармоническом сочетании способствовать общему движению человечества по пути к Истине». Не зная принципа Бора, Гёте говорил, что между двумя противоположными мнениями находится не истина, а проблема.

Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

По поводу противоположностей французский философ и математик **Б. Паскаль (1623—1662)** говорил: *«Противоположность истине — не заблуждение, а противоположная истина»*. А Н. Бор перевел эту сентенцию Б. Паскаля на свой манер: *«Противоположность истине — глубокое заблуждение, а противоположность глубокой истине — другая глубокая истина»*. Согласно Лао-Цзы реальность характеризуется объединением противоположностей, объединением «ян» и «инь».

Из приведенных высказываний выдающихся представителей естественно-научной и гуманитарной ветвей культуры видно, что они и в пределах своей сферы деятельности, и в более общем восприятии и объяснении мира считали, что однозначно, одним методом, на одном языке невозможно описать явление, субъект или объект — необходимо привлечь дополнительные представления, дополнительную культуру.

Сложность объединения гуманитарной и естественно-научной культур и имеющиеся различия в исследовании ими мира во многом обусловлены отсутствием общего языка и понятийного аппарата, которыми могут стать теория самоорганизации и синергетический подход. Но такая же проблема существует и в самой физике. Наш человеческий язык и схема мышления сформированы в трехмерном пространстве, и поэтому нам сложно представить себе четырехмерную реальность релятивистской механики и законы квантовой физики микромира с ее вероятностным подходом. Мы пытаемся говорить о принципиально новых явлениях на языке старых представлений в пределах линейного мышления, не преодолев, так сказать, «лингвистического барьера».

Так, из теории относительности А. Эйнштейна обоснованно вытекает, что пространство искривлено и степень искривления зависит от массы тел. А поскольку в общей теории относительности время неотделимо от пространства, присутствие вещества оказывает воздействие и на время, вследствие чего в разных частях Вселенной и для сложных объектов время течет по-разному, что до недавнего времени физикам казалось кощунственным. Можно ли это понять с помощью нашего обычного языка без создания новых представлений? Вероятно, именно этим и вы-

35

звано желание привлечь иные возможности познания, нашедшие свое выражение в принципе дополненности Бора.

В то же время, как заметил академик В. Л. Гинзбург, гуманитарная интеллигенция образована весьма односторонне и ее представители в отношении естественных знаний нередко находятся на средневековом уровне. Не обладая естественно-научной логикой и не понимая сущности физического мира, гуманитарии, пытаясь объяснить общественно-социологические, психологические или экономические процессы в философии науки, часто используют лишь внешние атрибуты новых понятий, в том числе таких синергетических представлений, как бифуркации, теории катастроф, режимы с обострением, нелинейная эволюция и т.д.

С другой стороны, в ряде случаев гуманитариями неоправданно делается, например, вывод о том, что большая часть неприятностей, которые мы имеем сегодня в России и во всем мире, есть порождение научной рациональности. Статьи в научной печати нередко проникнуты духом неприязни к естествознанию и к научной рациональности. Утверждается, что именно естествознание повинно во всех негативных последствиях научно-технического прогресса. В полемическом задоре спрашивается: «Будет ли положен конец в следующем столетии диктату естествознания?», подразумевая, что, конечно, будет! Воинствующие высказывания типа «наука должна знать свое место, естествознание ориентировано на инженерию, наука ведет к техногенному тупику» и т.д. свидетельствуют о непонимании роли научной мысли в развитии человечества и задач естествознания. Но это уже было. Во все времена человеческой истории натуральная философия и современное естествознание направлены на познание действительности самой по себе, на научное познание сущности вещей и людей и только потом на применение этих законов в технике, рациональной деятельности людей.

Возражая апологетам примата только духовной компоненты над рационально-логической, их мнению, что XXI век не будет веком науки вообще, можно сказать, что за «хлебом сущим» — за решением своих проблем бытия они все равно обращаются к науке. Известно, что в процессе познания мы имеем дело с реконструкцией реальности через осознание его нашими представлениями в соответствии и с антропным принципом. Предметом же нашего познания могут быть аспекты реальности, которые вовлечены в сферу нашей деятельности, в том числе и приклад-

36

ные проблемы использования достижений науки. Здесь возможно и необходимо Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

поставить развитие научно-технического прогресса под гуманистический контроль, учитывать все негативные процессы воздействия человека на природу, Универсум, свой мир, рассматривая это движение как целостное действие человеческого Разума.

В то же время надо признать, что мы сегодня не знаем, в какой степени ограничено наше знание о самих себе. Как отмечает русский кибернетик и психолог **В. А. Лефевр [81—84]**, Достоевский обстоятельно анатомизирует души своих персонажей, как энтомолог расчлняет стрекозу, и потому можно говорить о физической структуре души. Чтобы построить формальную модель человека, не надо исследовать природу пространства или области, где обитает душа, так же как в квантовой механике не ищут онтологического смысла волновой функции.

Н. Бор считал, что физический аспект принципа дополнительности есть лишь частный случай более общего подхода: пытаясь анализировать наши переживания, мы перестаем их испытывать. В этом смысле мы обнаруживаем, что между психологическими опытами, для описания которых адекватно употреблять такие слова, как «мысли» и «чувства», существует соотношение дополнительности, подобно тому, которое существует между данными о поведении атомов. Бор говорил также, что *«мышление человека обладает чертами, напоминающими характеристики квантовых явлений»*. Наблюдение чувств и их протекание — это два дополняющих друг друга события. По мнению В. Лефевра, пытающегося с кибернетических позиций смоделировать душу человека, можно видеть себя страдающим либо действительно страдать или видеть себя испытывающим вину либо испытывать ее — и это тоже иллюстрирует принцип дополнительности Бора. Когда человек погружен в размышления о причинах своих действий, он может разрушить эти причины в своем сознании и желать произвести какие-то действия. Человеческая свобода действия, по Бору, находится в дополнительном отношении к субъективной рефлексии (размышлению, самопознанию).

А. С. Пушкин вложил в уста Сальери такие слова: *«...звук умертвив, музыку я разъял, как труп. Поверил алгеброй гармонию»*. Слишком большое увлечение анализом, т.е. одной стороной познания объекта, приводит вообще к потере удовольствия от слушания музыки, от которой остается лишь труп! А вот что писал русский религиозный философ **Петр Чаадаев (1794—1856)**:

37

«В истории есть анализ, но есть и синтез... Без всякого сомнения, наиболее истинным является не то, что она повествует, а то, что она мыслит. В этом смысле поэтические представления могут быть ближе к истине, чем самый добросовестный рассказ». Другими словами, архивная полка не есть еще «История государства Российского». Можно сказать, что и «Три мушкетера» не есть история Франции. Или еще раз, как говорил Н. Бор, *«мы встречаемся здесь с иллюстрацией старой истины, что наша способность анализировать гармонию окружающего мира и широта его восприятия всегда будут находиться во взаимоисключающем, дополнительном соотношении»*.

Поскольку весь мир состоит из атомов и молекул, то любые особенности микромира тем или иным способом проявляются в макропредставлениях. Поэтому идея дополнительности, первоначально сформулированная в физике применительно к микромиру, оказывается плодотворной в других областях знания. Н. Бор с полным основанием говорил, что *«идея дополнительности способна охарактеризовать существенную ситуацию, которая имеет далеко идущую аналогию с общими трудностями образования человеческих понятий, возникающими из разделения субъекта и объекта»*. При этом очень часто, как мы уже отмечали, попытка более детального изучения одной стороны объекта в полной аналогии с соотношением неопределенности Гейзенберга приводит к потере определенности в другой. В более же общей, близкой к гуманитарному подходу формулировке, данной Бором, принцип дополнительности звучит так: *«Дополнительной к истине является ясность»*.

Хороший пример дополнительности восприятия художником окружающего мира и передачи его в картинах приводит академик **Б. В. Раушенбах (1915—2001)**. При изображении, например, комнаты один считает важным стены и точно передает их вид, пренебрегая полом. Другой изобразит пол таким, как он видит, неумолимо искажая вид стен. Можно по-разному расставлять акценты. Выбор того или иного варианта — дело восприятия и целей самого художника. Поэтому слова художников «я так вижу» имеют объективный физический смысл: для одного важна вертикаль (стены), для другого горизонталь (пол). А вместе — не получается! Если он хочет правильно нарисовать пол, то «наврет» в изображении стен, а другой, которому важны стены, обязательно «наврет»

в изображении пола. Для каждого из них что важнее, то он и передает лучше, «правильнее», пренебрегая другим. Б. В. Раушенбах отмечал: *«Один передает безупречно одно, другой — другое, и получают разные картины, и*

38

все они одинаково правильны и одинаково неправильны, и это справедливо» [116]. Заметим, что такие картины действуют на нас тоже по-разному, а ведь изображен на них один и тот же объект.

Приведем еще одно соображение, связанное с этим всеобщим законом дополнительности. Это «принцип равноправия», взаимоуважения участников любой дискуссии как реализация в гуманитарном плане принципа дополнительности Бора, когда каждый специалист не только уважает мнение другого, но и готов ограничить сферу своего мнения так, чтобы оно вписывалось в допустимые рамки, устанавливаемые извне другими специалистами. Применительно к научным исследованиям и прогнозированию принцип дополнительности определяет методологию познания: чем больше простота и шире область исследования или применения, тем меньше точность и конкретность оценки.

Известный с XIV в. принцип *бритвы Оккама (1285—1349): «Entia non sunt multiplicanda practer necessitatem» — «Чем ближе мы находимся к некоторой истине, тем проще оказываются основные законы, ее описывающие»* — также хорошо укладывается в рассматриваемые положения идей Бора о дополнительности понятий и представлений в познании мира.

Интересную трактовку принципа Бора на «бытовом уровне» можно найти в эссе «Низкие истины» известного кинорежиссера А. Кончаловского (который, возможно, и не слышал вовсе ни о каком Боре): *«Человек, свободный внешне, должен быть чрезвычайно организован внутренне. Чем более человек организован, тем больше внутренне не свободен, тем более свободное общество он создает. Каждый знает пределы отведенной ему свободы и не тяготеет ее рамками. Самоограничение каждого — основа свободы всех. Очень часто приходится слышать о свободе русского человека. Да, русские действительно чрезвычайно свободны внутренне, и не удивительно, что компенсацией этому является отсутствие свободы внешней. Свободное общество они пока создать не в состоянии именно из-за неумения себя регламентировать. Каждый хочет быть свободен сам — всем стать свободными при этом заведомо не реально».*

Можно отметить и другие возможности эффективного применения принципа дополнительности Бора в современном естествознании. Сюда относятся взаимоотношения между целым и частями, структурой и функциями сложной системы; хаосом и порядком при эволюции в процессе самоорганизации; стохастичностью и детерминированностью; случайностью и необходимостью; между понятиями «ян» и «инь» восточного мистицизма; между ощущениями и их осмыслениями в теории австрийского

39

физика и философа Э. Маха (1838—1916); использование антропного принципа при формулировке законов физического и информационного взаимодействий, взаимоотношения между объектом исследования и самим исследователем, социальными и биологическими формами движения, мужчиной и женщиной, проявлением и сущностью явления. Так, Л. Н. Гумилев отмечал, что, когда выигрываешь в общественной свободе, проигрываешь в контакте с природой, здесь также проявляются взаимодополняющие сущности географической и физиологической среды человека.

Количество примеров использования принципа дополнительности можно увеличить до бесконечности по мере изучения и понимания современного естествознания. Сюда относятся: синтез — анализ, предмет — метод, вертикаль — горизонталь, сложность — организованность, рациональное — интуитивное, правое полушарие мозга — левое, познание и эстетическое восприятие (чем человек логически умнее, тем меньше он удивляется, восхищается) и т.д. Например, один из признаков характеризует объект, другой — его окружение. При этом, как говорил Н. Бор, *«мы имеем дело с различными, но одинаково существенными аспектами единого, четко определенного комплекса сведений о системе».* Н. Бор считал, что описать сложное явление с помощью одного языка, да еще единым и исчерпывающим образом невозможно. Принцип дополнительности Бора в корне отрицает возможность описания мира путем деления его на части с полным описанием каждой его части. Никакое отдельное знание о предмете не может быть самодостаточным, требуется дополнение в лице других наук (естественные — гуманитарные науки). В гуманитарном знании и понимании такой подход только лишь Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

начинает проявляться. В преодолении этого — одна из задач современного естествознания.

Принцип дополнительности Бора универсален для человеческого познания и проявляется, в частности, когда люди пытаются связать физиологические и психические феномены. В соответствии с этим принципом, по-видимому, нельзя исследовать (измерять!) сознание и функции мозга одновременно. Чем больше известно о деятельности мозга субъекта, тем меньше информации можно добыть о его психологическом состоянии. И наоборот, чем лучше мы знаем психологическое состояние, тем меньше информации о процессах, протекающих в мозге человека. Этот принцип проявляется также в том, что физическое воздействие на мозг (с целью изучения его деятельности) разрушает психологическую картину внутреннего мира субъекта, которую

40

можно наблюдать в полном объеме, если никакого инструментального воздействия не существует.

Понятно теперь, что применением лишь одного способа познания мира мы не можем построить его целостную картину. Имеющаяся современная концепция Универсума носит в основном физический характер. Человек с его знанием и совестью никак пока не рассматривается в физических моделях. Отметим, что уже делаются попытки построения таких моделей для физики нравственности, физики бессмертия, физики души, алгебры совести и т.д. Например, в алгебраической модели В. А. Лефевра строятся взаимосвязи между такими человеческими сущностями, как совесть и музыка, с одной стороны, и такими физическими сущностями, как элементарные частицы и их наблюдения, с другой.

Целостный подход к восприятию действительности с учетом естественно-научного и гуманитарного методов его изучения и применение принципа дополнительности Бора в качестве инструментария познания дают возможность решить задачу более полного понимания реального мира, могут даже изменить идеологию, выяснить причины потрясений в современном обществе, столь неустойчивом, когда человек часто теряет ориентацию из-за отсутствия стабильных критериев и ценностей и обоснованного научного объяснения всех происходящих в мире явлений.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каков смысл понятия «современное естествознание» и какова цель его изучения?
2. В чем ценность натурфилософии и какие идеи древних мыслителей подтверждаются в современном естествознании?
3. Какие три научные программы были развиты в древнегреческом естествознании? В чем их различие?
4. Какими фундаментальными принципами пользуются для объяснения современной картины мира?
5. Какие два подхода существуют в настоящее время для описания мира? Почему возникает необходимость гармонизации этих подходов и холизма в современном естествознании?
6. Что, по Вашему мнению, объединяет современную физику и восточный мистицизм?
7. Какова роль математики в современном естествознании?
8. В чем сущность принципа дополнительности Бора и как он трактуется в физике и современном естествознании?
9. В чем разница между биологической эволюцией Дарвина и физической эволюцией Больцмана?
10. Что понимается под научной картиной мира и как ее представляете именно Вы?
11. В чем недостатки физикализма и антропоцентризма?

ЛИТЕРАТУРА

[3](#), [16](#), [18](#), [19](#), [23](#), [26](#), [42](#), [43](#), [44](#), [47-49](#), [56](#), [60](#), [61](#), [92](#), [99](#), [106](#), [108](#), [114](#), [115](#), [139](#), [140](#), [141](#), [150](#).

41

Глава 2. МЕХАНИКА ДИСКРЕТНЫХ ОБЪЕКТОВ

С давних времен, с них пор как существует изучение природы, она имеет в качестве идеала конечную важную задачу: объединить пестрое многообразие физических явлений в единую систему, а если возможно, в одну-единственную формулу.

М. Планк

Часто физик пытается объяснить другим то, что он еще сам не вполне ясно понимает.

Я. Смородинский

Изучение простых движений исторически стало первым приложением научного метода к проблемам реального физического мира. В физике движение рассматривается в самом общем виде как изменение состояния физической системы и для описания состояния вводится набор измеряемых параметров. Параметры движения (траектория s , скорость v , ускорение a , масса m , сила F ; импульс p , энергия E) в законах динамики Ньютона достаточно четко описывают разнообразные изменения состояния объектов, хорошо известные из общего курса физики. Примерами движений являются движущиеся атомы, электрический ток как направленное движение электронов, движение планет вокруг Солнца, перемещение любых объектов в пространстве и т.д. Рассмотрим хорошо, казалось бы, известное понятие движения в целом как свойство материи.

Поскольку в классической физике мы принимаем за аксиому дискретность объектов природы, то при их движении мы должны определить систему отсчета (где считать, вычислять перемещение объекта) и положение объекта в ней (как найти место объекта в системе и определить его перемещение). Любое изменение состояния реального объекта в природе — будь это простое перемещение или более сложное — называют событием. Этот термин сближает естественно-научный язык с гуманитарным. Заметим, что понятие «состояние» объекта является достаточно сложным: мы употребляем его для описания разных характеристик (состояние атмосферы, состояние общества, состояние здоровья и т.д.), а не просто описания физического состояния объекта. Обычно под событием понимают только изменение положения объектов или их совокупностей в пространстве с течением времени. Таким образом, все события

42

происходят в пространстве и времени. С позиции физики это означает введение некой системы отсчета с функциональной зависимостью координат от времени:

$$x = x(t); y = y(t); z = z(t),$$

2.1. Трехмерность пространства

Выбор пространства трехмерным в известной мере кажется произвольным, интуитивным и даже историчным, когда перешли от натурфилософского понимания пространства к количественному описанию его на математическом языке параметров объектов. Более того, можно было бы сказать, что такое трехмерное пространство выбрано ради удобства: мы лучше именно так воспринимаем мир. Построенные на таком трехмерном восприятии все последующие законы изменения мира в точных естественных науках подтверждаются в грандиозных успехах техники, что нас убеждает, может быть, в неосознанном выборе метрики пространства. Хотя известно, что и в философии, и в математике имеются представления о многомерности пространства.

В то же время применение именно числа 3 может быть и не было случайным. Мы уже упоминали о двух подходах к изучению Мира, о двух культурах: естественной и гуманитарной, но можно без грубого вульгаризма отнести сюда и культуру религии. И таким образом можно говорить о трех способах познания, присущих Homo sapiens: аналитический — наука, художественный, чувственный, иногда иррациональный — искусство и ре-конструктивно-пророческий, по большей части всегда иррациональный — религия. Как это ни парадоксально с материалистической точки зрения, но все три способа познания, а значит и определяемые ими ветви знаний, имеют области взаимного пересечения. Известный русский философ религии отец **П. Флоренский (1882—1943)**, физик по образованию, говорил о природе: *«Через пространство и время все обозначено числом три, и троичность есть наиболее общая характеристика бытия»*.

Искусство во многом основывается не только на принципе гармонии и красоты, но и на их мистическом восприятии и передаче в произведениях искусства, т.е. на религиозном мировоззрении, дающем творческий импульс, но, конечно, искусство для достижения своих целей использует научные методы, например, научные принципы гармонии и перспективы [116]. В свою

43

очередь, наука требует не только красоты теоретических построений, но и рациональной веры в справедливость исходных положений аксиом. Примеры троицы: троичность единого Бога (Бог-Отец, Бог-Сын, Бог — Святой Дух), 3 закона Ньютона, 3 закона сохранения, 3 начала термодинамики, 3 поколения фундаментальных элементарных частиц, 3 геометрии пространства: Евклида — плоская, Римана — сферическая, точнее эллиптическая, и Лобачевского — гиперболическая, а также дарвиновская триада: изменчивость, наследственность, отбор и, наконец, 3 измерения

времени: прошлое, настоящее, будущее. В личности отец П. Флоренский также усматривал «троицу»: *«Каждое психическое ее движение тройко по качеству так, что содержит отношение к уму, к воле и к чувству»*.

Остановимся несколько подробнее на современных физических обоснованиях трехмерности нашего пространства, в котором мы живем. Почему же все-таки наше физическое пространство трехмерно? Физики давно поняли, что здесь кроется какая-то загадка, тайна. Австрийский физик и философ Э. Мах (1838—1916) в своей работе [90] поставил вопрос: «Почему пространство трехмерно?».

Заметим, что Э. Мах вовсе не считал пространство жестко трехмерным. Он писал: *«Поскольку атомы и молекулы по своей природе не могут быть даны нашим чувствам, мы не имеем никакого права мыслить обязательно эти вещи в отношениях, соответствующих евклидову трехмерному пространству. «Нечувствительные» вещи не должны быть обязательно представлены в нашем чувственном пространстве трех измерений. Таким образом я пришел к мысли об аналогах пространства различного числа измерений»*. Согласно современным представлениям физическая модель трехмерного пространства, строго говоря, относится к объектам, которые можно представить материальной точкой.

Рассмотрим, что было бы, если бы пространство имело число измерений, отличное от трех. Простые взаимодействия описываются законом Ш. Кулона (1736—1806) и законом И. Ньютона (1643—1727). Согласно этим законам электрические и гравитационные силы ослабевают $\sim 1/r^2$. Наиболее наглядное объяснение этому такое: с увеличением расстояния силовые линии поля распределяются по все большей поверхности сферы, охватывающей заряд или массу, а площадь сферы увеличивается пропорционально квадрату радиуса. Значит, плотность силовых линий, пронизывающих эту сферу, уменьшается как $1/r^2$, что и опреде-

44

ляет закон изменения этих сил. Немецкий философ И. Кант (1724—1804) писал: *«Трехмерность происходит, по-видимому, оттого, что субстанции в существующем мире действуют друг на друга таким образом, что сила действия обратно пропорциональна квадрату расстояния»*.

Если пространство геометрически четырехмерно, то, как известно из математики, площадь трехмерной сферы в таком пространстве пропорциональна уже кубу радиуса, если оно пятимерно, — то 4-й степени радиуса, и т.д. Таким образом, мы получаем, что в разных пространствах — разные физические законы. Но «наши»-то законы работают! Свидетельство этому — многочисленные технические применения и устройства. Поэтому можно сделать вывод, что наше пространство трехмерно. В механике показывается, что в пространстве любого числа измерений центробежные силы пропорциональны $1/r^3$ (при движении точечного или любого тела по круговой орбите, например вокруг другого центрального), не зависят от числа измерений пространства. Из механики также известно, что для существования устойчивых круговых орбит необходимо, чтобы центробежные силы уменьшались с расстоянием быстрее, чем силы притяжения. Иначе малейшее возмущение приведет либо к падению заряда в центр вращения, либо «улет» его в бесконечность. Нет устойчивости орбит — нет вообще связанных состояний. Значит, для наличия таких состояний нужно, чтобы размерность была не более трех. А связанность необходима для существования объектов. Что изменится, если пространство будет двух- или даже одномерным? Теория показывает, что в таком пространстве силы уменьшаются очень медленно, и при любых начальных скоростях все тела упадут в центр вращения, т.е. не будет свободного движения притягивающихся тел. Поэтому в таких пространствах нет связанных устойчивых систем, нет ни атомов, ни галактик.

Может быть, природа пыталась, и неоднократно, создать Вселенные с разными свойствами (и размерностями!)? Но только в трехмерном пространстве имеются и связанные, и свободные состояния: связанные гравитирующие системы и свободное, но устойчивое движение. Другими словами, только в этом случае возможно образование сложных и разнообразных структур, способных к возникновению и распаду. Только здесь имеется возможность возникновения жизни, изменчивости эволюции.

45

Следовательно, именно в этих пространствах (а может быть, и только в них!) могут существовать разумные существа. Представление о них, как о себе, нашло свое отражение в антропном принципе (см. § 6.6). Поэтому не удивительно для нас утверждение, что мы живем именно в трехмерном пространстве. Как писал русский поэт Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

В. Брюсов (1873—1924):

Ввысь, вишь, вглубь. Лишь три координаты. Мимо них где путь? Засов открыт, С Пифагором служат сфер сонаты. Атом для счет, как Демокрит.

В пространствах с другим числом измерений и в мирах с другими законами жизнь в нашем человеческом понимании не могла бы возникнуть.

Заметим, что количественное изменение фундаментальных физических констант (не таких, которые сейчас установлены для основных взаимодействий в нашем мире) может привести вообще к невозможности образования галактик, звезд и даже элементарных частиц, к невозможности появления сложной структуры и самой жизни во Вселенной [134].

Небольшие изменения этих фундаментальных постоянных ведут не просто к количественным изменениям, а к кардинально качественным изменениям в природе нашего мира. В этом смысле наша Вселенная оказалась весьма неустойчивой по отношению к подобным изменениям в законах физики. Мы видим Вселенную такой, как она есть, причем она не является ни наиболее типичной, ни наиболее вероятной по своим свойствам частью нашего мира. Возможно, есть бесконечное множество других вселенных и миров, совсем не похожих на нашу. Вспомним известный роман Лема и фильм Тарковского «Солярис» с образом «мыслящего» живого Океана. Эти миры вправе иметь и многомерное пространство, и другие физические законы, но без нас! Иных миров может быть очень много, но жизнь, подобная нашей, возможна лишь в таких мирах, как наш. В этом и состоит более общая (и более глубокая) формулировка антропного принципа. Именно поэтому мы не можем связаться с другими внеземными цивилизациями. Суть этого принципа образно выразили наш космолог Зельманов: *«Мы являемся свидетелями природных процессов определенного типа только потому, что процессы иного типа протекают без свидетелей»* и американский физик Уилер: *«Существующего во Вселенной порядка вещей могло*

46

не быть без человека, но поскольку есть Человек, Вселенная именно такова».

Все сказанное не исключает попыток построить умозрительно многомерную Вселенную, особенно в связи с теориями объединения существующих полей в единую теорию поля и в связи со сценариями возникновения Вселенной. Так, французский физик **Т. Калуца (1885—1954)** и немецкий математик **О. Клейн (1849— 1925)**, пытаясь объединить гравитацию Эйнштейна и электромагнетизм **Максвелла (1831—1879)** на геометрической основе, ввели 5-мерное пространство (ввели еще одну пространственную координату плюс время). Тогда теоретически искривление 5-мерного мира позволяет одними и теми же уравнениями описать и электромагнитное, и гравитационное поле.

Свою пятимерную теорию также создал профессор Юлий Румер (Россия). Он показал, что пятому измерению можно придать смысл действия.

Шестимерная Вселенная была построена выдающимся отечественным авиаконструктором **Людвигом Бартини (1897—1974)**. Она включает три пространственных измерения и три временных.

Многомерные построения увлекают многих теоретиков. В рамках одной из современных теорий, называемой *супергравитацией*, использованы одиннадцать измерений. В настоящее время используются и 26-мерные модели. Они позволяют с единой точки зрения описать все проявления вещества и переносчиков взаимодействий. И тогда сбылась бы мечта Эйнштейна о великом объединении всех полей. Но реальны ли эти многомерные пространства? Возникает законный вопрос: почему это добавочное пространственное измерение никак не проявляется в нашем мире и почему мы не можем передвигаться в дополнительном измерении? Более того, так же, как в известной теории эфира, придумываются причины — почему мы их не обнаруживаем и «предпочитаем» двигаться все-таки в трехмерном пространстве. Здесь выдвигается идея компактификации пространства. Дополнительные пространственные измерения как бы скручены, замкнуты (например, как одно из измерений листа, свернутого в цилиндр, или бесконечно длинные нити с бесконечно малым размером их диаметра). Считается, что эти дополнительные измерения компактифицируются, когда энергия и размеры пространства уменьшаются до планковских величин. Но об этом позже.

47

2.2. Пространство и время

Привычные понятия времени и пространства на самом деле имеют сложную

сущность. В современном естествознании выясняется, что понятие времени в термодинамических необратимых процессах, особенно для открытых реальных систем, носит другое, неклассическое представление. Так, согласно И. Р. Пригожину [111, 112] в такой термодинамике вводится понятие внутреннего, или второго, времени, в корне отличающегося от астрономического времени. Внутреннее время возникает из-за случайного поведения траекторий, встречающегося в неустойчивых динамических системах. Это приводит к нелокальному описанию явлений и процессов как в пространстве, так и во времени.

Приведем определения пространства и времени из классической философии.

«Пространство есть форма существования материи, характеризующая ее протяженность, структурность, сосуществование и взаимодействие элементов во всех материальных системах».

«Время — атрибут, всеобщая форма бытия материи, выражающая длительность бытия и последовательность смены состояний всех материальных систем и процессов в мире. Время не существует само по себе, вне материальных изменений, точно так же невозможно существование материальных систем и процессов, не обладающих длительностью, не изменяющихся от прошлого к будущему. Пространство и время неразрывно связаны между собой, их единство проявляется в движении и развитии материи». Заметим, что такие определения мало что дают естествоиспытателю в конкретных научных исследованиях.

В более строгом для естествоиспытателя смысле *время* выражает порядок смены физических состояний и является объективной характеристикой любого физического процесса или явления. И в этом смысле оно универсально. Под *пространством* понимается порядок существования физических тел, что определяется геометрическими представлениями.

Первая законченная теория пространства — *геометрия Евклида*. Она была создана более 2000 лет назад и до сих пор считается образцом научной теории. Геометрия **Евклида (III в. до н. э.)** оперирует идеальными математическими объектами, которые существуют как бы вне времени, и в этом смысле пространство в этой геометрии — идеальное математическое пространство.

48

Один из основателей классической механики И. Ньютон в своей знаменитой работе «Математические начала натуральной философии» различал абсолютное и относительное время: *«Абсолютное, истинное математическое время само по себе и по своей сущности, без всякого отношения к чему-либо внешнему, протекает равномерно и иначе называется длительностью. Относительное, кажущееся или обыденное время есть или точная, или изменчивая постигаемая чувствами внешняя, совершаемая при посредстве какого-либо движения, мера продолжительности, употребляемая в обыденной жизни вместо истинного математического времени, как то: час, день, месяц, год»*

Аналогичные соображения Ньютон высказывал и для пространства. По его определению, понятие абсолютного пространства может быть совершенно пустым и существует независимо от наличия в нем физических тел, являясь как бы мировой сценой, где разыгрываются физические процессы. Свойства такого пространства определяются евклидовой геометрией и при этом *«время и пространство составляют как бы вместительница самих себя и всего существующего»*¹.

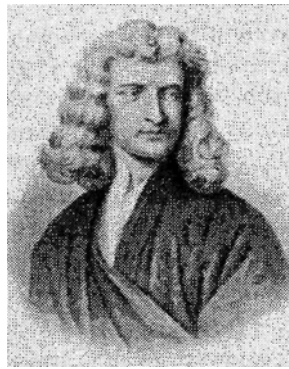
Взаимосвязь пространства и времени хорошо понятна человеку и на обычном гуманитарном уровне. Оказалось, человек очень восприимчив к пространству и времени. Он чувствует себя неудобно, беспокойно, в условиях пространственной ограниченности и временной статичности. Он не хочет соглашаться с ограничением свободы перемещений и отсутствием событий. Если же нехватку одного компенсировать увеличением другого, то человеку легче. Например, если имеется малое пространство обитания (комната, камера наконец), но есть возможность увеличить для него «скорость течения» времени (большое число интересных событий), степень дискомфорта уменьшится. Или, например, не меняя мир во времени, но раздвигая пространственные рамки (чтобы хотя бы мысленно человек мог бы находиться в любой области пространства), его ощущения будут более приятные, даже при условии статичности мира. Мы здесь компенсируем отсутствие перемен большой пространственной протяженностью или, наоборот, компенсируем пространственную ограниченность большим числом событий. Это яркий при-

¹ По современным представлениям, это неверно. Пространство по А. Эйнштейну связано с его кривизной, а следовательно, с имеющимися там массами, а время по Н. А. Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

Козыреву — с энергией. Поэтому говорить о пространстве без объектов и времени без процессов представляется бессмысленным.

49

Исаак Ньютон



И.Ньютон (1643—1727)— английский физик и математик, чрезвычайно много сделавший для становления физики как науки и особенно механики. Кроме разработки законов динамики и закона всемирного тяготения, создал для их описания новый математический аппарат дифференциального и интегрального исчисления (независимо и одновременно с немецким математиком и философом **Г. Лейбницем (1646—1716)**, предложил теорию движения небесных тел, создав основы небесной механики; открыл дисперсию света и спектральный состав белого света, хроматическую абберацию света, исследовал интерференцию и дифракцию света, построил зеркальный телескоп рефлектор, развивал корпускулярную теорию света, высказав, тем не менее, и гипотезу, сочетающую корпускулярные и волновые свойства.

Современники были поражены его ученостью, что отразил в своем высказывании французский математик **Г. Лопиталь (1661—1704)**: «Неужели Исаак Ньютон ел, пил и спал, как простые смертные?!»

Будучи великим естествоиспытателем (его можно считать и одним из основателей современного естествознания), Ньютон уделял много времени и герменевтическим, и теологическим изысканиям, созданию «совершенной во всех своих частях» натуральной философии и определению «активных начал Природы», ибо (как ни парадоксально может быть это нашему стереотипному представлению о нем) одни лишь механические действия «не в состоянии породить все многообразие вещей».

Англичане, уважающие традиции своих великих соотечественников, привлекали его и к другим областям деятельности — он был главным управляющим Монетного двора и членом парламента, где, правда, за долгое время пребывания произнес только одну речь: «Здесь дует, прошу закрыть окно!»

мер интуитивного применения гуманитарием принципа дополнительности Бора.

Приведем другой пример, более общий и для представителей естественных наук, и для гуманитариев. В условиях техногенной

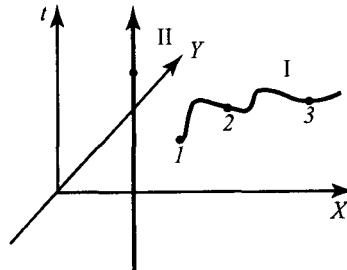
50

цивилизации большая скорость изменения технических возможностей человека определяет уровень этой цивилизации. Достижения НТР, создание глобальной информационной сети, интернета, возможность быстрых перемещений человека в пространстве сокращают большие расстояния, делают мир как бы меньше и тем самым увеличивают скорость «бега» времени, скорость эволюции цивилизации. Сжимая пространство, ускоряем время. Торопя время, уменьшаем мир. Как сказал еще Аристотель: *«Медленное делит путь, а быстрое — время»*.

Такое положение входит в противоречие с биологическим временем человека. И человек не успевает адаптироваться к быстро меняющемуся созданному им миру. Скорость развития этого мира больше скорости осмысления. Тем самым нарушается соответствие культуры и технического прогресса, самой природы человека и «ускоряющегося» общества. Отсюда и стрессы, и кризис культуры, экологические и техногенные катастрофы, экспансия техногенной цивилизации на мир и т.д. Одним из выходов из этого кризиса является расширение пространства, выход человека в Космос как интуитивное его стремление изменить ситуацию на Земле. Бесконечные пространства Вселенной уменьшают темп жизни на Земле, и могут исчезнуть кризисные ситуации, стрессы, излишняя активность человека. Бесконечность вызывает неторопливые рассуждения и мудрые поступки. Это хорошо перекликается с мистицизмом Востока, восточными цивилизациями [11], где предполагается, что человек не должен влиять на природу, он «пылинка» этого мира, и понимание его нужно не для преобразования, а лишь для лучшего приспособления к нему. Идея огромного мира порождает идеи традиций глубоких медитационных размышлений и проникновения в суть вещей. В. Овчинников в своей книге «Ветка сакуры» подчеркивает, что красота для японцев —

В количественных физических измерениях, как уже говорилось, вводят понятия координаты и системы отсчета. Мы не будем подробно останавливаться на этих технических для такого курса деталях. Заметим лишь, что существует много систем отсчета, основанных на представлении трехмерности пространства, — прямоугольная (декартова), косоугольная, полярная система, сферическая и т.д. И, соответственно, можно ввести так называемые обобщенные координаты и рациональную систему

Рис. 2.1. Изображение мировой линии в пространственно-временной системе отсчета



- 3. Мировая линия не может самопересекаться. Это свойство обусловлено тем, что события развиваются лишь от прошлого к будущему, как показывает нам повседневный опыт и гуманитарный подход к описанию явлений. Известен древний афоризм:

При начальных условиях ($t = 0$) $x = 0$ и $\frac{dx}{dt} = v_0$ решение уравнения движения известно:

$$x = \frac{F}{2m} t^2 + v_0 t \text{ и } V = \frac{F}{m} t + v_0.$$

Для полной ясности необходимо выбрать начало координат и направление изменения X . Обычно выбирают положительное направление оси X слева направо, что, естественно, произвольно и относительно.

В уравнение движения дифференциал времени dt входит в квадрате. Значит, величина d^2x/dt^2 не будет изменяться при замене dt на $-dt$. В этом случае основное уравнение движения, как говорят в физике, инвариантно, т.е. не изменяется относительно смены знака времени. Точно так же, если в определенных значениях x и v в решении уравнения движения поменять знак t , то эти значения x и v будут описывать как движение в одном направлении, так и в противоположном. Если t изменяется от 0 до $-t$, то $dt < 0$ и тогда v надо считать отрицательной величиной. Значит, можно сказать, что движение с отрицательным временем полностью эквивалентно движению с положительным временем. Таким образом, классическая механика не устанавливает знака времени, и, следовательно, движение обратимо. Поэтому формально в равной степени возможны события, происходящие

¹ В дифференциальном исчислении dt или dx есть просто изменение этих величин Δt или Δx

53

как от прошлого к будущему, так и от будущего к прошлому. Например, если мы будем осуществлять в обратном направлении «прокрутку» киноплёнки, на которой снято перемещение точки в таком движении, то не сможем отличить прямого хода времени от обратного.

2.3. Особенности механики Ньютона

В классической механике время выступает как параметр движения. И движение от прошлого к будущему легко спутать. Таким образом, главные особенности классической механики Ньютона — это *детерминизм* (определенность): если известны начальные условия и уравнения, то мы можем предсказать движение, — *обратимость времени*. Однако если снять на плёнку фильм о развитии растения из семени, а затем «прокрутить» его в обратном направлении, то каждый из нас легко отличит способ показа, который отвечает реальному ходу развития, от способа, который в природе не существует. Значит, физическое описание процессов в классической механике неполно и отражает лишь какие-то одни стороны реальной природы, не затрагивая других ее глубинных свойств, учет которых должен автоматически приводить к тому, что ситуации, когда $dt < 0$ должны быть запрещены.

На самом деле, это один из многих парадоксов науки, возникающих при изучении человеком окружающего мира, в данном случае — «парадокс времени». Понятием времени в физике пользовались сотни лет, причем интуитивно предполагая, что $dt > 0$. Парадокс же заключается в том, что хотя весь опыт человечества (заметим, и другие науки — геология, биология, история) говорил о существовании направленного развития событий, но это не находило своего отражения в физике. Эта ситуация породила философские споры о возможностях физики и вообще «количественной» науки в описании природы по сравнению с геологией, биологией, историей и т.д. Можно сказать, что если в этих науках идея развития от прошлого к будущему составляет саму основу, то физике был чужд интерес к развитию событий. Все это ставило барьер между физикой и другими науками, изучающими высшие формы существования материи.

Вспомним хотя бы Ч. Дарвина с его теорией биологической эволюции. Такое положение не могло удовлетворить естественные науки. В дальнейшем их развитии и совместном с другими

54

науками о природе и обществе понимании эволюции на основе новых представлений неравновесной термодинамики был установлен направленный ход времени. В 1927 г. английский астроном А. Эддингтон (1882—1944) ввел для этого понятие *стрелы времени* от прошлого к будущему. Некоторые исследователи предлагают описывать направленный ход времени в современном естествознании тремя стрелами времени: первой, связанной с расширением Вселенной после Большого Взрыва; второй, связанной с ростом энтропии в классической термодинамике; третьей, обусловленной биологической и исторической эволюцией. На самом деле это лишь примеры,

подтверждающие реальность направленности изменения времени. На это же указывают и некоторые физические неравновесные процессы: теплопроводность, диффузия, гидродинамические процессы и т.д. Если же анализ взаимодействия тел или частиц проводится в рамках классической физики для установившихся структур, т.е. таких, для которых изменений практически уже нет, и они, следовательно, равновесны, то время здесь обратимо. Поэтому развитие системы не учитывается (может быть, поэтому в целом классической физике и была чужда сама идея развития, эволюции!): время направленно в эволюционирующих системах. Отметим, что эта необратимость времени относится к простым системам, более конкретно — к материальной точке. Как уже упоминалось, для реальных систем время проявляет неоднозначную сущность и связано с усложнением объекта.

Остановимся еще на одной трактовке времени. В хронологическо-историческом для человечества понимании времени как параметра, изменяющегося в одном направлении от прошлого к будущему, очень большую роль играло то, что на последовательность (череду) непрерывно меняющихся и принципиально несовпадающих событий («Невозможно дважды войти в одну и ту же реку времени», — говорил **Гераклит** (ок. **540—470** гг. до н.э.) накладывались природные периодические процессы, связанные с движением Земли вокруг Солнца, Луны вокруг Земли, смены дня и ночи и т.д. Следствием этой высокой стабильности повторяемости природных процессов явилось сначала интуитивное, а затем закрепленное в физике деление времени на одинаковые интервалы и принятие астрономической шкалы времени в качестве единственной. Хотя известны понятия биологических и химических часов, но ход времени в них может не совпадать. Само время зависит, таким образом, от скорости протекания процес-

55

сов. Опыт воспроизведения результатов физических экспериментов, выполненных в разное время, иногда с интервалом во много лет, показал, что законы физики инвариантны относительно выбора начала отсчета времени и направленности t . Математически это означает, что при изменении начала отсчета значения отрезков времени от начала до данного момента различаются на постоянную величину Δt :

$t' = t + \Delta t$, где $\Delta t = \text{const}$. Только в этом случае $dt' = dt$ и все уравнения физики остаются неизменными. Эти же доводы приводят к постулату о равномерности течения времени. Понятно, что одного «астрономического» аспекта времени, без сопоставления с развитием биологических, геологических и исторических событий недостаточно для осознания времени как характеристики, непрерывно и равномерно меняющейся в одном направлении.

Например, если наблюдать неподвижные объекты, отсчитывая время по секундомеру без отметки минут на шкале и зная, что один оборот стрелки равен одной минуте, то легко сбиться со счета времени. Но мы не собьемся, если после каждого оборота стрелки будем выкладывать на стол, например, по спичке. Накопление спичек и их счет, количество — это уже типичный непериодический и необратимый процесс. Действительно, современная физика связывает необратимость хода времени с необратимыми термодинамическими процессами. Хотя даже в классической

термодинамике рост энтропии dS ($dS = \frac{\delta Q}{dT}$, где δQ —

изменение тепловой энергии, dT — изменение температуры) означает уже направление термодинамических процессов, т.е. что время течет только в одном направлении. Поэтому при таком представлении времени нам требуется некоторая дополнительность (взгляд с другой стороны!) при его описании. В физике, это связывается с использованием принципа дополнительности Бора (см. п. 1.2.7). Заметим, что понятие времени во многом является еще не проясненным, и великие естествоиспытатели нашего времени это хорошо понимали. Так, В. И. Вернадский говорил, что *«наука XX столетия находится в такой стадии, когда наступил момент изучения времени так же, как изучаются материя и энергия, заполняющая пространство»*. Н. А. Козырев, известный своими революционными взглядами на понятие времени, отмечал, что *«время представляет собой целый мир загадочных*

56

явлений и их нельзя проследить логическими рассуждениями. Свойства времени должны постоянно выясняться физическими опытами» [70].

Н. А. Козырев, рассматривая время как физическое явление, считал, что чисто геометрическое представление о времени как о некотором параметре движения (длительности процесса) является недопустимо упрощенным. Поскольку пространство

из-за наличия кривизны и гравитирующих масс не «пустое» (геометрическое)местилище материальных объектов, а обладает физическими свойствами, то и время обладает своими физическими свойствами. Благодаря этим свойствам время может воздействовать на физические системы и вещество и становится активным участником мироздания. Степень активности времени Н. А. Козырев назвал *плотностью времени*. Наличие плотности времени должно вносить в систему организованность, некий порядок, а значит, вопреки обычному ходу развития системы (разрушению организованности, установлению равновесия и в целом тепловой смерти Вселенной), уменьшить энтропию системы. Время препятствует установлению равновесия, оно против энтропии!

Ход времени может создавать дополнительные напряжения и тем самым менять потенциальную и полную энергии. Отсюда Н. А. Козырев делает вывод, что *ход времени может быть источником энергии*. Таким образом, время играет активную роль в материальных процессах и вещество может быть детектором, обнаруживающим изменение плотности времени. *«Время нельзя отрывать от материи»*, — говорил Н. А. Козырев. Асимметрия играет большую роль в возникновении и развитии живых систем (см. § 12.5). Поэтому имеющаяся определенная асимметрия времени обеспечивает организму дополнительную жизнеспособность. Жизнь как бы использует ход времени в качестве дополнительного источника энергии. Время благодаря своим физическим свойствам вносит в Мир жизненное начало, препятствует наступлению тепловой смерти и обеспечивает существующую в нем гармонию жизни и смерти.

Направленность, или ход, времени («стрела времени», по А. Эддингтону) обеспечивает время особым свойством, создающим различие причин и следствий. Это означает, что проявление активных свойств времени следует искать в причинно-следственных отношениях. Как считал Н. А. Козырев, благодаря конечности хода времени эти связи не являются абсолютно жесткими. Имеется возможность не только видоизменять, но и обращать их,

57

т.е. по существу влиять следствием на причину. При изменении причинных связей могут возникать квантовые значения энергии системы, характерные для механики микромира.

Ход времени Н. А. Козырев определил как $c_2 = \frac{\delta x}{\delta t}$. Эта ве-

личина имеет размерность скорости и характеризует скорость перехода от причины к следствию в элементарном причинно-следственном звене. Он считал, что поскольку между причиной и следствием нет никакого вещества, а только пространство и время, то величина c_2 отражает свойства именно времени и пространства, а не конкретной физической системы или процесса. Поэтому он сделал предположение, что c_2 может быть такой же универсальной фундаментальной постоянной, как скорость света и другие константы (см. § 6.4). Ход времени c_2 , по его мнению, является псевдоскаляром, и благодаря этому в мире устанавливается принципиальное отличие левого от правого.

Н. А. Козыреву удалось показать, что $c_2 \approx 2200 \text{ км/с} \approx -\frac{1}{137} c_1$

где c_1 — скорость света в вакууме, а $\alpha = 1/137$ является одним из «магических» чисел (см. § 1.1), о котором Р. Фейнман говорил так: *«Вам, конечно, хочется узнать, как появляется это число? Никто не знает. Это одна из величайших проклятых тайн физики: магическое число, которое дано нам и которое человек совсем не понимает»*. В квантовой оптике число $1/137$ равно постоянной тонкой структуры Зоммерфельда: в теории фундаментальных констант оно соответствует константе электромагнитного взаимодействия.

Предполагается также, что это число может быть связано с «золотым сечением» (см. § 7.14) и «глубинной» симметрией. Например, расположенные в одной плоскости два листа относительно стебля составляют около 137° (так называемый угол Фибоначчи). Это, по-видимому, не случайное совпадение может свидетельствовать о глубокой связи идей Н. А. Козырева с фундаментальными представлениями о физическом строении окружающего нас мира. Для своей механики, учитывающей ход времени, он ввел название несимметричной, или причинной, механики.

58

2.4. Движение в механике

Движение (точек, тел, объектов) количественно можно описать через некие параметры: траекторию S , координату (x, y, z) ,

скорость $v = \frac{ds}{dt}$ (изменение перемещения во времени), ускорение $a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2}$ (изменение скорости во времени), наконец, время t ¹.

На самом деле понятие движения есть геометрическое описание, как принято говорить в физике — кинематическое. Это позволяет определить каждую новую величину через ранее рассмотренные величины. Поэтому классическая механика — геометромеханика, а геометрия здесь — геометрия Евклида. Однако такой подход не раскрывал причину движения. Если для Аристотеля физика — это наука о процессах, изменениях, происходящих в природе, но с позиций философии, логики, т.е. абстрактно, то уже Галилей, положивший в основу физики не философию, а эксперимент, считал, что количественным параметром, определяющим движение, изменяющим его, является именно ускорение — вариация в состоянии движения. Как выяснилось далее, ускорение как раз и связано с параметрами причины движения — понятиями силы и массы. Это уже динамика, которая на самом деле может рассматривать глубже и шире не только понятие механического движения, но и действие всех сил в природе и обществе, если применить к ним физические модели. Следуя Галилею, мы можем рассматривать физический мир как набор траекторий, которые являются функциями времени.

Новые динамические понятия силы и массы не так просты для точного определения. Не будем стремиться к формальной точности. В этом курсе нам будет достаточно интуитивного физического понимания, как и произошло исторически, а затем было подтверждено и экспериментально. Тем более, что никому еще не удавалось найти неопровержимый логический подход к динамике — понятия силы и массы не могут быть даны независимо друг от друга. Итак, под *силой* понимается физическая величина, определяющая взаимодействие тел. Сила характеризу-

¹ В классической механике движение объекта описывается «со стороны» наблюдателя, который видит его извне. Поэтому и классическое естествознание — это всегда взгляд извне на объект.

59

ется числовым значением, направлением (сила — векторная величина) и точкой приложения. Обозначается она F . Одна и та же сила вызывает разные движения (скорости и ускорения) в зависимости от состояния тела, его инерции. Под *инерцией* тела понимают свойство любого тела (вещества) сопротивляться изменению своего состояния движения. Это относится как к началу движения тела, выводу его из состояния покоя (нужно преодолеть инерцию), так и к движущемуся телу — надо приложить противоположно направленную скорости и перемещению тела силу, чтобы его остановить. Мерой этой инерции является *масса*.

2.5. Законы Ньютона — Галилея

Параметры, о которых говорилось в § 2.4, составляют основу трех известных законов динамики — законов Ньютона. Причем Ньютон не «изобрел» динамику, а использовал работы своих предшественников, и прежде всего Галилея. Ученые высоко оценивают заслуги Ньютона, так как ему удалось дать полное количественное описание динамики движущихся тел, и эта динамика не отменена современной наукой, она прекрасно и активно «работает» в нашей жизни и технике. Благодаря глубокой интуиции Ньютон сумел создать теорию, способную в деталях объяснить многие физические явления. Но эта теория не могла, например, дать ответ на вопрос: каким образом передается действие сил гравитационного поля без непосредственного контакта? Современной науке это неизвестно до сих пор. Сам Ньютон отвечал на это так: «*Hypothesis non fingo*» («*Гипотез не измышляю*»). Так есть (так сказал Бог — Ньютон был глубоко верующим человеком), но по тем законам, которые здесь («Математические начала натуральной философии») получены.

Кроме понятий массы и силы и формулировки законов динамики Ньютон ввел понятие *количество движения {или импульс}* $\vec{p} = m\vec{v}$ и установил закон всемирного тяготения, разработал дифференциальное и интегральное исчисления. В традиционной формулировке второй закон записывается так:

$$F = ma,$$

или через количество движения (импульс)

$$mv = p,$$

60

которое более полно определяет меру движения, зависящую не только от скорости, но и от массы тела. Этот закон через изменение импульса во времени имеет вид

$$F = m \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt}(mv) = \frac{dp}{dt}.$$

Заметим, что важно различать понятия «вес» и «масса». Масса — это свойство вещества, т.е. она является мерой количества содержащегося в ней вещества. Масса тела остается неизменной повсюду, поскольку тело содержит одно и то же количество атомов независимо от того, находится ли оно на Земле, Луне или в космическом пространстве. Вес проявляется как сила тяжести, действующая на тело. Следовательно, вес может меняться, масса остается неизменной. Например, на Луне вес тела в 6 раз меньше, чем на Земле, из-за разницы масс Земли и Луны. В общем случае вес и масса связаны соотношением

$$P = mg,$$

где g — ускорение свободного падения, определенное в том месте, где оно измеряется.

Приведем пример. Взаимное притяжение двух людей, разговаривающих друг с другом за столом, составляет 10^{-7} ньютон. Земля (масса = $6 \cdot 10^{24}$ кг) притягивает Луну (масса = $7 \cdot 10^{22}$ кг) с силой $F = 10^{20}$ ньютон. Масса Солнца $2 \cdot 10^{30}$ кг, его притяжение 10^{22} ньютон.

Достоинства динамики Галилея — Ньютона в общем очевидны. Однако у нее есть и недостатки. Об одном из них — трактовке природы сил тяготения — мы уже говорили. Другой недостаток, который в современной физике законно оспаривается, и это подтверждено теорией и экспериментом, заключается в том, что в теории Ньютона время и пространство абсолютны, т.е. неизменны. Говорят, что они есть неизменные дефиниции, конструкции сцены, на которой происходит действие жизни. Параметры x, y, z, t есть, и все — так считал Ньютон. Он же сравнивал Вселенную с часами, которые завел Бог. В классической динамике время — параметр движения, более того, «геометрический параметр» движения, как называл его французский математик и физик Д'Аламбер, а французский механик **Лагранж (1736—1813)** за 100 лет до Эйнштейна и немецкого математика **Г. Минковского (1864—1909)** называл динамику четырехмерной геометрией.

61

Мы уже говорили, что уравнения механики инвариантны относительно времени. Замена $t \rightarrow -t$ формально ничего не меняет в этих уравнениях. Поэтому в классической механике мировые линии (см. § 2.3), т.е. траектории составляющих нашу Вселенную атомов и частиц во времени и пространстве, можно проводить и в будущее, и в прошлое. Современный философ А. Койре высказался по поводу неизменности времени даже так: *«Движение в классической механике — это движение, не связанное со временем из-за его инвариантности, или, что еще более странно, движение, происходящее во вневременном времени, — понятие столь же парадоксальное, как изменение без изменения»*. Здесь и возникает парадокс времени, необъяснимый в рамках классической физики. Понятие времени оказывается глубже и неоднозначней, чем мы себе это представляем. Сейчас в рамках постнеклассической физики и синергетического подхода делаются попытки преодолеть это противоречие. Более того, И. Р. Пригожин считает, что в этом смысле *«все, что дает классическая физика, сводится к следующему: изменение есть не что иное, как отрицание возникновения нового (все повторяется и все предсказано!), и время есть лишь параметр, не затрагиваемый преобразованием, которое он описывает»*.

Динамика Ньютона, развитая и дополненная Лапласом, Лагранжем, ирландским математиком **Гамильтоном (1805—1865)** и другими учеными, представляет собой замкнутую универсальную систему, способную дать ответ на любой поставленный вопрос о движении, т.е. она строго детерминистична. Из всех видов изменений классическая физика рассматривает лишь движение в рамках изменения заданных параметров x, y, z и t . Другими словами, хотя это парадоксально звучит, классическая механика — статическая механика. В то время как из других наук следует необратимость времени. Более того, эта статичность и детерминизм времени встречаются и в квантовой механике для микромира, и в теории относительности. В частности, Эйнштейн в ранней модели Вселенной сохранял основную идею ньютоновской физики — представление о статической Вселенной и, как говорил Пригожин, Вселенной существующего без возникающего.

Заметим, что Эйнштейну для этого пришлось вводить специальный «космологический член» в свои уравнения, который имел физический смысл отталкивания. Однако, как показал в 1922 г. отечественный математик **А. А. Фридман (1888—1925)**,

Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

62

даже из уравнений Эйнштейна следует, что Вселенная динамична, а не статична. Как и у Эйнштейна, модель Вселенной Фридмана — трехмерная замкнутая сфера. Она описывается теми же мировыми уравнениями с «космологическим членом». Но этот член может быть положительным, отрицательным или равным нулю. Отсюда и появляются разные модели Вселенной, развивающиеся во времени: или безграничного расширения, или сжатия, т.е. пульсирующей, повторяющей бесконечно долго цикл расширения — сжатия.

Останемся, однако, еще некоторое время в рамках классической физики. Отметим, что те или иные параметры движения (классические или неклассические) все равно требуют некой системы отсчета. В физике было показано, что законы Ньютона строго выполняются для так называемых инерциальных систем (в известном смысле идеализированных, условно принятых так, что законы Ньютона в них выполняются). С другой стороны, в таких системах нет ничего абстрактного и нереального. Они часто встречаются в нашей жизни, науке и технике, и играют важную методологическую роль как модели, описывающие какие-то реальные явления. Можно выбрать некую начальную систему отсчета, например, гелиоцентрическую с осями, направленными взаимно перпендикулярно на три удаленные на бесконечность звезды (опять трехмерность!), и считать, что законы классической механики Ньютона там выполняются. Тогда, в силу принципов этой механики, система, покоящаяся или движущаяся равномерно и прямолинейно по инерции по отношению к этой начальной системе, и называется инерциальной и в ней тоже будут справедливы законы механики. Это означает, что нет единственной системы отсчета, которую можно было бы предпочесть всем остальным.

• *Во всех инерциальных системах законы механики одни и те же.*

Это и есть известный в механике *принцип относительности Галилея*.

Было показано, что земная система отсчета также является приближенно (для большинства технических задач классической Механики поправки несущественны) инерциальной, за исключением тех случаев, когда система отсчета сама начинает двигаться с ускорением. Тогда, естественно, такая система будет неинерциальной, и случаи движения в них также реальны и хорошо известны. Силы, имеющие место в таких неинерциальных систе-

63

мах отсчета, называют *силами инерции*; проявляются они при ускоренном и тормозящем прямолинейном или вращательном движении неинерциальных систем отсчета и действуют на покоящиеся или движущиеся в этих системах тела (сила инерции, центробежные силы и силы Кориолиса).

Возникает вопрос: будут ли законы Ньютона несправедливы в таких неинерциальных системах? Они будут справедливы, если во второе уравнение Ньютона мы добавим силу инерции:

$$ma' = F + F_{\text{ин}} + F_{\text{цб}} + F_{\text{Кор}}.$$

Здесь a' — ускорение в неинерциальной системе; $F_{\text{ин}}$ — сила инерции; $F_{\text{цб}}$ — центробежная сила; $F_{\text{Кор}}$ — сила Кориолиса, описывающая движение тел во вращающейся системе отсчета (например, Земли).

Важно только понимать, что силы инерции обусловлены не непосредственным взаимодействием тел, а изменением характера движения самой системы отсчета (груз на палубе, пассажиры в вагоне метро и т.д.), т.е. ее ускорением или торможением.

2.6. Законы сохранения

В классической механике есть еще одна физическая модель упрощения задач движения тел. Предполагается, что в ряде случаев можно рассматривать задачу перемещения объектов как бы изолированно от других тел и систем. Такую систему называют замкнутой в том смысле, что не учитываются действия внешних тел по сравнению с тем, что происходит внутри в любой выбранной нами системе, т.е. мы считаем, что внешние воздействия значительно меньше внутренних. Реально, конечно, этого нет. Это модель, но всегда можно аппроксимировать, что внутри взаимодействие больше, чем внешнее воздействие. Для таких замкнутых систем можно ввести законы сохранения параметров состояния и движения тел, более общие, чем законы Ньютона. В классической механике таких законов сохранения три: законы сохранения импульса, момента импульса и энергии.

Закон сохранения импульса легко получить из соотношения, выражающего

взаимосвязь между силой и импульсом. Если

внешних сил нет (мы их не учитываем), то $\frac{dp}{dt} = 0$, а из математики известно, что если $\frac{df}{dt} = 0$, где f — любая функция, то

64

$f = \text{const}$. Это понятно и интуитивно: нет изменения, приращения какой-то величины со временем, значит, она остается неизменной, т.е. постоянной. В физике такие величины называют *интегралами движения*, т.е. параметрами движения, не меняющимися со временем. Импульс и есть один из них.

Закон сохранения момента импульса связан с уравнением динамики вращательного движения. Здесь кроме привычных для прямолинейного движения понятий силы, массы и импульса необходимо учитывать еще один параметр — расстояние r объекта до оси вращения. Аналогии прямолинейного и криволинейного (вращательного) движений прозрачны, и вместо силы мы должны использовать понятие *момент силы* $M = Fr$, вместо массы — *момент инерции* $j = mr^2$, вместо импульса — *момент импульса* $L = m\omega^2 r = J\omega$, где ω — угловая скорость вращения. Тогда уравнение вращательного движения по аналогии с прямолинейным имеет вид

$$M = \frac{dL}{dt}.$$

Если $F = 0$ (замкнутая; изолированная система), то $M = 0$ и $\frac{dL}{dt} = 0$, и $L = \text{const}$, т.е. при этих условиях выполняется закон

сохранения момента импульса. Известны примеры из физики и даже обычной жизни, подтверждающие это: увеличение скорости вращения на скамье Жуковского (вращающаяся табуретка), фигуристки на льду, прыгуна в воду, гимнаста и т.д. при изменении r до оси вращения. При уменьшении r момент инерции уменьшается и, согласно закону сохранения момента импульса, скорость вращения должна увеличиться. Итак, L — второй интеграл движения.

Законы сохранения p и L обусловлены симметрией пространства. Сохранение p связано однородностью пространства во всех его точках, а сохранение L — с изотропностью пространства, что означает для обоих случаев неизменность физических законов по всем точкам и направлениям пространства. Заметим, что трехмерность пространства определяет векторную природу этих параметров.

Из приведенных рассуждений следует, что изменение этих параметров p и L определяется только внешними силами и изменение положения замкнутой системы в пространстве само по себе не может изменить ее состояние; такое изменение возможно только в результате взаимодействия с другими системами.

65

Понятие энергии также не является простым. В общем смысле под энергией понимается мера движения материи. Она отражает количественное изменение состояния тела, его движения или изменение его структуры при соответствующих взаимодействиях. Закон сохранения энергии был сформулирован в 1847 г. немецким физиком Г. Гельмгольцем (1821—1894). Для нас важно, что понятие энергии тесно связано с понятием работы. Заметим, что эти понятия, как и представления о длине, времени и массе, исторически сложились на интуитивном уровне достаточно давно. И понятны даже при гуманитарном восприятии мира: чтобы выполнить работу, надо затратить энергию. Подчеркнем также, что в замкнутой изолированной системе различные формы энергии могут превращаться друг в друга без потерь; другими словами, при любом физическом процессе энергия сохраняется. Это означает, что она сохраняется и во времени, т.е. является третьим интегралом движения.

Рассмотрим пример простого «классического» движения.

Микроработа δA , согласно определению, есть произведение силы по перемещению тела на микрорасстояние dr .

$$\delta A = Fdr.$$

Поскольку

$$dW_K = -\delta A,$$

где dW_K — микроизменение кинетической энергии, а знак минус соответствует тому, что энергия тратится на совершение работы, то если $F = 0$ и работа $A = 0$, соответственно и $dW_K = 0$. Следовательно, $W_K = \text{const}$. Закон сохранения энергии также обусловлен пространственно-временной симметрией, он отражает однородность времени. Это означает, что время везде протекает одинаково.

Заметим, что течение времени само по себе не может вызвать изменение физического состояния системы. Природа как бы позволяет изменять виды энергии, но не предусматривает ее рождение или уничтожение. Неравномерность течения времени, изменение ритмичности природных явлений, т.е. неоднородность временного поля, приводит к нарушению закона сохранения энергии. Для иллюстрации можно привести некий абстрактный пример: если есть периодическое изменение гравитации, то тогда, поднимая груз вверх, пока он легкий (g мало), и бросая его вниз, когда он становится тяжелее (g увели-

66

чится), мы получим энергию из ничего, что запрещено законом сохранения энергии.

Сделаем еще одно, но существенное замечание относительно энергии: абсолютные ее значения произвольны, и поскольку движение относительно (всегда относительно чего-то: системы отсчета в общем смысле) и мы говорим об изменении параметров движения, то это означает, что мы берем лишь изменения энергии, т.е. энергия относительна. Это обстоятельство отразил создатель теории электромагнитных явлений английский теоретик Дж. Максвелл: *«Мы должны, таким образом, рассматривать энергию системы как величину, в отношении которой мы можем лишь установить, происходит ли ее увеличение или уменьшение при переходе системы от одного определенного положения в другое. Абсолютное значение энергии при стандартных условиях нам не известно, но это не имеет для нас значения, поскольку все явления определяются изменениями энергии, а не ее абсолютной величиной».*

Законы сохранения являются для инерциальных систем всеобъемлющими. Пока в природе не выявлено случаев их нарушения. Более того, можно даже сказать, что если в каком-то физическом процессе энергия не сохраняется, то мы «придумываем» новую форму энергии (тепловая, ядерная, электромагнитная, психическая, общественная, личностная и др.), чтобы обеспечить точный ее баланс. Любопытное отношение к энергии выразил великий французский математик Анри Пуанкаре: *«Поскольку мы не в состоянии дать общее определение энергии, закон сохранения энергии следует рассматривать просто как указание, что существует нечто, сохраняющееся постоянным в любом физическом процессе. К каким бы открытиям ни привели нас будущие эксперименты, мы заранее знаем, что и тогда будет нечто, обладающее способностью сохраняться, и это нечто мы и можем называть энергией».*

Мы говорим и о неинерциальных системах. Не вдаваясь в подробности, заметим, что законы сохранения для неинерциальных систем не выполняются.

Заметим лишь, что наследие классической физики столь богато, что при внимательном ее анализе можно внести определенную ясность в концептуальные и философские проблемы современной физики.

Обобщая законы природы и физики, коснемся, в частности, такой проблемы, как развитие научной парадигмы, в том числе связанной с классической механикой. Общее направление этого

67

развития определяется целью, которую сформулировал еще Ньютон: *«Объяснить как можно большее число фактов как можно меньшим числом исходных положений»*, что близко к **принципу бритвы Оккама**: *«Не умножай сущностей без надобности».*

2.7. Принципы оптимальности

Если рассматривать классическую механику в известной мере как завершенную и даже более того — как эталонную для объяснения в течение долгого времени процессов движения (к таким наукам можно отнести и геометрическую оптику), то можно увидеть, что в основе их лежит *принцип оптимальности* (его еще можно назвать принципом экстремальности или вариационным принципом). Согласно этому принципу, если есть какая-то обобщенная характеристика, то она может иметь экстремальное значение. Так, те же три закона динамики и три закона сохранения, которыми можно объяснить все факты классической механики, могут быть сведены к введенному еще в 1744 г. **П. Мопертюи (1698—1759)** и развитому далее Эйлером, Лагранжем, Д'Аламбером и Гамильтоном принципу наименьшего действия: среди всех кинематически возможных перемещений тела истинное движение отличается тем, что для него минимальна величина действия:

$$mvs = \min.$$

Р. Фейнман показал, что принцип наименьшего действия имеет статическую природу,

в этом смысле и. является наиболее вероятным состоянием для данной системы.

В геометрической оптике также есть аналогичный принцип, сформулированный **Ферма (1601—1665)**, — *принцип скорейшего пути*: истинный путь светового луча отличается от всех возможных мыслимых путей тем, что время движения света вдоль него минимально: $t = \min$. Вся геометрическая оптика, в том числе законы распространения, преломления и отражения света, может быть сведена к этому принципу. Существуют также и другие принципы оптимальности в науке, связанные с обобщенными понятиями, например с энергией, энтропией и информацией. *Принцип оптимальности энергии* может быть рассмотрен не только в физическом понимании, а гораздо шире. Например, еще Г. Лейбниц сказал: *«Мудрому не свойственно тратить силы сверх надобности»*. Применительно к биологии живых организмов это

положение было развито Рашевским в 1954 г. в форме принципа оптимальной конструкции: *«Организм имеет оптимально возможную конструкцию по отношению к экономии расходуемых материала и энергии, необходимых для выполнения заданных функций»*. На основе этого принципа были получены конкретные результаты относительно строения кровеносной системы, формы туловища, ног, деления клеток, длины, толщины и количества веток у растений и даже углов ветвления артерий, размеров и формы эритроцитов и т.д. Другие примеры действия принципа оптимальности: тропинки на газонах, упорно пролагаемые людьми в обход тротуаров, клин летящих журавлей и т.д.

С понятием энтропии, о котором мы поговорим в гл. 7, также связан *принцип максимума энтропии*:

- *система стремится к равномерному распределению всех возможных состояний.*

Этот принцип по существу заложен в статистическом смысле энтропии: $S = k \ln W$: чем больше число состояний W , в которых может быть реализована система, тем больше энтропия. Он позволяет находить устойчивое равновесное состояние для очень широкого класса явлений — физических, биологических, социальных и др. Не рассматривая этот принцип более подробно, заметим, что использование его для живых систем нетривиально, но расширяет область применения этого принципа за пределы чисто физического подхода. Так, работы Лурье и Ватенсберга применительно к экологии позволили вывести закон распределения биомассы в экологической системе: чем больше масса особи какого-то типа, тем реже он встречается в природе (например, слоны и насекомые). Другой пример из социальной сферы: преуспевающая фирма не делает различия между центром и удаленными филиалами — относительные доли (вероятности) вклада в их развитие будут практически одинаковы, а энтропия близка к максимуму, поскольку отсутствует дефицит ресурсов. Это свидетельствует об экспансии, диффузии, поисковой активности. Иначе ведет себя начинающая фирма — она экономит капитал.

Принцип максимума информации заключается в следующем:

- *при описании поведения сложной самоорганизующейся системы, в том числе живого организма, который рассматривается как открытая, неравновесная и иерархическая структура, можно ввес-*

ти три параметра. R — результат, состояние жизненно важных характеристик, X — стимул, условия внешней среды и Y — реакция на стимул. Тогда для достижения оптимального результата путем выбора реакций и стимулов система должна обеспечить максимум взаимной информации между условиями среды и реакциями на них организма:

$$I(X, Y, R) = \max.$$

Понятия стимулов и реакций могут трактоваться очень широко. Например, стимул — это и нервный импульс в ответ на раздражение, и гипотеза ученого на основе наблюдений, и признак, складывающийся у организма под влиянием внешних условий, и т.д.

Рассмотрим этот принцип на примере использования его для живых организмов. Идею информационного подхода к изучению живых систем предложил в 1958 г. русский биолог **И. И. Шмальгаузен (1884—1963)**. Это было связано с тем, что теория информации и ее успехи в кодировании, передаче и распознавании сигналов породили тогда у биологов большие надежды.

Заметим, что рассмотренные принципы оптимальности в целом отражают стремление системы к стабильности. Сущность консервативного стабилизированного состояния и поведения системы как раз и состоит в стремлении удерживать привычные состояния, Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

привычные стимулы. Для живых организмов в целом целесообразность такой формы поведения очевидна. Но стоит только допустить слишком сильное отклонение от нормы, происходит срыв регуляции, нарушения становятся привычными. Начинает преобладать изменение энтропии, и система скачком переходит в новое устойчивое состояние, а эффект самоподдержания начинает «работать» на сохранение уже нового состояния.

Приведем примеры этого даже на бытовом уровне: брошенные бумажки в чистом коридоре, хождение в верхней одежде в аудиториях и т.д. — все это еще недавно воспринималось как диссонанс. «Работал» эффект самоподдержания порядка. Но в определенный момент критическое состояние было упущено и система перешла в новое состояние, где такое положение уже почти норма. Можно даже отметить, что такой срыв и переход в новое состояние как некую новую форму лежит в основе многих болезней: алкоголизм, наркомания, простуда, инфекция, сахарный диабет и т.д.

70

Случайна ли такая тенденция оптимизации экстремальных принципов? По-видимому, нет, поскольку она характерна не только для научных теорий, но, как мы видим, проявляется в системах различной природы: технических, биологических и социальных. Так, система товарного обмена развивалась в сторону централизации, и с ростом числа товаров среди них выделились один или два (золото, серебро), которые стали всеобщим эквивалентом, эволюция нервной системы, эволюция политических отношений и т.д.

В самих принципах оптимальности заложены их преимущества: крайний лаконизм, простота и в то же время общий и универсальный характер. Поэтому можно предположить, что основные законы науки, а не только физики, должны быть выражены в некоей экстремальной форме. Ученые других областей науки давно обращают внимание на физические принципы. Заложенные в них идеи красоты, оптимальности, экономии находят все большее применение в объяснении природы и мира другими науками. Применительно к живым объектам это как нельзя лучше соответствует давнему представлению о совершенстве и целесообразности живой природы. Живые организмы (и общественные формации тоже) прошли много туров естественного отбора, и каждый раз выбирались «лучшие из лучших». Совершенно естественно ожидать, что организм должен был подчиниться этим всеобщим физическим принципам и быть в известном смысле совершенным, оптимальным, экономичным. Физика работает!

2.8. Механическая картина мира

Что же дает нам классическая механика в построении единой картины мира? К чему, собственно, всегда стремился человек, определяя, из чего состоит мир и где там место человека? Значительные успехи классической механики надолго привели к выработке, как мы уже указывали, рационального подхода, взгляда на весь мир. Концепция единой механической сущности природы стала основой того мировоззрения. Весь мир представлялся в виде сложнейшего совершенного механизма. Принцип классического детерминизма нашел свое крайнее выражение в идее мирового дифференциального уравнения Лапласа. Это некое гипотетическое уравнение описывает движение всех состав-

71

ляющих Вселенную частиц и их взаимодействие. Задав начальные условия, можно точно определить положение каждой из частиц в любой момент времени, т.е. предсказать будущее мироздания и описать прошлое. Мировые линии, согласно Д'Аламберу и Лагранжу, уходят и в прошлое, и в будущее.

Каковы же основные принципы такой механической картины мира?

1. Мир построен на законах Ньютона. Все объясняется механикой атомов, их перемещением, столкновением, взаимодействием и т.д. Все виды энергии на основе закона сохранения и превращения энергии сводятся к энергии механического движения.

2. В основе механической картины мира лежит геометрия Евклида.

3. Микромир аналогичен макромиру, управляется одними и теми же законами. Живая и неживая природа построены из механических деталей, но имеющих разные размеры и сложность.

4. Незыблемость природы объясняется отсутствием качественных изменений, все изменения чисто количественные. В механической картине мира отсутствует развитие. Она метафизична. В таком подходе время — просто параметр движения, оно абсолютно и одинаково во всех системах независимо от их движения, т.е. всегда $t = -t$.

5. Ньютон считал, что если бы материя исчезла, то осталось бы только пространство и

время, своего рода сцена, на которой разыгрываются физические процессы, как сказал Эйнштейн.

6. Галилеевская физика рассматривает мир как некий «объект», и все описание идет извне, «со стороны», т.е. наблюдатель не «принадлежит» объекту.

7. Теория Ньютона в принципе несовместима с теорией относительности (ОТО) Эйнштейна, так как согласно Ньютону тяготение передается мгновенно, а по Эйнштейну — только со скоростью света с.

8. Главным же в ней является лапласовский детерминизм. Все причинно-следственные связи — однозначные. Наличие случайности обусловлено лишь невозможностью учесть все влияющие факторы, все детали сложного механизма природы.

72

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Чем, по Вашему мнению, обусловлена трехмерность реального пространства?
2. Каковы классические и современные представления о пространстве и времени?
3. Опишите представления о траектории и мировой линии.
4. Может ли классическая механика разрешить «путешествие» из будущего в прошлое? Почему?
5. В чем заключается парадокс времени?
6. Перечислите основные параметры движения в механике Галилея — Ньютона. Их физический смысл.
7. В чем заключается вклад Галилея и Ньютона в классическую механику?
8. Каковы особенности механики Ньютона?
9. Какие законы сохранения в классической механике Вы знаете?
10. В чем смысл лапласовского детерминизма?
11. Какие принципы оптимальности Вы знаете? В чем их вероятностный смысл?
12. Сформулируйте основные положения механической картины мира.
13. С какими свойствами пространства и времени связаны законы сохранения параметров движения?
14. Объясните, почему фигурист на льду начнет вращаться быстрее, если он поднимет руки вверх.
15. Дайте определение понятия «стрелы времени» и приведите его подтверждение в современном естествознании.

ЛИТЕРАТУРА

[8](#), [18](#), [19](#), [26](#), [53](#), [57](#), [61](#), [70](#), [76](#), [89](#), [99](#), [106](#), [112](#), [115](#), [118](#), [141](#), [148](#).

Глава 3. ФИЗИКА ПОЛЕЙ

Природа проста и не роскошествует излишними причинами.

И. Ньютон

В физике все, что не запрещено, имеется.

Гелл-Манн

3.1. Определение понятия поля

Переходя к физическим основам концепции современного естествознания, заметим, что в физике существуют фундаментальные понятия. К ним относятся постоянно рассматриваемые в нашем курсе пространство, время и понятие «поле». В механике дискретных объектов, механике Галилея, Ньютона, Декарта, Лапласа, Лагранжа, Гамильтона и других представителей физического классицизма установлено, что силы взаимодействия между дискретными объектами вызывают изменение параметров их движения (скорость, импульс, момент импульса) и энергии.

73

И это было наглядно и понятно. Однако с изучением природы электричества и магнетизма возникло понимание, что взаимодействовать между собой электрические заряды могут и без непосредственного контакта. В этом случае мы как бы переходим от представления близкого действия к бесконтактному дальнему действию. Это и привело к понятию поля.

Физическим полем называют особую форму материи, связывающую частицы (объекты) вещества в единые системы и передающую с конечной скоростью действие одних частиц на другие.

Такие определения слишком общие и не всегда выражают глубинную и конкретно-практическую сущность понятия. Физики с трудом отказывались от идеи физического контактного взаимодействия тел и для объяснения различных явлений вводили такие модели, как электрическая и магнитная «жидкости»; для механических колебаний частичек среды — модель эфира; использовали понятия оптических флюидов, теплорода,

Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

флогистона в тепловых явлениях, описывая их тоже с механической точки зрения; и даже биологи вводили «жизненную силу» для объяснения процессов в живых организмах. Все это были попытки описать передачу действия через материальную («механическую») среду.

Однако в работах Фарадея (экспериментально), Максвелла (теоретически) и многих других ученых было показано, что существуют электромагнитные поля (в том числе и в вакууме) и именно они передают электромагнитные колебания. Выяснилось, что и видимый свет представляет электромагнитные колебания в определенном диапазоне частот. Было установлено, что электромагнитные волны делятся на несколько видов в шкале колебаний:

радиоволны	$10^3 - 10^{-4}$ м
световые волны	$10^{-4} - 10^{-9}$ м
ИК	$5 \cdot 10^{-4} - 8 \cdot 10^{-7}$ м
видимый свет	$8 \cdot 10^{-7} - 4 \cdot 10^{-7}$ м
УФ	$4 \cdot 10^{-7} - 10^{-9}$ м
рентгеновское излучение	$2 \cdot 10^{-9} - 6 \cdot 10^{-12}$ м
γ -излучение	$< 6 \cdot 10^{-12}$ м

Что же такое поле? Воспользуемся неким абстрактным представлением (такие же абстракции используются в построении физики микромира и физики Вселенной). Можно сказать, что поле описывается физической величиной, которая в разных точ-

74

ках пространства принимает различные значения. Например, температура — это величина, с помощью которой можно описать поле (в данном случае скалярное) как $T = T(x, y, z)$, или если оно меняется во времени, то $T = T(x, y, z, t)$. Могут быть поля давлений, в том числе и атмосферного воздуха, поле распределения людей на Земле или различных наций среди населения, распределения оружия на Земле, разных песен, животных, всего что угодно. Могут быть и векторные поля, как, например, поле скоростей текущей жидкости. Мы знаем, что скорость $\vec{V}(x, y, z)$ есть вектор. Поэтому записываем скорость движения жидкости в любой точке пространства в момент t в виде $\vec{V}(x, y, z, t)$. Аналогично могут быть представлены и электромагнитные поля. В частности, электрическое поле — векторное, так как кулоновская сила между зарядами есть вектор, определяемый по формуле

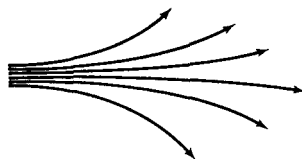
$$\vec{F}_{\text{Кул}} = q\vec{E},$$

где q — электрический заряд, $\vec{E}$ — напряженность электрического поля.

Людям трудно было мысленно представить поведение полей, и оказалось, что надо просто рассматривать поле как математические функции координат и времени какого-то параметра, описывающего явление или эффект.

Можно предположить и наглядную простую модель векторного поля и дать его описание. Мысленную картину поля можно представить, начертив во многих точках пространства векторы, которые определяют какую-то характеристику процесса взаимодействия или движения (для потока жидкости — это вектор скорости; электрические явления можно модельно рассматривать как заряженную жидкость со своим вектором напряженности поля $\vec{E}$ и т.д.). Заметим, что определение параметров движения через координаты и импульс в классической механике — это метод Лагранжа, а через векторы скоростей и потоки — это метод Эйлера. Например, модельным представлением электрического поля являются силовые линии (рис. 3.1). По густоте касательных к ним можно судить об интенсивности течения жидкости. Число линий на единицу площади, распо-

Рис. 3.1. Модель силовых линий поля.



75

ложенной перпендикулярно к ним, будет пропорционально напряженности электрического поля E . Хотя картина силовых линий, введенных в 1852 г. **М. Фарадеем (1791—1867)**, очень наглядна, следует понимать, что это лишь условная картина, простая

физическая модель (и следовательно, абстрактная), так как, конечно, не существует в природе каких-то линий, нитей, простирающихся в пространстве и способных оказать воздействие на другие тела. Они лишь облегчают рассмотрение процессов, связанных с полями сил.

В рамках такой физической модели можно определить, какое количество жидкости вытекает или вытекает из некоторого объема вокруг выбранной точки в поле скоростей или напряженностей. Это связано с представлением о наличии в каком-то объеме источников жидкости и ее стоков, что приводит нас к широко используемым понятиям векторного анализа полей: потока и циркуляции. Несмотря на некоторую абстракцию на самом деле они наглядны, имеют понятный физический смысл и достаточно просты. Под *потоком* понимают общее количество жидкости, вытекающей в единицу времени через некоторую воображаемую поверхность около выбранной точки. Математически это записывается так:

$$\vec{\Phi}_V = \int_S \vec{V} dS,$$

т.е. количество вытекающей жидкости (поток $\vec{\Phi}_V$) равно произведению скорости V на площадь поверхности dS , через которую жидкость вытекает.

С понятием потока связано и понятие циркуляции. Зададим вопрос: циркулирует ли, т.е. проходит ли, жидкость сквозь поверхность выбранного объема? Физический смысл циркуляции состоит в том, что она определяет меру движения (т.е. опять-таки связана со скоростью) жидкости через замкнутый контур (линию L в отличие от потока через поверхность S). Математически это тоже можно записать так:

$$\text{циркуляция } V \text{ по } L = \vec{V}_L = \int_L \vec{V} dl.$$

Конечно, понятия потока и циркуляции несколько абстрактны, но они дают правильные результаты.

76

3.2. Законы Фарадея — Максвелла для электромагнетизма

Тем не менее оказывается, что, пользуясь этими двумя понятиями потока и циркуляции, можно прийти к известным четырем уравнениям Максвелла, которые описывают практически все законы электричества и магнетизма понятиями поля. В этих уравнениях используются еще два понятия: *дивергенция*, т.е. расхождение (например, того же потока в пространстве), описывающая интенсивность источника, и *ротор* — вихрь. Но для качественного рассмотрения уравнений Максвелла они не понадобятся. Из этих уравнений вытекает, что электрическое и магнитное поля связаны друг с другом, образуя единое электромагнитное поле, в котором распространяются электромагнитные волны со скоростью, равной скорости света $c = 3 \cdot 10^8$ м/с. Отсюда и был сделан вывод об электромагнитной природе света.

Уравнения Максвелла являются математическим описанием экспериментальных законов электричества и магнетизма, установленных ранее многими учеными (Ампер, Эрстед, Био-Савар, Ленц и др.) и особенно Фарадеем. Фарадей, про которого говорили, что он не успевает записывать то, что открывает, сформулировал идеи поля как новой формы существования материи не только на качественном, но и на количественном уровне. Термин «электромагнитное поле» также ввел М. Фарадей. Любопытно, что свои научные записи он запечатал в конверт, просив вскрыть его после смерти. Это было сделано, однако, лишь в 1938 г. Поэтому справедливо считать теорию электромагнитного поля теорией Фарадея — Максвелла. Отдавая дань заслугам Фарадея, основатель электрохимии и президент Лондонского королевского общества Г. Дэви (1718—1829), у которого Фарадей поначалу работал лаборантом, писал: *«Хотя я сделал ряд научных открытий, самым замечательным является то, что я открыл Фарадея»*.

Явления электро- и магнитостатики и динамики заряженных частиц в классическом представлении хорошо описываются максвелловскими уравнениями. Поскольку все тела в микро- и макромире являются так или иначе заряженными, то теория Фарадея — Максвелла приобретает универсальный характер. В ее рамках описываются и объясняются движение и взаимодействие заряженных частиц при наличии магнитного и электриче-

77

ского полей. Физический смысл четырех уравнений Максвелла заключается в следующем.

1. Закон Кулона, определяющий силу F взаимодействия зарядов q_1 и q_2 ,

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

отражает действие электрического поля на эти заряды; здесь

$$F = qE$$

— сила Кулона, а E — напряженность электрического поля.

Отсюда можно получить и другие характеристики взаимодействия заряженных частиц (тел): потенциал поля, напряжение, энергию поля и т.д.

2. Электрические силовые линии начинаются на одних зарядах (условно принято считать — на положительных) и заканчиваются на других (отрицательных), т.е. они *прерывны* и совпадают (в этом их модельный смысл) с направлением векторов напряженности $\vec{E}$ — касательных к силовым линиям. Магнитные силовые замкнуты сами на себя, не имеют ни начала, ни конца, т.е. *непрерывны*. Это доказывает отсутствие магнитных зарядов.

3. Электрический ток, как постоянный, так и переменный, создает магнитное поле, соответственно это магнитное поле постоянное и переменное.

4. Переменное магнитное поле в результате явления электромагнитной индукции Фарадея создает переменное электрическое поле. Таким образом, эти поля и оказывают взаимное влияние друг на друга. Поэтому говорят о едином электромагнитном поле.

В уравнения Максвелла входит константа c , которая совпадает со скоростью света, откуда и был сделан вывод, что свет — это поперечная волна в переменном электромагнитном поле. При этом процесс прохождения волны в пространстве и времени продолжается до бесконечности, так как энергия электрического поля переходит в энергию магнитного поля, и наоборот. В электромагнитных световых волнах взаимно перпендикулярно колеблются векторы напряженности электрического $\vec{E}$ и магнитного $\vec{B}$ полей, а в качестве носителя волны выступает само пространство, которое тем самым является напряженным. Однако скорость распространения волн (не только световых) зависит от свойств среды. Поэтому, если гравитационное взаимодействие происходит «мгновенно», т.е. является дальнедействующим, то электрическое взаимодействие в этом смысле будет близкодействующим, так как распространение волн в пространстве происходит

78

с конечной скоростью. Примерами являются затухание и дисперсия света в различных средах.

Таким образом, уравнения Максвелла связывают световые явления с электрическими и магнитными и тем самым придают фундаментальное значение теории Фарадея — Максвелла. Заметим еще раз, что электромагнитное поле существует повсюду во Вселенной, в том числе и в разных средах, и поэтому не имеет конкретного материального носителя. Уравнения Максвелла играют в электромагнетизме ту же роль, что уравнения Ньютона в механике, и лежат в основе электромагнитной картины мира.

В 1887 г. Герц экспериментально подтвердил наличие электромагнитного излучения в диапазоне длин волн от 10 до 100 м с помощью искрового разряда и регистрацией сигнала в контуре в нескольких метрах от разрядника. Измерив параметры излучения (длину и частоту волны), он определил скорость распространения волны. Впоследствии были изучены и освоены другие диапазоны частот электромагнитного излучения. Было установлено, что волны могут быть любой частоты при наличии соответствующего источника излучения. Электронными методами можно получить электромагнитные волны до 10^{12} Гц (от радиоволн до микроволн); в результате излучения атомов — инфракрасные, световые, ультрафиолетовые и рентгеновские волны (диапазон частот от 10^{12} до 10^{20} Гц). Гамма-излучение с частотой колебаний выше 10^{20} Гц испускается атомными ядрами. Таким образом, было установлено, что природа всех электромагнитных излучений одинакова и все они отличаются лишь частотами.

3.3. Электромагнитное поле

Электромагнитное поле, как и любое другое, обладает энергией и импульсом. Применительно к определению энергии электромагнитной волны удобно расширить понятие потока (в данном случае энергии) до представления плотности потока энергии $\vec{S}$. Понятие потока было впервые введено русским физиком **Н. А. Умовым (1846—1915)**, который занимался и более общими вопросами естествознания, в том числе связи живого в природе с энергией. Плотность потока энергии — это величина, определяемая

электромагнитной энергией, проходящей через единичную площадку, перпендикулярную к направлению распространения волны, в единицу времени. Физически это означает, что изменение энергии внутри объема пространства определяется ее потоком.

79

Импульс световой волны проще определить из известной формулы Эйнштейна $E = m_0 c^2$, в которую входит скорость света c как скорость распространения электромагнитной волны. В формуле $E = m_0 c^2$ отражена не только взаимосвязь между энергией E и массой m , но и закон сохранения полной энергии в любом физическом процессе, а не отдельно массы и энергии.

Так как энергии E соответствует масса m , импульс электромагнитной волны p с учетом скорости c электромагнитной волны будет равен

$$p = mc = \frac{E}{c}.$$

Такое рассуждение приведено для наглядности, так как, строго говоря, эту формулу получить из соотношения Эйнштейна некорректно, поскольку экспериментально установлено, что масса покоя фотона как кванта света равна нулю.

С позиций современного естествознания именно Солнце как источник электромагнитного излучения обеспечивает условия жизни на Земле, и эту энергию и импульс мы можем определить физическими законами количественно. Поскольку есть импульс света, значит свет оказывает давление на поверхность Земли. Почему мы не испытываем его? Ответ заключается в приведенной выше формуле, в которой c имеет огромное значение. Экспериментально давление света было обнаружено русским физиком П. Н. Лебедевым (1866—1912), а во Вселенной оно проявляется в наличии и положении кометных хвостов. Примером, подтверждающим, что поле обладает энергией, служит передача сигналов от космических станций или с Луны на Землю. Хотя эти сигналы и распространяются со скоростью света c , но с конечным временем из-за больших расстояний (от Луны сигнал идет за время, равное 1.3 с, от Солнца — 7 с). Вопрос: где сосредоточена энергия излучения между передатчиком на космической станции и приемником на Земле? В соответствии с законом сохранения она содержится именно в электромагнитном поле.

Передача энергии в пространстве может осуществляться только в переменных электромагнитных полях, когда изменяется скорость частицы. При постоянном электрическом токе создается постоянное магнитное поле, которое действует на заряженную частицу перпендикулярно направлению ее движения, и оно не совершает работы. В случае переменного магнитного поля, вызванного переменным электрическим полем, заряды в проводнике испытывают ускорение вдоль направления движения и энергия может передаваться зарядам, находящимся в простран-

80

стве вблизи проводника. Поэтому только движущиеся с ускорением заряды могут передавать энергию посредством создаваемого ими переменного электромагнитного поля.

Введенное ранее понятие поля как некоторого распределения соответствующих величин или параметров в пространстве и времени можно применять ко многим явлениям не только в природе, но и в экономике или социуме при построении соответствующих физических моделей. Необходимо только в каждом случае убеждаться, обнаруживает ли выбранная физическая величина или ее аналог такие свойства, чтобы описание ее с помощью модели поля оказалось полезным. Важно, чтобы в этих моделях учитывалась непрерывность величин, описывающих свойства рассматриваемого поля.

3.4. Гравитационное поле

В рамках представлений о поле можно говорить о гравитационном поле, где сила гравитации меняется непрерывно, или о других полях (например, информационное, поле рыночной экономики, смысловые поля художественных произведений и т.д.), где проявляются пока неизвестные нам силы или субстанции. Применив свои законы динамики к небесной механике, Ньютон установил закон всемирного тяготения

$$F = G \frac{m_1 m_2}{R^2},$$

согласно которому сила, действующая между двумя массами m_1 и m_2 , обратно пропорциональна квадрату расстояния R между ними; здесь G — гравитационная постоянная. Введем по аналогии с электромагнитным полем вектор напряженности $\vec{g}$ поля тяготения. Тогда закон всемирного тяготения можно понять так: масса m_1 создает в

пространстве некоторые условия, на которые реагирует масса m_2 и в результате испытывает направленную к m_1 силу F . Это и есть гравитационное поле, источником которого является масса m_1 . Чтобы не записывать каждый раз силу, зависящую от m_2 , разделим обе части уравнения, выражающего закон всемирного тяготения, на m_2 , считая ее за массу пробного тела, т.е. тела, на которое действует другое тело (при этом считается, что масса пробного тела не вносит возмущений в гравитационное поле). Тогда можем записать

$$\frac{F}{m_2} = \frac{Gm_1}{R^2}.$$

Теперь правая часть полученного уравнения зависит только от расстояния между массами m_1 и m_2 , но не зависит от массы m_2

81

и определяет гравитационное поле в любой точке пространства, отстоящей от источника гравитации m_1 на расстояние R безотносительно к тому, имеется ли там масса m_2 или нет. Поэтому перепишем это уравнение так, чтобы определяющее значение имела масса источника гравитационного поля, обозначив левую часть через g и $m_1 = M$:

$$g = G \frac{M}{R^2}.$$

Вектор $\vec{g}$ называется *вектором напряженности гравитационного поля*, он дает полное описание этого поля, создаваемого массой M в любой точке пространства. Так как величина $\vec{g}$ определяет силу, действующую на единицу массы, то по своему физическому смыслу и размерности она является ускорением. Поэтому сила в уравнении классической динамики аналогична силе, действующей в гравитационном поле:

$$\vec{F}_{\text{гр}} = M \vec{g}.$$

К гравитационному полю можно также применить понятие силовых линий, где по их густоте (плотности) судят о величинах действующих сил. Силовые гравитационные линии сферической массы есть прямые, направленные к центру сферы массой M как источника гравитации, и эта сила уменьшается с удалением от M обратно пропорционально квадрату расстояния R . Таким образом, в отличие от силовых линий электрического поля, начинающихся на положительном и заканчивающихся на отрицательном заряде, в гравитационном поле нет определенных точек, где бы они начинались, и вместе с тем они простираются до бесконечности.

По аналогии с электрическим потенциалом ($\varphi_{\text{эл}} = \frac{E_{\text{пот}}^{\text{эл}}}{q}$ — потенциальная энергия заряда q , находящегося в электрическом поле) вводят гравитационный потенциал:

$$\varphi_{\text{гр}} = \frac{E_{\text{пот}}^{\text{гр}}}{m}.$$

Физический смысл последнего уравнения состоит в том, что $\varphi_{\text{гр}}$ — это потенциальная энергия, приходящаяся на единицу массы. Потенциалы электрического и гравитационного полей являются скалярными величинами, что упрощает количественные расчеты. Ко всем параметрам полей применим принцип суперпозиции, заключающийся в независимости действия сил (напряженностей, потенциалов), что позволяет вычислять результи-

82

рующий параметр (и векторный, и скалярный) соответствующим сложением.

Несмотря на то что основные законы электродинамики и гравитации, а также методология введения и использования описывающих их параметров похожи, объяснить их сущность на основе общей природы до сих пор не удалось. Хотя начиная от А. Эйнштейна и до последнего времени такие попытки постоянно предпринимаются для того, чтобы создать единую теорию поля. Естественно, что единое представление полей упростило бы наше понимание физического мира и позволило бы описывать их единообразно.

Гравитационные и электрические поля действуют независимо и могут сосуществовать в любой точке пространства одновременно, не влияя друг на друга. Суммарная сила, действующая на частицу с зарядом q и массой m , выражается векторной суммой $\vec{F}_{\text{эл}}$ и

$\vec{F}_{\text{гр}}$, но суммировать векторы $\vec{g}$ и $\vec{E}$ нельзя, поскольку они имеют разную размерность. Введение в классической электродинамике понятия электромагнитного поля с передачей взаимодействия и энергии путем распространения волн в пространстве, лишенное материальных носителей, позволило отойти от механистического представления эфира. В старом представлении понятие эфира как некоей среды, объясняющей передачу

контактного действия сил, было опровергнуто экспериментально опытами американского физика **А. Майкельсона (1852—1931)** по измерению скорости света и главным образом — теорией относительности А. Эйнштейна. С помощью понятия поля оказалось возможным описывать физические взаимодействия, для чего, собственно, и были сформулированы общие для разных видов полей характеристики, которые мы здесь рассматривали. В настоящее время идея эфира возрождается некоторыми учеными на базе понятия физического вакуума.

3.5. Электромагнитная картина мира

Сформированную после механического представления о мире новую электромагнитную картину мира можно рассматривать как промежуточную по отношению к современной естественно-научной. Отметим некоторые общие характеристики этой парадигмы. Она включает не только представления о полях, но и появившиеся к тому времени новые данные об электронах, фотонах, ядерной модели атома, закономерностях химического строения веществ и расположения элементов в Периодической системе Д. И. Менделеева и ряд других результатов познания природы. В эту же кон-

83

цепцию вошли идеи квантовой механики и теории относительности, о которых речь еще будет идти дальше.

Главным в таком представлении является возможность описать большое количество явлений на основе понятия поля. В отличие от механической картины было установлено, что материя существует в виде вещества и в виде поля. Электромагнитное взаимодействие на основе волновых представлений достаточно уверенно описывает не только электрические и магнитные, но и оптические, химические, тепловые и механические явления. Методология полевого представления материи может быть использована и для понимания полей иной природы. Сделаны попытки увязать корпускулярную природу микрообъектов с волновой природой процессов. Было установлено, что «переносчиком» взаимодействия электромагнитного поля является фотон, который подчиняется уже законам квантовой механики. Делаются попытки найти гравитон как носитель гравитационного поля.

Однако несмотря на существенное продвижение вперед в познании окружающего нас мира, электромагнитная картина мира не свободна от недостатков. Так, в ней не рассматриваются вероятностные подходы; по существу, вероятностные закономерности не признаются фундаментальными, сохранены детерминистский подход Ньютона к описанию отдельных частиц и жесткая однозначность причинно-следственных связей (что сейчас оспаривается синергетикой), ядерные взаимодействия и их поля объясняются не только электромагнитными взаимодействиями между заряженными частицами. В целом такое положение понятно и объяснимо, так как каждое проникновение в природу вещей углубляет наши представления и требует создания новых адекватных физических моделей.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое поле? Приведите примеры полей в природе.
2. Чем отличаются поля Фарадея — Максвелла от полей Галилея — Ньютона?
3. Как можно представить себе гравитационное и электромагнитное поля?
4. Чем была вызвана необходимость перехода от механической картины мира к электромагнитной?
5. Какую роль в классической физике играет модель эфира?
6. Опишите шкалу длин волн.
7. Дайте определения понятий близкого действия и дальнего действия.
8. Сопоставьте свойства поля и вещества в классической физике.
9. Откуда следует, что свет является электромагнитной волной?
10. Что представляет собой электромагнитная картина мира? Отметьте ее достоинства и недостатки.

ЛИТЕРАТУРА

[8](#), [19](#), [22](#), [26](#), [61](#), [99](#), [106](#), [113](#), [141](#).

84

Глава 4. ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ЭЙНШТЕЙНА — МОСТ МЕЖДУ МЕХАНИКОЙ И ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМОМ

Господь Бог коварен, но не злонамерен.

Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

А. Эйнштейн

То, что может понять один глупец, то может понять и другой.

Р. Фейнман

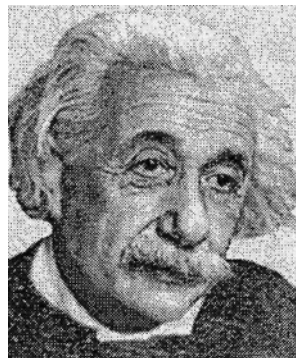
4.1. Физические начала специальной теории относительности (СТО)

Теория распространения электромагнитных волн и света до своего завершения Максвеллом была связана с понятием эфира как некоей механической среды, передающей колебания. При этом предполагалось, что уравнения Максвелла справедливы в системе отсчета, покоящейся относительно эфира. В отличие от уравнений Ньютона, которые годились во всех системах отсчета, уравнения Максвелла как будто требовали преимущественной системы отсчета.

Представление об эфире — одна из самых известных физических моделей колебательных процессов. Это понятие введено, чтобы объяснить ньютоновскую теорию тяготения как «действие на расстоянии» — передачу гравитационной силы через пустое пространство. Эфир представляли в виде некоторого невидимого и невесомого «желе», которое передавало «толчок» действия из одной точки в другую. Это была нематериальная среда без всяких контактных сил, но способная передавать световые колебания. Для объяснения поперечного характера электромагнитных волн эфир наделяли свойствами твердого тела, а для описания вихревых движений в магнитном поле — свойствами жидкости. Однако, чтобы объяснить согласно этой модели эфира многие экспериментальные факты, приходилось вводить произвольные допущения. Например, эфир увлекается движущейся Землей, так что все лабораторные установки, на которых проводятся эксперименты, всегда покоятся относительно эфира, т.е. мы как бы можем его не замечать, игнорировать. В то же время Земля свободно движется через эфир, который покоится относительно «неподвижных» звезд. Движущаяся материальная среда, в которой распространяется свет, увлекает за собой эфир со скоростью, равной $1/2$ скорости среды. Натолкнувшись на эти противоречи-

85

А. Эйнштейн



Один из крупнейших ученых прошлого века **А.Эйнштейн (1879—1955)** считается основателем современной физики. Родился в Германии. С 1893 г. жил в Швейцарии, с 1914 г. в Германии. После прихода Гитлера к власти эмигрировал в 1933 г. в США. Создал специальную (1905 г.) и общую (1907—1916) теорию относительности. Автор основополагающих трудов по квантовой теории света: ввел понятие фотона (1905), установил законы фотоэффекта (за что ему была присуждена Нобелевская премия по физике 1921 г.), предсказал индуцированное излучение. С 1933 г. работал над проблемами космологии и единой теории поля. В 30-х годах выступал против войны и фашизма, в 40-х — против применения ядерного оружия. Автор письма президенту США Рузвельту, в котором указал на опасность создания ядерного оружия в фашистской Германии, инициировав тем самым разработку американской атомной бомбы.

вые нелогичности, теория эфира критики не выдержала. Как отметил российский физик Я. Френкель, *«эфир выполнял роль строительных лесов, и по мере строительства здания науки эти леса (эфир) можно было и убрать!»* Отметим, что в окончательном виде место эфира при объяснении сил, действующих на расстоянии, в теории Фарадея — Максвелла заняла теория поля.

4.1.1. Постулаты А. Эйнштейна в СТО

В 1905 г. А. Эйнштейн выдвинул новую радикальную идею, заменив произвольные предположения теории эфира только двумя постулатами, на которых и основана специальная теория относительности (СТО).

Рассмотрим СТО в качественном изложении. Заметим, что СТО применима ко всем

системам, движущимся без ускорения, т.е. инерциальным системам, а общая теория относительности (ОТО) — к системам, движущимся с ускорением, т.е. к неинер-

86

циальным системам. *Постулаты А. Эйнштейна* довольно просты и понятны:

- *все физические законы одинаковы во всех инерциальных системах;*
- *скорость света (в пустоте) одинакова с точки зрения всех наблюдателей независимо от движения источника света относительно наблюдателя.*

Идеи, лежащие в основе теории относительности, высказывались и до Эйнштейна. Так, французский математик А. Пуанкаре опубликовал статью «Об измерении времени», содержащую принцип относительности и анализ понятия синхронизации часов, за десять лет до Эйнштейна. Любопытно, что А. Эйнштейн ее прочитал, но сослаться на нее стал лишь спустя 50 лет. До Эйнштейна были опубликованы труды **К. Гаусса (1777—1855)**, работы **Г. Римана (1826—1866)** по неевклидову пространству, создана геометрия Н. И. Лобачевского (1792—1850), описаны преобразования **Г. Лоренца (1853—1928)**.

В известном смысле СТО перебросила мостик между классической механикой и электромагнетизмом.

Предложенные Эйнштейном идеи требовали отказа от прежних представлений, что пространство (x, y, z) и время (t) — различные и не связанные друг с другом параметры движения. Согласно представлениям СТО, мы живем не в трехмерном пространстве, к которому добавляется понятие времени, а в четырехмерном пространстве — времени, где координаты неразрывно связаны друг с другом. Эти понятия СТО кажутся несколько странными и искусственными, но нужно помнить, что явления, предсказываемые этой теорией, справедливы лишь при скоростях v , близких к скорости света c , тогда как наше мышление основывается на повседневном опыте, в котором столь высокие скорости не проявляются. Если бы мы жили в мире больших скоростей, то все идеи СТО казались бы естественными и легко воспринимались. В сущности, эти воззрения аналогичны представлениям о том, что Земля плоская. Однако, как сказал Эйнштейн: *«Здравый смысл — это наслоение предрассудков, которые человек накапливает до 18-летнего возраста»*. Мы же должны следовать великому принципу науки: если экспериментальные факты находятся в противоречии с существующими воззрениями, то надо менять не факты, а воззрения. Сам Эйнштейн постоянно боролся с квантовой теорией, одной из основ которой является вероятностное понимание событий. Он говорил: *«God*

87

casts the die not the dice» («Бог не играет в кости»). На что ему возражал Н. Бор: *«Однако не наше дело предписывать Богу, как он должен управлять миром!»* Как ни странно, Эйнштейн не был одинок в своих привязанностях. Так, Резерфорд запрещал говорить о теории относительности, а Рентген не терпел слово «электрон». Приведем также мысль М. Планка относительно понимания СТО: *«Великая научная идея редко внедряется путем постепенного убеждения и обращения своих противников. В действительности дело обстоит так, что оппоненты просто вымирают, а растущее поколение сразу осваивается с новой идеей»*.

4.1.2. Принцип относительности Г. Галилея

В классической ньютоновской механике известен (см. §§ 2.3—2.5) *принцип относительности Галилея*:

законы динамики остаются неизменными во всех инерциальных системах отсчета, или, как говорят физики, — инвариантны относительно переноса событий из одной инерциальной системы в другую.

Например, если в системе отсчета K справедливо известное всем уравнение $F = ma$, то оно будет справедливо и в другой системе K' , движущейся относительно K с постоянной скоростью v (рис. 4.1). Чтобы выразить положение тела в одной из этих систем отсчета через координаты другой системы отсчета, в классической механике используют так называемое *преобразование Галилея*. Рассмотрим точку P (тело) в системе K на расстоянии x от начала координат O (рис. 4.2). Тогда для наблюдателя в системе K' положение тела P меняется по закону $x' = x - vt$. По-

Рис. 4.1.

В системе K' , движущейся с постоянной скоростью V относительно неподвижной инерциальной системы K , законы динамики такие же, как и в системе K .

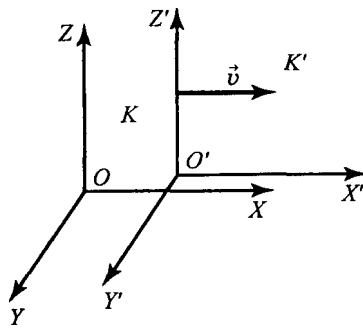
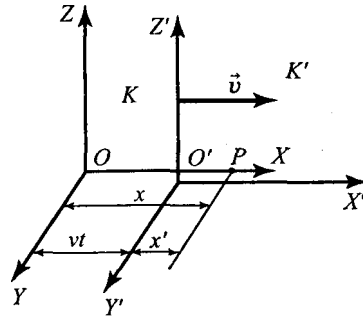


Рис. 4.2. Преобразование Галилея $x' = x - vt$ связывает положение тела P в системах отсчета K и K' .



88

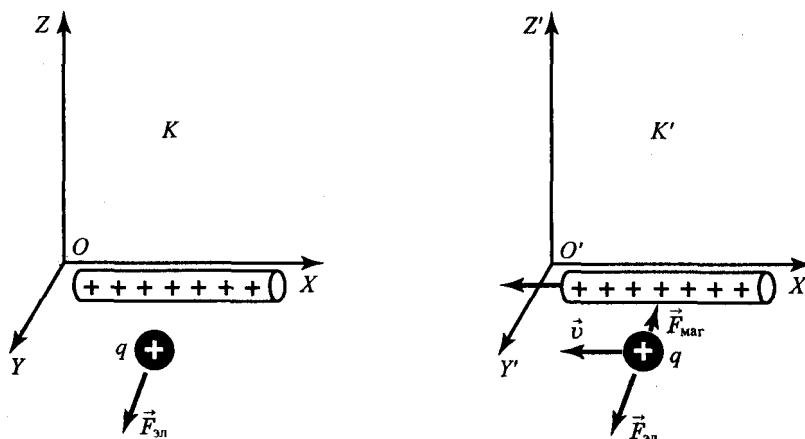
скольку в ньютоновской механике время является абсолютной величиной, т.е. определяется однозначно, а его числовое значение одинаково во всех системах отсчета независимо от их движения, то всегда $t' = t$. Итак, преобразования Галилея имеют вид:

$$x' = x - vt \text{ и } t' = t.$$

В механике это все понятно, но в применении к электромагнитным явлениям такое преобразование не дает правильного результата. Рассмотрим это на примере заряженного неподвижного проводника, взаимодействующего с неподвижным зарядом q на расстоянии r от него в неподвижной системе K и в движущейся относительно K системе K' (рис. 4.3). В системе K на q действует сила отталкивания $F_{\text{эл}}$. С точки зрения наблюдателя, находящегося в движущейся относительно K системе K' , которая движется по отношению K вправо, наблюдателю в K' кажется, что проводник и заряд движутся влево (вот он, принцип относительности!). Наблюдатель в K' определит силу $F_{\text{эл}}$, действующую на заряд q , что и неподвижный наблюдатель в K . Но так как заряд q в системе K' движется, то согласно законам электродинамики мы должны учесть и магнитную силу $F_{\text{маг}}$ в электрическом поле заряженного проводника.

Это известная из электродинамики сила Лоренца, направленная противоположно $F_{\text{эл}}$. Наблюдатель в системе K' приходит к выводу, что результирующая сила, действующая на заряд q , меньше силы, определенной в K . Очевидно, что это недопустимо. Во-первых, потому, что противоречит реальным экспериментам и измерениям, и во-вторых, это означает, что есть принципиальное

Рис. 4.3. Изменение электромагнитных сил в неподвижной K и подвижной K' системах отсчета.



89

различие между законами механического движения (которые одинаковы во всех инерциальных системах) и законами электродинамики (которые, тем самым, оказываются неодинаковыми).

Тогда приходится признать, что принципы Галилея относительно движения заряженных частиц в инерциальных системах неприемлемы, и надо считать, что одни и те же физические процессы описываются по-разному в разных системах. Следовательно, системы эти не равноценны, что противоречит реальным наблюдениям. Кроме того, где провести границу между механическими и электрическими системами? Ведь все механические системы содержат электрические заряды, поскольку вещество состоит из заряженных частиц, а во всех электродинамических системах движущиеся частицы имеют массы. Поэтому может быть приемлемо только утверждение, что все физические законы должны быть одинаковыми во всех инерциальных системах отсчета. Это и есть **первый постулат СТО**.

Рассмотрим второй постулат СТО относительно скорости света c . Как показали астрономические наблюдения, в частности, над двойными звездами, скорость света постоянна независимо от движения источника или наблюдателя. Согласно галилеевскому представлению свет от компонент двойной звезды приходил бы к нам со скоростями $c + v_A$ и $c - v_B$, что по расчетам составляет примерно неделю в регистрации сигнала от событий на

двойной звезде (рис. 4.4). Но этого нет! Значит, справедлив и **второй постулат СТО**.

Несмотря на множество проведенных экспериментов ни один не дал результата, который противоречил бы утверждению, что скорость света одинакова для всех наблюдателей.

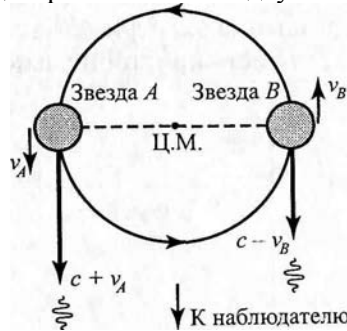
Эйнштейн показал, что правило сложения скоростей для классического случая требует корректировки — с учетом скорости света c его можно записать в виде:

$$V = \frac{v_A + v_B}{1 + \frac{v_A v_B}{c^2}},$$

где V — скорость, равная сумме скоростей двух тел v_A и v_B .

Рис. 4.4.

Если бы скорость света зависела от скорости движения света в двойных звездах, то свет от одной из них приходил бы к наблюдателю на Земле со скоростью $c + v_A$, от другой — со скоростью $c - v_B$ (Ц.М. — центр масс системы двух звезд).



90

Если v_A и v_B малы по сравнению со скоростью света в случае механических движений, то слагаемое $\frac{v_A v_B}{c^2} \ll 1$, и им можно

пренебречь. Тогда, естественно, $V = v_A + v_B$, что соответствует механике Ньютона.

Если одна из скоростей, например, $v_A = c$, то после подстановки этого выражения в предыдущую формулу получим

$$V = \frac{c + v_B}{1 + \frac{c v_B}{c^2}} \approx c.$$

Если $v_A = c$ и $v_B = c$, то все равно получим, что $V = c$.

Эти результаты показывают, что скорость света одинакова для всех наблюдателей, так как по правилу сложения скоростей всегда будем иметь $V = c$ независимо от значения скорости V .

4.1.3. Теория относительности и инвариантность времени

Наш повседневный опыт приучил нас к тому, что все события во времени происходят

упорядоченно и регулярно: существует прошлое, настоящее и будущее, и мы всегда можем установить, предшествовало ли одно событие другому или же оба события произошли одновременно. Как уже упоминалось, современная физика признает «стрелу времени», т.е. направленный ход времени. Однако в специальной теории относительности не существует четкого разграничения между прошлым и будущим. События, происходящие в определенной последовательности с точки зрения одного наблюдателя, могут совершаться в иной последовательности с точки зрения другого наблюдателя, движущегося относительно первого. По-видимому, это самый поразительный результат СТО.

Другими словами, теория относительности по-прежнему не «улучшает» инвариантность времени, также как мы получили это для классической механики (см. гл. 2). Более того, квантовая механика микромира также относится ко времени как инвариантному параметру. Отметим здесь, что аналогом уравнения движения классической частицы в квантовой механике есть уравнение Шрёдингера, одним из которых является стационарное уравнение

$\hat{H}\psi = E\psi$, где $\hat{H}$ — так называемый *гамильтониан* или *оператор полной энергии* в математическом аппарате квантовой механики.

91

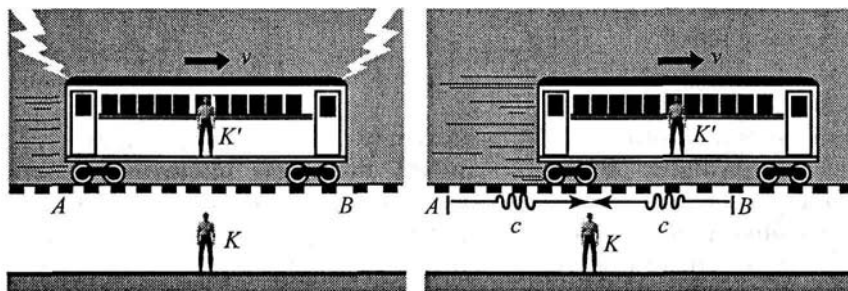
Под оператором подразумевается такая запись действий, которую надо сделать, чтобы перейти от одной функции к другой, ψ — волновая функция, физический смысл которой — вероятность нахождения квантовой частицы в каком-то состоянии. Эта вероятность описывается как $|\psi|^2$ и также, как квадратичная зависимость времени в классической механике, не объясняет направленного хода времени. Однако имеются некоторые экспериментальные данные, свидетельствующие о необратимости квантовых эффектов.

4.1.4. Постоянство скорости света

Рассмотрим еще один пример постоянства скорости света c , предложенный самим Эйнштейном (рис. 4.5). Наблюдатель K видит две вспышки молнии в концах движущегося вагона в тот момент, когда с ним поравнялась средняя часть вагона (рис. 4.5). Поскольку концы вагона находятся на равном от него расстоянии, он видит вспышки молнии одновременно. В середине вагона стоит наблюдатель K' . Наблюдатель K знает, что его коллега K' движется к точке B и удаляется от точки A . Поэтому наблюдатель K приходит к выводу, что наблюдатель K' увидит вспышку в B раньше, чем в A . Сам наблюдатель K' неподвижен в инерциальной системе отсчета — движущемся вагоне, и поскольку он находится на одинаковом расстоянии от концов вагона, то вспышка света приходит к нему первой от B (он к ней движется, значит, ближе). Поэтому он считает, что удар молнии в B произойдет раньше, чем в A . В результате два события, которые наблюдаются одновременно в системе отсчета K , кажутся неодновременными в системе K' из-за относительного движения обеих систем.

Рис. 4.5. «Поезд Эйнштейна»

Рис. 4.5. «Поезд Эйнштейна» — пример того, что события в системах K и K' протекают по-разному: наблюдатель в неподвижной системе K видит вспышку молнии в концах вагона одновременно, в подвижной системе K' — в правом конце вагона раньше, чем в левом.



92

Если наблюдатель K увидел молнию в точке A немного раньше, чем в точке B , то он решит, что событие в A произошло раньше, чем в B , тогда как наблюдателю в K' по-прежнему будет казаться, что событие B предшествовало событию в A . В результате оба наблюдателя увидят события, совершающиеся в противоположной последовательности. Прошлое и будущее поменяются местами. Все относительно! Как говорится в английской

эпиграмме: «Сегодня в полдень пущена ракета. Она летит куда скорее света. И долетит она до цели в семь утра. Вчера».

Если же считать второй постулат Эйнштейна справедливым, т.е. что всегда $c = \text{const}$ и $c > v$, тогда причинно-следственная связь сохраняется: ни один из наблюдателей, как бы он ни двигался, не сможет увидеть события в таком порядке, чтобы причина была бы после следствия. Молнию все увидят одновременно.

4.1.5. Преобразования Г. Лоренца

Из приведенных рассуждений приходится сделать вывод, что преобразования Галилея становятся неверными при приближении скорости тела v к скорости света c . При скоростях движения, близких к скоростям света, Г. Лоренцом были предложены преобразования при переходах от одной системы к другой, движущейся с постоянной скоростью, которые имеют вид:

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \beta^2}}; \quad y' = y; \quad z' = z; \quad t' = \frac{t - \frac{\beta}{c}x}{\sqrt{1 - \beta^2}} \quad \left(\beta = \frac{v}{c} \right).$$

Мы видим из этих формул, что меняются координата x' вдоль движения тела и время t , а поперечные координаты y' и z' в обеих системах одинаковы. Отсюда следует, что соотношения преобразования координат и времени, а также преобразования интервалов времени и длин отрезков при переходе от одной системы координат к другой, движущейся относительно первой равномерно и прямолинейно, показывают, что пространственные и временные координаты должны быть связаны друг с другом и течение времени уже нельзя считать одинаковым и, следовательно, нельзя отделять пространство от времени.

С точки зрения математики это означает, что в случае $\vec{V} \approx \vec{c}$ надо переходить от трехмерного к четырехмерному пространству—времени, объединяя пространственные и временные координаты, и рассматривать уже пространственно-временные системы

93

отсчета. Введем некоторый параметр ds , относящийся к этой объединенной пространственно-временной системе отсчета:

$$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 - c^2 dt^2$$

Здесь x, y, z — три координаты пространства, t — координата времени; c — предельная скорость распространения физических воздействий, т.е. скорость света в вакууме.

В современной физике преобразования Г. Лоренца играют большую роль. Эти преобразования показывают, что параметры пространства и времени связаны между собой и при переходе от одной системы к другой, если эти системы движутся равномерно и прямолинейно по отношению друг к другу, меняются согласованно. Значит, *нет не только абсолютного пространства, но и абсолютного времени.*

В случае малых скоростей временная координата не меняется при переходе от одного наблюдателя к другому наблюдателю, если один и другой движутся равномерно прямолинейно. Преобразуются только пространственные координаты. Поэтому их можно рассматривать независимо от времени, как это делается в классической механике, и все измерения вести в трехмерном пространстве X, Y, Z , считая, что каждая из координат x, y, z параметрически зависит от времени. В релятивистском же случае уже нельзя отделить пространственные координаты от времени и поэтому рассматривается четырехмерное пространство—время в целом. В таком мире события, как было рассмотрено в гл. 2, изображаются *мировой линией*. Таким образом, принципиальный результат преобразований Лоренца заключается в том, что пространственные и временные координаты изменяются совместно. В физике установлена *ковариантность* законов природы относительно преобразований Лоренца. Это означает, что они изменяются одинаковым образом при переходе от одной системы к другой. Заметим, что, когда $V \ll c$, множитель $\beta \approx 0$ и $\sqrt{1 - \beta^2} \approx 1$, а величина $\beta x/c$ становится пренебрежимо малой, и тогда преобразования Лоренца переходят в преобразования Галилея.

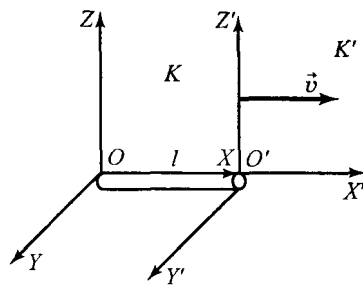
4.1.6. Изменение длины и длительности времени в СТО

Рассмотрим два наиболее важных следствия специальной теории относительности:

- сокращение длины (лоренцево сокращение длины);
- замедление течения времени.

94

Рис. 4.6. Сокращение длины отрезка в направлении перемещения для системы, движущейся со скоростью $v \approx c$.



Стержень длиной l в системе отсчета K «упирается» в начало координат O и заканчивается в x (рис. 4.6). Чему равна длина стержня в системе отсчета K' ? Наблюдатель в K' производит это измерение, определяя время, за которое начало O' этой системы проходит вдоль стержня. Этот интервал времени отсчитывается им от момента, когда начала координат O и O' совпадают, т. е. $t_1 = 0$

и $t'_1 = 0$. В момент, когда начало O' , двигаясь со скоростью v , достигает конца стержня, часы в системе K показывают t_2 , а в системе K' — t'_2 . Наблюдатель в K видит, что точка O прошла путь l со скоростью v , так что $t_2 = l/v$. Интервал времени, измеренный в K' ,

$$\Delta t' = t'_2 - t'_1 = \frac{t_2 - \left(\frac{v}{c^2}\right)l}{\sqrt{1-\beta^2}},$$

как это следует в соответствии с преобразованием Лоренца для координаты x' и при условии $t' = 0$, $x'_2 = l$. Учитывая, что $t_2 = \frac{l}{v}$,

мы получим:

$$\Delta t' = \frac{\frac{l}{v} - \frac{v}{c^2}l}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{\frac{l}{v} - \frac{v^2}{c^2} \cdot \frac{1}{v}}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{\frac{l}{v}(1-\beta^2)}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{l}{v} \sqrt{1-\beta^2}.$$

Умножая это выражение слева и справа на V и замечая, что $V\Delta t' = l'$, где l' — длина с точки зрения наблюдателя в K' , мы получим длину отрезка l' в движущейся системе K' :

$$l' = l\sqrt{1-\beta^2}.$$

Последнее соотношение означает, что наблюдатель в системе K' , движущийся относительно стержня, увидит его более коротким по сравнению с тем, что видит наблюдатель в K , покоящийся относительно стержня. Не забываем, конечно, что это справедливо лишь для V , близких к скорости света c .

95

При таких скоростях будет происходить и замедление течения времени. Не останавливаясь на деталях этого доказательства, отметим, что время в движущейся системе тоже изменяется:

$$t' = \frac{t}{\sqrt{1-\beta^2}}.$$

Интервал времени t' , отсчитываемый по часам в движущейся системе K' с точки зрения наблюдателя в системе K , оказывается продолжительнее интервала t , отсчитанного по его собственным часам. Отсюда можно сделать вывод, что для любого наблюдателя движущиеся относительно него часы идут медленнее таких же, но покоящихся в его системе часов. Экспериментальным доказательством замедления времени при больших скоростях является разгон элементарных частиц в физических ускорителях: π -мезоны живут там в 2 раза дольше, чем те же, но покоящиеся частицы.

4.1.7. «Парадокс близнецов»

Рассмотрим еще один из известных парадоксов СТО, который в свое время вызывал многочисленные дискуссии и недоразумения. Это так называемый «парадокс близнецов», предложенный самим Эйнштейном, и поэтому приведем его в классическом изложении СТО, взяв те же имена близнецов, что и у автора парадокса. Допустим, на Земле существуют два близнеца Эл и Боб. Боб — космонавт и отправляется в космическое путешествие к какой-то звезде на расстоянии от Земли в 10 световых лет. Поскольку расстояние в один световой год свет проходит за 1 год, то 1 световой год, деленный на скорость света c , просто равен одному году. Эл остается на Земле. Если космический корабль Боба летит со скоростью $v = 0,99c$ относительно Земли, то по часам Эла это путешествие займет время

$\Delta t = 10$ свет. лет/ $0,99c = 10$ лет.

Так как на возвращение затрачивается такое же время, то, когда корабль Боба вернется на Землю, Эл постареет на 20 лет. Однако Бобу представлялось, что Земля и звезда — цель его путешествия — двигались со скоростью $0,99c$ относительно него, и расстояние от Земли до звезды сократилось до

$l' = 10$ свет. лет $\sqrt{1 - (0,99)^2} \approx 1,44$ свет. года.

96

Следовательно, по часам Боба путешествие к Земле и обратно заняло всего лишь 2,8 года. Обнимая брата при встрече, Боб обнаружил, что его брат-близнец стал старше его на $20 - 2,8 = 17,2$ года. Но мы знаем, что любое движение относительно, и поэтому, если фиксировать все путешествие в системе отсчета Боба, то с его точки зрения такое путешествие совершили Земля и находящийся на ней Эл. По этой причине часы Эла должны идти медленнее часов Боба, так что когда Эл вместе с Землей вернется из своего «путешествия» и встретится с братом, то Боб должен обнаружить, что его брат-близнец моложе его. Мы, таким образом, пришли к парадоксу.

Этот парадокс разрешится, если учесть, что Эл все время находился в инерциальной системе отсчета, тогда как путешественник Боб подвергался ускорению: ракета набирала скорость $0,99c$, описывала орбиту вокруг звезды и испытывала торможение при подлете к Земле. В действительности Боб будет стареть, но не так быстро, как остающийся на Земле его брат-близнец. Можно привести и такой пример полета одного из них, скажем, к звезде Арктур. Расчет показывает, что близнец Боб, летящий к звезде Арктур со скоростью $v = 0,99c$, возвращается на Землю через 80,8 лет жизни близнеца Эла; сам же Боб провел в полете 11,4 года. Значит, они действительно живут в разном времени. Но и пространство для них разное. Расстояние от Земли до Арктура для остающегося на Земле Эла составляет 40 световых лет. Но для Боба, летящего со скоростью $0,99c$, расстояние уменьшается согласно лоренцову сокращению длины.

Замедление времени позволяет нам вообразить заманчивую возможность путешествовать к далеким звездам. Если такое путешествие будет совершаться со скоростью, близкой к скорости света, то космонавты смогут без труда преодолевать громадные расстояния за времена, достаточно малые по сравнению со временем человеческой жизни. По возвращении домой они застанут уже другую Землю, на которой за время их отсутствия пройдут сотни, а может быть, и тысячи лет. Подчеркнем, что «парадокс близнецов» — это реальный эффект: путешествующий близнец стареет медленнее, чем оставшийся на Земле его брат. Но нужно учесть, что путешественник может ничего и не выиграть, поскольку все биологические процессы в его организме тоже идут с меньшей скоростью по сравнению с их скоростью на Земле, и в результате все жизненные процессы, умственная и физическая его деятельность тоже будут происходить в замедленном времени.

97

4.1.8. Изменение массы в СТО

Оказывается также, что в рамках представлений теории относительности происходит изменение массы в зависимости от скорости. Поскольку мы уже знаем, что согласно первому постулату СТО все физические законы одинаковы во всех инерциальных системах, то, следовательно, должны выполняться законы сохранения энергии, импульса и момента импульса. Но мы только что установили, что скорость в движущейся системе меньше, чем в неподвижной, а закон сохранения импульса должен считаться по-прежнему справедливым. Отсюда следует, что масса тела в системе K' должна быть, по мнению наблюдателя в K , больше,

чем масса тела в этой системе K , на величину $\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}$

Масса тела, измеренная в той системе отсчета, относительно которой тело покоится, называется *массой покоя* или *собственной массой тела* и обозначается m_0 . Тогда масса m тела, движущегося со скоростью v , равна

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \beta^2}}.$$

Из этого соотношения также следует, что скорость материального тела не может достичь скорости света c или превысить ее, так как при $V = c$ $\beta = 1$ и знаменатель обращается в нуль, а m становится бесконечно большой. Разумеется, бесконечно большая масса не имеет физического смысла, и отсюда вытекает, что все материальные тела могут

двигаться лишь со скоростями, меньшими скорости света. Кроме того, согласно правилу сложения скоростей в СТО такой вывод будет справедлив в любой системе отсчета.

Рассмотрим теперь соотношение между массой и энергией. В случае, когда $V \ll c$ изменение массы можно записать в виде:

$$m \approx m_0 \left(1 + \frac{1}{2} \beta^2 \right).$$

Умножая обе части этого уравнения на c^2 и учитывая, что

$$c^2 \beta^2 = v^2; \text{ находим}$$

$$mc^2 \approx m_0 c^2 + \frac{1}{2} m_0 v^2.$$

98

Слагаемое $\frac{1}{2} m_0 v^2$ соответствует классическому выражению

для кинетической энергии, а слагаемое $m_0 c^2$ выражает, очевидно, некое внутреннее свойство тела, поскольку оно зависит только от массы покоя m_0 . Эта величина называется *энергией покоя* или *собственной энергией тела*. Сумма энергии покоя и энергии движения, т.е. кинетической энергии, и есть полная энергия тела:

$$mc^2 = m_0 c^2 + E_{\text{кин}}.$$

Если v не мало по сравнению с c , то в правой части уравнения изменения массы появляются дополнительные слагаемые, являющиеся дальнейшими членами разложения множителя

$$\frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}}$$
 по степеням β . Тем не менее разность между полной и

собственной энергиями по-прежнему равна кинетической энергии, и поэтому последнее соотношение верно. Это и есть известное *соотношение Эйнштейна между массой и энергией*:

$$E = mc^2,$$

где E — полная энергия тела.

4.2. Общая теория относительности (ОТО)

Если система движется с ускорением, то представления СТО не могут быть использованы, так как она справедлива только для инерциальных систем, и мы должны обратиться к общей теории относительности, которую считают также теорией гравитации. Постулаты СТО прошли экспериментальную проверку и получили подтверждение, экспериментальных же данных по проверке ОТО гораздо меньше. Согласно современным положениям ОТО можно сделать лишь несколько предсказаний, причем к настоящему времени проверка ни одного из них не привела к окончательному экспериментальному подтверждению теории.

4.2.1. Постулаты ОТО

Основной постулат ОТО даже более решителен, чем такой же постулат СТО:

• *все физические законы можно сформулировать так, что они кажутся справедливыми для любого наблюдателя, сколь сложное движение он ни совершает.*

99

ОТО использует сложный математический аппарат, но мы остановимся лишь на ее физической сущности. Эйнштейн сформулировал так называемый *принцип эквивалентности*:

• *не существует эксперимента, с помощью которого можно было бы отличить действие гравитационного поля от действия ускоренного движения по отношению к «неподвижным» звездам.*

Действительно, если мы рассмотрим объект, летящий на ракете в космос, где гравитация уже не действует, и ускорение ракеты a равно ускорению свободного падения g на Земле, то при наблюдении движения предмета относительно поля ракеты ускоренное движение будет одинаковым. Другими словами, если ракета лишена иллюминаторов, то наблюдатель никогда не сможет отличить ускорения, обусловленного силой тяжести, от ускорения, создаваемого двигателем ракеты.

Экспериментальным подтверждением этого является тот факт, что не обнаружено различие между гравитационной и инертной массой. В противном случае наблюдатель мог бы выяснить, находится он в поле силы тяжести Земли или же ускоряется в космическом пространстве. Таким образом, принцип эквивалентности требует, чтобы:

$$m_{\text{гр}} = m_{\text{ин}}.$$

Равенство масс означает, что действие тяготения и изменение энергии описывают одно и то же явление.

4.2.2. Экспериментальная проверка ОТО

А. Эйнштейн предложил два способа экспериментальной проверки ОТО:

- аномалии в движении планет Солнечной системы, в частности Меркурия;
- поведение электромагнитных волн вблизи таких массивных тел, как Солнце.

Прецессия перигелия орбиты Меркурия. В ньютоновской теории тяготения силы, действующие в поле гравитации, изменяются с расстоянием $1/r^2$. Оказалось, что эту зависимость можно с большой точностью проверить, наблюдая за движением планет. Если гравитационная сила меняется с расстоянием $1/r^2$, то эллиптические орбиты планет не должны изменяться во времени. В частности, ближайшая к Солнцу точка эллипса (она называется перигелием) не должна менять своего положения по отношению к «неподвижным» звездам. Существуют, конечно, небольшие отклонения от точно эл-

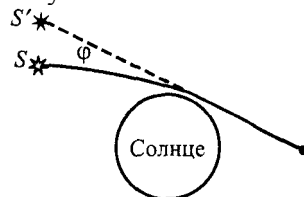
100 литических орбит, называемые возмущениями и обусловленные тем, что на данную планету действуют другие планеты. Но эти отклонения очень малы по сравнению с гравитационной силой Солнца. Кроме того, разработаны надежные математические методы расчета таких возмущений. Поэтому, если бы наблюдалось перемещение перигелия, то это свидетельствовало бы, что показатель степени в законе всемирного тяготения не равен в точности 2.

Около 100 лет назад было обнаружено малое перемещение перигелия Меркурия, которое с учетом возмущений других планет объяснить не удалось. В частности, было предположено даже наличие какой-то ранее не наблюдавшейся планеты между Меркурием и Солнцем, которую заранее назвали Вулканом. Ее безуспешно искали в течение многих лет. Перигелий Меркурия прецессировал с очень малой скоростью, и его орбита напоминала медленно поворачивающийся эллипс. После учета влияния на его движение со стороны всех реальных прочих планет оказалось, что прецессия составляет 43,11 с за столетие, после чего был сделан вывод, что закон всемирного тяготения не точен. Если же для вычисления эффектов, связанных с замедлением течения времени и зависимостью массы от скорости, использовать теорию относительности, то расчет, проведенный А. Эйнштейном, показывает значение 43,03 с. Естественно, это потрясающее совпадение результатов.

Искривление световых лучей вблизи Солнца. Общая теория относительности предсказывает, что, когда луч проходит вблизи массивного тела, его путь должен немного искривляться. Такой результат можно качественно понять, если учесть, что электромагнитное излучение, в том числе свет, обладает энергией, и этой энергии соответствует масса. Поэтому гравитационное поле, через которое проходит свет, действует на него и искривляет его траекторию так же, как массивное тело действует на пролетающую мимо него частицу. Так как свет распространяется с огромной скоростью, это воздействие проявляется лишь в течение короткого времени. Отклонение света от прямолинейной траектории мало даже при прохождении около такого массивного тела, как Солнце, но тем не менее оно есть (рис. 4.7); S — истинное положение

Рис. 4.7. Отклонение световых лучей от звезды S при прохождении около Солнца от прямолинейной траектории.

Искривление лучей обусловлено действием массы Солнца и вызывает смещение кажущегося положения звезды в точку S' .



101 ние звезды, S^* — кажущееся, угол ϕ — угол между истинным и кажущимся положениями, O — наблюдатель). Это было проверено экспериментально в момент солнечного затмения и спустя несколько месяцев. Измерения дали отклонение $\sim 2''$, а ОТО дает результат $1,75''$. Это было обнаружено в 1919 г., и Эйнштейн отреагировал на это сообщение комментарием, что он был бы очень удивлен, если бы результат был иным.

Гравитационное красное смещение. Если выпустить из рук какой-либо предмет, то при движении в поле тяготения Земли его скорость и кинетическая энергия будут увеличиваться. Аналогично «при падении» света в гравитационном поле энергия света будет увеличиваться благодаря наличию у света массы, связанной с энергией излучения. Увеличение кинетической энергии падающего тела или частицы обусловлено возрастанием скорости ($E = mv^2/2$). Однако, поскольку свет всегда распространяется с постоянной скоростью, увеличение его энергии связано с возрастанием частоты световой волны. Было установлено также, что если направление распространения света противоположно вектору напряженности гравитационного поля, то свет будет терять энергию, а его частота будет уменьшаться. Действительно, оказалось, что частота видимого света, испускаемого Солнцем в гравитационном поле Земли, уменьшается, а длина волны увеличивается. А это означает смещение света в гравитационном поле к красному концу спектра. Величина этого смещения мала, но измерима ($\Delta\nu/\nu = 2,5 \cdot 10^{-15}$) и с точностью до 10% совпадает со значением, предсказанным ОТО. Это очень малое изменение частоты удалось измерить с помощью эффекта Р. Мёссбауэра (р. 1929). Эффект красного смещения был предсказан А. Эйнштейном в 1907 г.

В 1972 г. сотрудниками Вашингтонского университета и военно-морской лаборатории США Хефеле и Китингом были проведены эксперименты по проверке теории относительности Эйнштейна, связанные с изучением течения времени на разной высоте от Земли в самолетах Боинг (10 км) и Конкорд (20 км), летящих по направлению вращения Земли и против ее вращения, по сравнению с часами, находящимися на поверхности Земли. Как и предсказывается теорией относительности, при полете на восток часы, находившиеся на борту самолетов, отставали, а при полете на Запад уходили вперед относительно часов, оставшихся на Земле. Фактический ход времени меняется в зависимости от относительного движения наблюдателей. И это удалось измерить.

102

Поскольку самолет находился на большой высоте над поверхностью Земли и гравитация там меньше в $1/g^2$ раз и учитывая изменение скорости перемещения часов на самолетах в одну и другую сторону, было установлено, что гравитация изменяет ход часов. Это подтверждается также и тем, что одни и те же часы на Луне идут быстрее, чем на Земле, поскольку гравитационное поле на Луне в 6 раз слабее земного.

Американский физик **Д. Шредер** на основании этого предлагает считать, что выводы теории относительности уже не являются чисто теоретическими, а **могут считаться эмпирически подтвержденным законом**. Теория относительности превратилась в закон относительности. Отсюда же можно сделать вывод, что при рассмотрении физики Вселенной (гл. 6) нужно учитывать различия в движении и гравитационных силах различных галактик или даже звезд в одной галактике, и это превращает абсолютное время в сугубо локальный феномен [27]. В разных частях Вселенной время может протекать по-разному. Поэтому каждая звезда имеет свои собственные гравитацию, скорость движения и пространственно-временную систему отсчета. В ранней Вселенной кривизна пространства и времени была другая. Отсюда можно сделать фантастический для нас вывод — **со времени Большого Взрыва время текло неравномерно!**

4.2.3. Гравитация и искривление пространства

ОТО предсказывает также наличие *гравитационных волн*. Подобно тому как ускоренно движущийся электрический заряд испускает излучение, движущееся в гравитационном поле массивное тело должно испускать гравитационные волны, носителем которых и может быть *гравитон*. Заметим также, что ОТО предсказывает искривление четырехмерной геометрии пространства—времени, так называемого *мира Минковского*. Г. Минковский писал: *«Отныне пространство и время, взятые по отдельности, обречены влечь призрачное существование, и только единство их обоих сохранит реальность и самостоятельность»*. (Заметим, что в честь Г. Минковского такой четырехмерный мир называют пространством-временем Минковского.) Представления о четырехмерном пространстве—времени не так наглядны даже для специалистов по теории относительности. Так, **С. Хокинг (р. 1942)** замечает: *«Невозможно вообразить четырехмерное пространство. Я сам с трудом представляю фигуры в трехмерном пространстве!»* Однако автор таких представлений в теории относительности А. Эйнштейн говорил: *«Мистический трепет охватывает нематематика,*

когда он слышит о «четырёхмерном», — чувство, подобное чувству, внушаемому театральным приведением. И тем не менее нет ничего банальнее фразы, что мир, обитаемый нами, есть четырёхмерная пространственно-временная непрерывность».

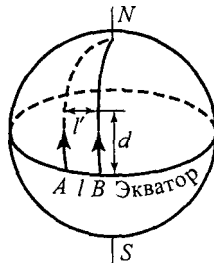
Тот факт, что четырёхмерное пространство может быть искривленным, теоретически был открыт в начале XIX в. русским математиком Н. И. Лобачевским и одновременно венгерским математиком **Я. Больяй (1802—1860)**. В середине XIX в. немецкий геометр **Б. Риман (1826—1866)** стал рассматривать «искривленные» пространства не только с тремя измерениями, но и четырёхмерные и вообще с любым числом измерений. С того времени геометрию искривленного пространства и стали называть *неевклидовой*. Ученые, разрабатывающие неевклидову геометрию, не знали, в каких конкретно условиях может проявиться их геометрия, хотя отдельные догадки об этом высказывали. Созданный ими и их последователями математический аппарат был использован при формулировке общей теории относительности.

Конечно, представление гравитационного поля так же, как и понятия времени и пространства, совсем не простое, тем не менее в рамках ОТО появление гравитации связывается именно с искривлением пространства-времени.

Рассмотрим пример. Если **A** и **B** движутся с экватора Земли на север (рис. 4.8), то через какое-то время расстояние l между ними уменьшится ($l' < l$). Это дает основание утверждать, что **A** и **B** как бы притягивает некая «сила», которую можно называть гравитацией. Разумеется, здесь нет никакой «силы». В заблуждение вводит то обстоятельство, что геометрия пространства, в котором движутся **A** и **B**, криволинейная, а для описания их положения используется геометрия Евклида на плоскости. То же самое происходит и в нашем реальном мире. Если мы считаем, что Вселенная может быть описана геометрией Евклида, а это мы постоянно интуитивно и делаем, то возникает таинственная сила — гравитация, происхождение которой мы не можем объяснить.

В ОТО все эффекты гравитации приписываются неевклидовой геометрии Вселенной — четырёхмерной геометрии искрив-

Рис. 4.8. Движение субъектов **A и **B** с экватора точно на север по параллельным траекториям.**



ленного пространства—времени. Это и есть криволинейная геометрия Римана для больших пространств. Можно сказать, что наличие во Вселенной вещества искажает геометрию и вещество «заявляет» о своем присутствии посредством гравитации. Таким образом, в теории относительности гравитация определяется распределением и движением материи в пространстве. При наличии в пространстве тяготеющих масс, а следовательно, и сил тяготения, пространство—время искривляется, становится неевклидовым. Известно также, что

А. Эйнштейн до конца своей жизни пытался обосновать идею, что не только гравитацию, но и всю физическую Вселенную можно целиком описать на основе одной лишь геометрии. Такое представление о природе имели еще древние греки. Платон говорил: *«Бог — это геометр»*.

Ньютон завершил начатое Г. Галилеем, а А. Эйнштейн — начатое Ньютоном. Эйнштейну приписывается фраза: «Прости меня, Ньютон» За что великий физик одной эпохи просил прощения у великого физика другой эпохи? Может быть, за то, что одному из них пришлось исправлять другого? Ведь Эйнштейн, вскрыв закономерности развития физического мира, наглядно продемонстрировал незавершенность казавшейся незыблемой механики Ньютона. Эйнштейн-физик развил и дополнил физика Ньютона. Но Эйнштейн просил прощения не только за это. Эйнштейн-мыслитель сломал стереотип религиозного мышления Ньютона-богослова.

Хотя для Эйнштейна областью приложения знаний всегда была физика, он ставил

перед собой вопросы, ответы на которые требовали энциклопедических подходов. Эйнштейна восхищала гармония мира.

Общая теория относительности — удивительная физическая теория со своей необычайной красотой и внутренней стройностью. Не случайно Л. Ландау говорил, что истинного физика — теоретика можно распознать по тому, испытал ли человек восхищение при первом же знакомстве с ОТО. А академик

В. Л. Гинзбург (р. 1916) писал, что она вызывает *«чувство, родственное тому, которое испытывают, глядя на выдающиеся шедевры живописи, скульптуры или архитектуры»*. Любопытно, что известный английский астроном и специалист по ОТО А. Эддингтон на замечание журналиста, будто в мире только три человека понимают эту общую теорию относительности, помолчав, сказал: *«Я думаю — кто же третий?»*

105

4.2.4. Основные итоги основ теории относительности

1. При разработке постулатов СТО Эйнштейн отказался от трех основных постулатов Ньютона — от представления об абсолютном пространстве и времени;

от закона сложения скоростей и от закона сохранения массы, заменив их обобщенным законом сохранения массы-энергии.

2. Никакое материальное тело ни в одной системе отсчета не может иметь скорости, равной или большей скорости света c . Это означает, что скорость света инвариантна. Согласно СТО и ОТО, никакой сигнал не может быть передан со скоростью, превышающей скорость света c .

3. Последовательность событий во времени с точки зрения разных наблюдателей зависит от их относительного движения. Однако никакой наблюдатель, как бы он ни двигался, не может зарегистрировать следствия раньше причины.

4. Измерение наблюдателем длины предмета, движущегося относительно него, дает меньшее значение, чем измерение той же длины наблюдателем, неподвижным относительно предмета (сокращение длины). Сокращение длины предмета имеет место только вдоль направления движения. Поперечные размеры остаются неизменными.

5. Наблюдатель, движущийся относительно часов, установит, что они идут медленнее точно таких же часов, находящихся в покое в его системе отсчета (замедление течения времени).

6. Тело, движущееся относительно наблюдателя, имеет массу, большую, чем такое же тело, покоящееся относительно наблюдателя.

7. Полная энергия равна сумме собственной энергии c^2 и его кинетической энергии. Полная энергия $E = mc^2$.

8. Экспериментально проверены следующие предсказания ОТО: прецессия перигелия орбиты Меркурия, искривление световых лучей при прохождении их вблизи Солнца.

9. Гравитационное красное смещение является прямым следствием принципа эквивалентности масс и того, что свет имеет массу. Этот же эффект обуславливает и замедление хода часов в гравитационном поле.

10. В основе ОТО лежит СТО.

106

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие постулаты Эйнштейна лежат в основе специальной теории относительности?

- *все физические законы одинаковы во всех инерциальных системах;*
- *скорость света (в пустоте) одинакова с точки зрения всех наблюдателей независимо от движения источника света относительно наблюдателя.*

2. Для чего была нужна модель мирового эфира? В чем ее достоинства и недостатки?

3. В чем заключаются принцип относительности Галилея и его преобразования? Почему они несостоятельны при скоростях, близких к скорости света?

4. В чем заключается принцип относительности Эйнштейна?

5. Влияет ли теория относительности на направленный ход времени?

6. Объясните преобразование Лоренца и единство пространства—времени.

7. В чем состоит «парадокс близнецов»?

8. Каким образом происходят лоренцово сокращение длины и замедление хода времени?

9. Как изменяется масса со временем? Каково соотношение Эйнштейна между массой и энергией?

10. Какие экспериментальные подтверждения общей теории относительности Вы знаете?

11. Приведите основные положения СТО и ОТО.

ЛИТЕРАТУРА

[6](#), [8](#), [26](#), [50](#), [61](#), [106](#), [153](#), [154](#).

Глава 5. ОСНОВЫ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ И КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

Квантовая механика — это полная загадок и парадоксов дисциплина, которую мы не понимаем до конца, но умеем применять.

Гелл-Манн

Квантовую механику не понимает никто.

Р. Фейнман

5.1. Описание процессов в микромире

Как мы убедились (гл. 2 и 4), классическая и релятивистская механика дают ответ на многие вопросы движения больших объектов и с большими скоростями, вплоть до скоростей света. Однако ряд физических фактов, связанных с движением и взаимодействием света с веществом, не укладывается в известные законы механики. Рассмотрим кратко эти явления и проследим, как они привели к **механике микромира**, или квантовой механике, и в рамках ее были объяснены.

Предварительно отметим **два соображения**.

Первое.

Первое. Несмотря на точность количественных законов классической механики, в том числе и в объяснении движения

107 планет, природа сил тяготения так до сих пор и не выяснена. И. Ньютон лишь объяснял как, а не почему движутся тела, и говорил по этому поводу: «Гипотез я не измышляю». В релятивистской механике Эйнштейну пришлось несколько изменить закон тяготения в соответствии с положениями теории относительности. Как известно, согласно ОТО расстояние между объектами нельзя преодолеть со скоростью, большей скорости света, а согласно классической механике И. Ньютона это происходит мгновенно. Наличие у света энергии и массы приводит к искривлению световых лучей около массивных тел, и сила тяготения изменяется. Но это не объясняет природу тяготения, хотя А. Эйнштейн и пытался связать тяготение через геометрическую механику с искривлением пространства—времени.

Второе.

Второе. Классическая, и релятивистская механика формально не возражают против движения и в будущее, и в прошлое, не выделяют стрелу времени. Это положение приводит к мысли, что мы что-то не учитываем при таком количественном описании движения тел. Природа не все позволила нам пока открыть! Наконец, нельзя не обратить внимание на формальное совпадение законов тяготения по Ньютону и взаимодействия электрических зарядов по Кулону. Возникает предположение, что в этой закономерности также имеется глубокий смысл. Однако, как указывал Р. Фейнман, до сих пор никому не удавалось представить тяготение и электричество как два разных проявления одной и той же сущности.

Переходя от рассмотрения характера движения в макромире к явлениям микроскопического масштаба, т.е. порядка размеров атомов и элементарных частиц, можно отметить, что описывать такие явления привычными нам терминами не удастся. Это связано, по-видимому, с психологией сознания, и человеку трудно найти сопоставления из реальной обыденной жизни с тем, что происходит как в мегамире (релятивистская механика), так и микромире (квантовая механика). Язык людей, выражающий то, что отражается в нашем сознании от восприятия реальных для нас макрообъектов классической механики, вероятно, не подходит для описания событий в микромире, хотя попытка использования его и объясняется естественным стремлением находить подтверждение выведенным законам на микроскопическом уровне.

- Можно понять, что происходит в микромире, можно даже написать математические законы, отражающие это понимание, но

108 объяснить процессы в этом микромире на вербальном уровне очень сложно, а может быть, и невозможно. Приведем высказывание В. Гейзенберга по поводу того, что говорить обычным языком о квантовой теории очень сложно: «...*непонятно, какие слова*

надо употребить вместо соответствующих математических символов. Ясно одно: понятия обычного языка не подходят для обычного описания строения атомов». Мы пытаемся говорить о принципиально новых явлениях на языке старых представлений. Такая ситуация часто обусловлена еще и тем, что нам проще иметь дело с представлениями о реальности (теория всегда абстрактна, и теоретические модели подчас «навязывают» природе свои законы, исходя, например, из того же антропного принципа), чем с самой реальностью. И мы, как правило, смешиваем одно с другим и принимаем свои символы и понятия за реальность. Ф. Капра в своей книге «Дао физики» [11], сравнивая современную физику и восточный мистицизм и находя в них много общего, отмечал, что все понятия, используемые нами для описания природы, ограничены, они могут не являться свойствами действительности, а есть продукты мышления — части карты, а не местности. Значит, для описания явлений микромира надо преодолеть некий «лингвистический барьер» и говорить на адекватном этому миру «квантовомеханическом» языке. В этом смысле создание квантовой механики является поистине революцией не только в физике, но и в современном естествознании в целом. Н. Бор говорил: *«Если у человека при первом знакомстве с квантовой механикой голова не идет кругом, то он не понимает в ней ничего».*

5.2. Необходимость введения квантовой механики

Какие же противоречия в объяснении природы микромира привели к рождению квантовой механики? В первую очередь, сюда относятся вопросы, касающиеся **физической природы излучения и вещества, их сходства и различия**. Конечно, мы не будем касаться всей истории создания квантовой механики и ее физического, в том числе и экспериментального, обоснования. Отметим лишь основное в понимании идей квантовой механики.

Характерным примером определенного противоречия является понимание природы света. Первоначально предполагалось

109

Эрвин Шрёдингер



Э. Шрёдингер (1887—1961) — австрийский физик, лауреат Нобелевской премии 1933 г. за разработку новых, перспективных форм атомной теории (совместно с П. Дираком). С 1924 г. возглавлял кафедру теоретической физики Цюрихского университета. Его предшественниками на этом посту были А. Эйнштейн и **М. Лауэ (1879—1960)**. Работы Э. Шрёдингера лежали в русле самых актуальных научных проблем своего времени — электродинамика, общая теория относительности, поиски единой теории поля. Он считал, что все процессы в микромире являются исключительно волновыми процессами, т.е. что только волны обладают физической реальностью. По его мнению, частица — не что иное, как группа волн, занимающая определенную часть пространства и движущаяся как единое целое. Э. Шрёдингер изложил свою концепцию в четырех статьях «Квантование как задача о собственных значениях», опубликованных в 1926 г., в которых заложены основы волновой механики, описывающие движение квантово-механической частицы:

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} + \frac{8\pi^2 m}{h^2} \left(E - \frac{V}{r} \right) \psi = 0,$$

где ψ — волновая функция, описывающая состояние каждого электрона в атоме. Современники (и не только!) Э. Шрёдингера говорили, что его постулаты можно было оспаривать, но нельзя игнорировать, а по поводу его уравнения — что в нем как бы обрели единое звучание бездонная глубина симфоний Моцарта и непринужденное изящество вальсов Штрауса. Обладая высокоразвитым абстрактным мышлением, он в то же время был чрезвычайно утонченной натурой, интересовался философией и историей естествознания, обладал даром предвидения: об этом свидетельствуют приложения его

представлений квантовой физики к биологии. Большой резонанс вызвала его работа «Что такое жизнь? С точки зрения физики» (1945). Он любил поэзию, переводил Гомера на английский язык и сам писал стихи. Как говорил о нем М. Борн (1882—1970), *«...он сказал свое слово во многих сферах человеческой деятельности. Глубина его знаний была столь же изумительной, как острота и творческая сила его ума»*.

110

(Ньютон), что свет представляет собой **поток мельчайших частиц**, корпускул, как их тогда называли, и все оптические явления таким представлением описывались. Однако в дальнейшем, особенно в связи с осознанием того, что свет — это электромагнитные волны, выяснилось, что свет ведет себя, действительно, **как волны** (явления интерференции и дифракции). Затем для объяснения, например, спектра излучения абсолютно черного тела или фотоэффекта опять пришлось прибегать к представлению **света как потока частиц** (теперь их называют фотонами).

абсолютно черное тело

Заметим, что абсолютно черное тело — физическая модель излучения твердого тела, где предполагается, что в идеальном случае все излучение выходит через маленькое отверстие во внешнее пространство (подобно открытой дверке топки печки). И так же, как в случае печки, мы видим только топку и не видим всю печку, такое тело будет невидимым, в идеале — **абсолютно черным телом**. В то же время опыты с электронной дифракцией показывают, что **электроны ведут себя как волны**. Таким образом свет проявляет себя и как волны, и как частицы-фотоны.

корпускулярно-волновой дуализм

Возник так называемый корпускулярно-волновой дуализм. Это противоречие («путаница», по Р. Фейнману) было разрешено введением уравнений квантовой механики к 1926—1927 гг., в частности постулированного уравнения Шрёдингера, которое является аналогом уравнения движения в квантовой механике, каким для классической частицы является уравнение Ньютона.

Как выяснилось, **электроны** ведут себя так же необычно, **как и фотоны**, т.е. **проявляют дуализм**. В 1924 г. де Бройль предложил идею о том, что любой частице, обладающей импульсом p , можно сопоставить определенную длину волны:

$$\lambda = h/p.$$

Эта волна была названа *волной де Бройля*.

Было установлено, что квантовомеханические частицы (электроны, протоны, нейтроны и даже целые атомы) могут участвовать в таких волновых процессах, как дифракция и интерференция. Это находит свое широкое применение в технических методах экспериментальной физики при исследовании структуры вещества (электронография, протонография, нейтронография)

111

Луи де Бройль



Луи де Бройль (1892—1987) — французский физик, лауреат Нобелевской премии 1929 г. за открытие волновой природы электрона, первоначально получил гуманитарное образование в Сорбонне, но затем увлекся квантовой теорией, тем более что, по его мнению, *«глубокий смысл таинственных квантов мало кто понимал»*. В 1923 г. в возрасте 30 лет он опубликовал работу «Исследования по квантовой теории», ознакомившись с которой Эйнштейн рекомендовал ее М. Борну: *«Ты должен ее прочитать, даже если она выглядит безумной, она все же совершенно самобытна»*.

Идеи де Бройля заложили первые камни фундамента, на котором было затем построено здание волновой механики, поскольку он первым предположил, что **электрон может проявлять себя и как частица, и как волна**. И волновые свойства электрона не менее существенны для познания странного квантового мира, чем материальные.

Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

Корпускулярно-волновой дуализм требовал от физиков отступления от привычных канонов мышления. Сам де Бройль значительно позже своего открытия отмечал, что открытие двойственности «волна — частица» было наиболее драматическим событием в микрофизике. Прекрасное гуманитарное образование де Бройля проявлялось в том, что в его работах **на простом и понятном языке излагались трудные вопросы различных физических проблем**. Современники де Бройля говорили, что он олицетворяет тип естествоиспытателя-теоретика, в одиночестве размышляющего над стоящими перед ним проблемами, но одновременно и одного из самых блестящих академических преподавателей среди физиков того времени.

и рентгенография). Связано это с тем, что в зависимости от энергии излучения длина такой волны де Бройля для соответствующей частицы сравнима с **межатомным расстоянием в кристалле и поэтому кристаллическая решетка действует как обычная дифракционная решетка и пучок частиц рассеивается на атомах кристаллической решетки**.

112

5.3. Гипотеза Планка

В формуле волны де Бройля, помимо λ и p , есть еще одна величина h , которой нет в классической физике и которую связывают с именем Планка.

Занимаясь термодинамикой теплового излучения, Планк пытался установить закономерность, которая бы четко выражала зависимость распределения энергии в спектре излучения от температуры и длины волн. В результате он вывел формулу $E = A\nu$.

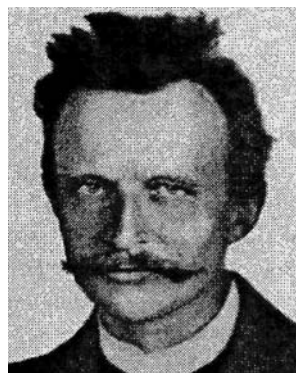
Величину h Планк назвал *квантом действия*. Она является **фундаментальной постоянной, равной $6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж $\cdot$ с**, и входит во все основные формулы теоретической физики и химии. Впоследствии А. Эйнштейн отмечал, что *«именно закон излучения Планка дал первое точное определение абсолютных величин атомов. Он убедительно показал, что кроме атомистической структуры материи существует своего рода атомистическая структура энергии, управляемая универсальной постоянной»*. Как выясняется уже в настоящее время, эта константа имеет более глубокий смысл и проявляется в физике Вселенной, моделях единого физического поля и фундаментальных представлениях пространства—времени в виде планковских величин расстояния, времени и массы.

Из этих идей Планка о кванте действия фактически началась квантовая физика, которую на первых порах воспринимали довольно сдержанно, считая ее недостаточно реальной и не необходимой. А. Эйнштейн, **взяв идею о дискретности, ввел в 1905 г. понятие о квантах света — фотонах, а позже разработал на этой основе квантовую теорию теплоемкости твердых тел**. Надо отметить, что Планк был в числе тех, кто сразу признал и понял теорию относительности Эйнштейна, и в 1906 г. предложил термин «теория относительности».

В нашем курсе мы часто касались вопросов поиска научных (не обязательно физических) законов, описывающих наш мир. И очень часто многие из них как бы «угадываются», вводятся априорно, в результате некоего озарения и постулируются, т.е. не доказываются. Это, как ни странно на первый взгляд, свойственно математике. **Как отмечал Р. Фейнман, угадывание уравнений, по-видимому, очень хороший способ открытия новых законов**, и это показывает, что математика дает глубокое конкретное описание природы по сравнению с философскими принципами или интуитивными механическими аналогиями, которые не да-

113

Макс Планк



М.Планк (1858—1947) — немецкий физик-теоретик, лауреат Нобелевской премии 1918 г. по физике **за открытие элемента действия. Так тогда называли квант действия**, столетие введения которого отмечалось в декабре 2000 г.

М. Планк был разносторонне одаренным человеком. Он состоял в отдаленном родстве со многими выдающимися людьми Германии, в том числе с такими знаменитыми, как философы **Гегель (1770—1831)** и **Шеллинг (1775—1854)**, поэты **Шиллер (1759—1805)** и **Гёльдерлин (1770—1843)**. С детства Планк любил музыку, прекрасно играл на фортепиано, сам сочинял музыку и даже хотел стать музыкантом. Но поступил на физико-математический факультет Мюнхенского университета. Как отмечали биографы, характерными чертами его были обстоятельность и рассудительность, поэтому его выбор был обычно глубок и основателен. Он редко делал ошибки, и едва ли кто-либо мог повлиять на принимавшиеся им решения.

История причислила М. Планка к **гениям потому, что он владел «идеями, объективно превосходящими господствующие»**. Он находил пути облекать эти идеи в конкретные научные реалии. Сдержанный по натуре, суховатый и даже чопорный, в науке он был романтиком, в семье — любящим мужем и заботливым отцом. У него было две дочери и два сына. Старший был убит под Верденом в 1916 г., младший расстрелян в 1945 г. за участие в заговоре против Гитлера. Не избежал Планк и увлечения многих физиков: он был страстным альпинистом и побывал на многих вершинах Альп. Сохранилась даже фотография 84-летнего ученого на трехтысячнике в Восточном Тироле.

ют таких серьезных результатов. Многие фундаментальные законы (законы Ньютона, Максвелла, Эйнштейна, Шрёдингера, де Бройля, Планка) были правильно угаданы ими от природы.

В 1900 г. при объяснении спектра излучения абсолютно черного тела М. Планк выдвинул идею, что обмен между излучением и веществом происходит не непрерывным образом, а дискретными порциями, квантами. При этом количество энергии,

сопоставляемое кванту с частотой ν (величина, обратная длине волны λ), определяется по формуле

$$E = h\nu,$$

где $h = 6,625 \cdot 10^{-34}$ Дж · с и есть **постоянная Планка**.

Физический смысл постоянной Планка состоит в том, что если в классической физике минимальное количество действия может быть любым, то в квантовомеханическом представлении оно не может быть меньше h . Не касаясь тонкостей доказательств, заметим, что в этих условиях энергия, импульс и момент импульса (см. § 2.6) будут иметь дискретный спектр значений, т.е., как говорят физики, квантованы на величину h . Поскольку значение h мало, то в каждом кванте заключено очень малое количество энергии и поэтому, возвращаясь в макромир, отметим, что в больших количествах энергии ее дискретная природа незаметна, поскольку небольшое изменение числа квантов оказывается пренебрежимо малым. Поэтому постоянная Планка имеет сугубо квантовый характер.

В 1905 г. Эйнштейн для объяснения фотоэлектрического эффекта также постулировал, что электромагнитное излучение, как и тепловое, имеет квантовый характер и состоит из квантов — фотонов. Напомним, что фотоэлектрический эффект (фотоэффект) — это явление испускания электронов из вещества под действием света. Согласно Эйнштейну кинетическая энергия вылетающего фотоэлектрона равна разности между энергией фотона и минимальной энергией, необходимой для освобождения электрона из вещества, которая называется работой выхода φ :

$$E_{\text{кин}} = h\nu - \varphi.$$

Теория фотоэффекта была успешно подтверждена экспериментально **Р. Милликеном (1868—1953)**, в 1923 г. получившим за это Нобелевскую премию. Любопытно, что в 1921 г. Нобелевская премия была присуждена также и Эйнштейну, но не за его теорию относительности, а именно за теорию фотоэлектрического эффекта.

Корпускулярно-волновой дуализм, как некая двусмысленность, может стать более понятным, если мы учтем, что, изучая поведение электрона или фотона как частицу или волну, мы опять же навязываем классическое описание объектам, имеющим неклассическую природу. Из этого еще раз следует, что при рассмотрении природы на микроуровне мы должны понимать ее на адекватном квантовомеханическом языке.

5.4. Измерения в квантовой механике

Рассматривая процессы в микромире, следует отметить специфику измерений на квантово-механическом уровне. Еще Галилей сказал: *«Гораздо легче измерять, чем знать, что измерять»*. Оказывается, что при описании поведения квантовых частиц сам объект изучения микромира и экспериментальный прибор составляют единую систему. Это, с одной стороны, показывает, что, наблюдая микрообъект, мы в результате этого наблюдения влияем на него. Причем это не обязательно относится лишь к электронам, фотонам и т.д. Это может быть и клетка, структуру которой мы наблюдаем флуоресцентным методом иммунного анализа и которую мы изменяем или даже убиваем таким воздействием. А с другой стороны, это означает, что поведение изучаемого микрообъекта имеет смысл только исходя из результатов измерений.

Следовательно, проявление квантового объекта в качестве или частицы, или волны будет зависеть от того, что и как мы измеряем. Поэтому волновой или корпускулярный характер квантовая частица приобретает лишь в глазах экспериментатора. Отметим, что и в классической физике измерения проводятся всегда с некоторой погрешностью. Математически процесс измерения определяется функцией:

$$F(y) = \int g(x-y)f(x)dx,$$

где $f(x)$ — истинное значение измеряемой величины, $g(x-y)$ — инструментальная функция измерительного прибора, $F(y)$ — измеряемая прибором физическая величина. В математике приведенное выражение называется сверткой. Лишь в идеале инструментальная функция $g(x-y)$ может описываться так называемой δ -функцией Дирака, и тогда $g(x-y)dx = 1$ и $F(y)$ и $f(x)$ совпадут. Однако в реальном процессе измерения этого нет и погрешность измерения тем больше, чем больше отличие $g(x-y)$ от δ -функции, т.е. искажение в измерениях тем больше, чем более «расплывчата» инструментальная функция. Другими словами, даже при обычных макроизмерениях мы находим какие-то параметры с некоторой вероятностью.

116

5.5. Волновая функция и принцип неопределенности В. Гейзенберга

В квантово-механических измерениях такой подход имеет принципиальное значение и связан с тем, что в микромире для частиц нет понятия траектории в обычном макроскопическом смысле. Взаимодействие электронов и фотонов с веществом выражается на языке вероятностей, т.е. можно лишь говорить о некоторой вероятности нахождения частицы с данным импульсом (скоростью, энергией) в какой-то части пространства. Точность этого измерения описывается *соотношением неопределенности Гейзенберга*, введенным им в 1927 г.:

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq h,$$

где h — постоянная Планка.

Физический смысл этого соотношения состоит в том, что в природе должен существовать принцип, ограничивающий возможности любых экспериментов (измерений). Применительно к квантово-механической частице это означает, что изменение импульса частицы Δp_x и изменение ее координаты Δx определены с точностью до величины кванта минимального действия h . Поэтому физики говорят, что одновременно точно измерить координату, импульс нельзя. Из соотношения неопределенности также следует, что, измеряя сколь угодно точно одну из величин, мы получаем неопределенность в другой, поскольку их произведение равно определенной величине. Таким образом, принцип неопределенности имеет *принципиально вероятностный характер* предсказания событий. Квантовая теория не может предсказать результат отдельного события, однако она с большой точностью дает средние значения для большого числа событий.

Мерой вероятности поведения квантовой частицы является введенная Шрёдингером в его уравнении так называемая *волновая функция* ψ , которая используется для вычисления вероятности того, что частицу можно обнаружить в данной точке. Сама функция ψ не имеет прямого физического смысла — это лишь математическая запись возможности (вероятности) определения, но сходная с понятием амплитуды волны. Было показано, что непосредственно измерить ее нельзя, можно измерить лишь интенсивность (физически она связана с энергией), которая пропорциональна квадрату модуля волновой функции $|\psi|^2$, или плотности вероятности. Поэтому квантово-механическая волновая функция ψ обретает реальное физическое содержание только в

117

Вольфганг Паули



В.Паули (1900—1958)— немецкий физик-теоретик, лауреат Нобелевской премии 1945 г. за открытие принципа запрета, называемого принципом Паули. Этот принцип в современном представлении формулируется так: две тождественные микрочастицы не могут находиться в одном квантовом состоянии. Он был затем обобщен на многие элементарные частицы и атомные ядра. Именно Паули был введен термин «нейтрон» как элементарной частицы, не несущей заряда и имеющей массу чуть больше массы протона. Он также предсказал существование нейтрино (название же придумал итальянский физик Э. Ферми — «маленькая нейтральная частица», уменьшительное от нейтрона — нейтрино).

виде $|\psi|^2$. Таким образом, плотность вероятности $|\psi|^2$ и дает распределение вероятности нахождения частицы в пространстве. Такой способ описания поведения частицы и принцип неопределенности Гейзенберга хорошо согласуются с корпускулярно-волновым дуализмом. Волну нельзя локализовать в пространстве, и поэтому любое измерение поведения частицы, проявляющей и волновые свойства, принципиально связано с неопределенностью. Принцип неопределенности Гейзенберга дает количественное выражение этой неопределенности.

Бор в 1928 г. обобщил и более широко трактовал принцип неопределенности Гейзенберга в своем принципе дополнительности, смысл которого в обобщенной формулировке состоит в том, что получение экспериментальной информации об одних физических параметрах неизбежно приводит к потере других, дополнительных параметров, которые характеризуют это же явление (эффект) с несколько другой стороны. В физическом смысле такими дополнительными друг к другу сущностями, помимо упомянутых координаты и импульса, могут быть волновое и корпускулярное проявления вещества или излучения, энергия и длительность события или измерения. Соотношение неопределенности для энергии и длительности измерения имеет вид:

$$\Delta E \cdot \Delta t \approx h,$$

118

где $\Delta E = E_2 - E_1$ — разность энергий в два различных момента времени, разделенных промежутком Δt . С точки зрения квантовой физики роль измерительного прибора состоит как бы в «приготовлении» квантового состояния (как — неясно: мифический «черный ящик»). Поэтому считают, что принцип дополнительности Бора объективно отражает поведение квантовых систем и не связан с существованием экспериментатора, проводящего измерения. Таким образом, квантово-механическая неопределенность, выражаемая через принцип неопределенности Гейзенберга, входит составной частью в более общий принцип дополнительности Бора.

Отметим, что современная теория строения атома также основана на квантово-механических представлениях; в частности, используя идею о свойствах электрона, Паули сформулировал принцип, позволяющий объяснить расположение электронов по оболочкам.

Классическое представление о планетарной модели атома и орбитах электронов было заменено волновой механикой и квантовой теорией элементарных процессов. Не будем останавливаться на физических деталях проблемы строения вещества. Они достаточно сложны для общего понимания нашего курса, но отметим только, что они хорошо описывают природу микромира и его закономерности и с ними можно ознакомиться по соответствующим физическим курсам.

5.6. Квантовая механика и обратимость времени

Сделаем одно общее замечание, касающееся упомянутых ранее свойств времени. Мы уже видели, что ни Ньютон, ни Эйнштейн в своих уравнениях движения формально не получили «стрелы времени», и тем самым «разрешили» вольно двигаться во времени. Оказалось, что так тонко построенная квантовая механика, правильно отражающая события в микромире, также не вносит ничего нового в понимание процессов времени при движении квантовых частиц. Вероятно, это связано с тем, что в квантовое уравнение движения Шрёдингера волновая функция ψ входит в квадрате и имеет реальный физический смысл как $|\psi|^2$.

Кроме того, согласно Эйнштейну гравитация проявляется в кривизне пространства—времени. Поэтому в квантовой теории

гравитации Вселенной структура пространства—времени и его кривизна должны флуктуировать, поскольку квантовый мир никогда не находится в покое и имеет вероятностный характер. Эти флуктуации не обнаруживаются в макромире из-за малой величины постоянной Планка $\hbar$, которая определяет область проявления квантово-механических свойств. В связи с этим последовательность событий, ход времени могут быть другими, чем в классической и релятивистской механиках. Вполне вероятно, что они еще не открыты.

5.7. Квантовая электродинамика

Результаты и идеи квантовой теории позволили построить новый раздел современной физики — о движении заряженных микрочастиц, учитывая их квантово-механическую природу, — квантовую электродинамику. Огромный вклад в эту физику внес Нобелевский лауреат Р. Фейнман. По существу, здесь рассматривается квантовая природа электромагнитного поля, и поскольку движение заряженных микрочастиц есть всеобщее явление природы, то можно сказать, что квантовая электродинамика описывает все явления физического мира, за исключением гравитации и радиоактивности. Эта теория проверялась в диапазоне размеров от ста диаметров Земли до одной сотой атомного ядра, и точность предсказаний была поистине потрясающей. Например, вычисленное на ее основе значение собственного магнитного момента электрона совпадает с полученной из эксперимента величиной до 10^{-6} . Чтобы оценить такую точность совпадения, как писал Р. Фейнман [142], надо измерить расстояние от Нью-Йорка до Лос-Анджелеса с точностью до толщины человеческого волоса!

Конечно, надо понимать, как указывает Р. Фейнман, что этот расчет относится к отдельным электронам и частицам, и не забывать о том, что их много и для их описания требуется вероятностный подход. Мы не будем дальше касаться квантовой электродинамики не только потому, что изучаем не физику, а современное естествознание, но и потому, что это потребует большого объема объяснений. Любознательные и пытливые могут почерпнуть массу интересного о ней в замечательных научно-популярных книгах Фейнмана, как будто специально написанных для иллюстраций могущества и торжества физики в

проблемах современного естествознания, и в его известных фейнмановских лекциях по физике. Это позволит оценить красоту (с научной точки зрения!) нашего прекрасного мира и вместе с тем получить физическое представление о мире, которое, по мнению Фейнмана, и составляет главную часть истинной культуры нашего времени. Однако уместно было бы привести и замечание редактора русского перевода фейнмановских лекций по физике Смородинского: *«В действительности выучить формулы и уравнения, пожалуй, легче, чем следовать физическим рассуждениям и понимать логику явлений природы, которая часто выглядит очень странной»*. Впрочем об этом говорил и сам Фейнман в своей нобелевской лекции в 1965 г. [142].

В заключение отметим, что физические явления в микромире подчиняются другим законам, чем в классической и релятивистской механике. Логично было бы спросить: может ли проявляться тяготение в микромасштабах? На этот вопрос могла бы ответить *квантовая теория гравитации*, но ее пока нет, поскольку нет теории тяготения, согласованной с квантово-механическими принципами и принципом неопределенности. Будем, тем не менее, оптимистами и вслед за С. Хокингом считать, что, несмотря на то что *«квантовая теория — это совершенно иная картина реальности, которую даже специалисты понимают не очень хорошо, современные парадоксы этой теории будут*

восприниматься детьми наших детей как самые общие понятия».

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое корпускулярно-волновой механизм?
2. В чем состоит гипотеза Луи де Бройля?
3. Как надо понимать квантовую гипотезу Планка? Каков физический смысл постоянной Планка?
4. Какие экспериментальные подтверждения квантовой гипотезы Вы знаете?
5. Приведите примеры проявления дискретных и вероятностных свойств вещества и поля.
6. В чем заключается универсализм принципа дополнительности в современном естествознании?
7. В чем состоит физический смысл волновой функции?
8. Каким уравнением описывается движение квантово-механических частиц?
9. Вытекает ли из уравнения Шрёдингера однонаправленный ход времени? Почему?
10. Почему нельзя применить классическую механику для описания поведения частиц в микромире?
11. В чем проявляется вероятностный характер физических законов микромира?

ЛИТЕРАТУРА

[3](#), [8](#), [19](#), [26](#), [56](#), [104](#), [141](#).

121

Глава 6. ФИЗИКА ВСЕЛЕННОЙ

*Самое удивительное в природе -
что то, что мы можем ее понять.*

А. Эйнштейн

Чем постижимей становится Вселенная, тем она кажется бессмысленней.

С. Вайнберг

Человек с давних пор интересовался устройством Вселенной. Звезды притягивали к себе наших предков, заставляли смотреть на них с удивлением и трепетом. Физика добилась больших успехов в изучении макроскопических и микроскопических свойств природы, однако понимание и объяснение свойств Вселенной в целом происходило не так уверенно. Извечные вопросы, которые всегда волновали человечество, во многом не разрешены до сих пор. Как возникли звезды, планеты, вся Вселенная? Как развивалась эта Вселенная в прошлом, куда движется в настоящем и что ее ждет в будущем? На некоторые вопросы мы можем ответить сейчас, другие ждут своего ответа. Но каждый шаг вперед ставит также и новые вопросы, раздвигая области неведомого. Сколько вещества во Вселенной? Существуют ли во Вселенной другие виды материи? Неизвестна природа странных объектов, излучающих фантастическое количество энергии из дальнего Космоса. И так далее...

Тем не менее к настоящему времени сложились определенные научные представления о происхождении и эволюции Вселенной. Одним из основных затруднений при изучении астрономических и космологических явлений и объектов является то, что над ними нельзя провести контрольных экспериментов. Можно наблюдать лишь естественный ход событий. Поэтому поразительным является не безграничное разнообразие наблюдаемых астрономических событий, а возможность, анализируя эти явления, делать выводы относительно эволюции звезд и галактик на протяжении миллиардов лет.

Остановимся на физических основаниях космологии и астрофизики. Предметом космологии является изучение строения, происхождения и эволюции Вселенной как целого. Поэтому космология связана с общей теорией относительности (ОТО), поскольку во Вселенной приходится иметь дело с огромными расстояниями, скоростями и огромными массами.

122

6.1. Космологическая модель А. Эйнштейна — А.А. Фридмана

Первая современная космологическая теория была предложена Эйнштейном в 1917 г. в качестве следствия его формулировки ОТО. Эйнштейн показал, что ОТО однозначно объясняет возможность существования статической Вселенной, которая не изменяется со временем. Как мы сейчас понимаем, этого не может быть, но в то время казалось, что это важный успех ОТО. Этот парадокс, по-видимому, был связан с тем, что еще из представлений ученых Древней Греции и Египта утвердилось мнение о незыблемости, стационарности Вселенной, и модель Эйнштейна как будто подтвердила это. Однако уже

Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

в 1922 г. А. Фридман [142] показал, что из самих уравнений общей теории относительности следует нестационарность, т.е. развитие Вселенной. Обосновывая в 1917 г. ОТО, А. Эйнштейн ввел понятие космологического члена λ (постоянной) как раз для обоснования статичности его модели Вселенной, о чем, я думаю не без влияния А. Фридмана, в 1923 г. писал: *«Прочь космологическую постоянную!»* По свидетельству Г. Гамова А. Эйнштейн считал *«введение космологической постоянной самой грубой ошибкой своей жизни»*.

Космологическая постоянная была не чем иным, как приемом, который студент-первокурсник назвал бы «коэффициент вранья» — абсолютно субъективной подгонкой к тому объективному решению, которое ему хочется получить. Этот «коэффициент» позволил его уравнениям дать желаемый А. Эйнштейну результат.

А. Фридман утверждал, что искривленное пространство не должно быть стационарным, оно должно или расширяться, или сжиматься. И Эйнштейн вынужден был публично согласиться с выводами Фридмана.

К сожалению, работы Фридмана, в частности его книга «Мир как пространство и время», умалчивались вплоть до последнего времени, а автором теории расширяющейся Вселенной объявили аббата Ж. Леметра, президента папской академии наук в Ватикане. В значительной мере это связано с идеологической компанией, развернутой в СССР в 30—50-е годы [129]. Стационарная, бесконечная в пространстве и времени Вселенная фигурировала и в философии Канта, Гегеля и Энгельса и была «узаконена» марксистско-ленинской философией. Все другие представления были объявлены ошибочными и лженаучными, в том числе и сама ОТО Эйнштейна.

123
Через какое-то время теория расширяющейся Вселенной была подтверждена экспериментально. Из оптических наблюдений звезд было установлено, что кроме нашей Галактики, звездного скопления в виде Млечного пути, существует огромное количество других галактик. Как показано в главе 4, по смещению световых лучей к красному концу видимого спектра можно определить скорость движения объекта относительно наблюдателя. В более общем виде — это так называемый эффект Доплера при распространении волны любой природы и движении источника этой волны относительно наблюдателя. Например, звуковой сигнал движущегося поезда относительно неподвижного наблюдателя на платформе будет выше, когда поезд приближается к нам. И ниже, когда он от нас удаляется. С помощью эффекта Доплера экспериментально наблюдали и измеряли радиальные движения (от нас или к нам) отдельных звезд, а затем и галактик. Было установлено, что если звезда движется к нам, то спектральные линии смещаются к фиолетовому концу спектра, если от нас — то к красному концу.

При анализе изучения далеких галактик получили удивительный результат: у всех галактик наблюдали красное смещение! Поэтому можно считать, что они удаляются от нас. Причем величина этого красного смещения и, следовательно, скорость разбегания галактик — больше для более удаленных галактик (что само по себе чрезвычайно удивительно, и до сих пор причина этого не выяснена). Американский астроном **Э. Хаббл (1889—1953)** установил в 1929 г. закон:

$$V = Hr,$$

где V — лучевая скорость, r — расстояние до объекта, H — постоянная Хаббла, равная $\sim (3 - 5)10^{-18} \text{ с}^{-1}$ и названная так в его честь. Этот закон экспериментально подтвердил расширение Вселенной. Из H можно определить возраст Вселенной ($t \sim 1/H$), который оценивается в 10—20 миллиардов лет. По данным радиоактивного распада некоторых веществ **возраст Земли определяется в 5 миллиардов лет.**

Если все галактики удаляются от нас, то возникает вопрос: не занимаем ли мы особого положения во Вселенной? Простой физический опыт не дает оснований полагать, что это так. Предположим, что мы надуваем воздушный шарик, на поверхности которого равномерно нанесены пятнышки. По мере того как шарик будет раздуваться, наблюдателю, находящемуся на одном из

124
пятнышек, будет казаться, что все другие пятнышки удаляются от него. Более того, ему будет казаться, что более далекие пятнышки удаляются значительно быстрее, чем те, которые расположены близко. Такие же результаты получаются, естественно, при наблюдении с любого другого пятнышка. Таким образом, при однородном расширении будут увеличиваться все расстояния между пятнышками. Поэтому измерение красного смещения обычно трактуется как очевидное доказательство того, что Вселенная расширяется. Так как расширение, по-видимому, происходит равномерно во все стороны, Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

то «центра» Вселенной явно выделить нельзя. Естественно, остается много вопросов: почему Вселенная расширяется, будет ли она расширяться дальше или сожмется? Конечно она или бесконечна? Как образуются галактики, из чего состоят? И т.д.

6.2. Другие модели происхождения Вселенной

В историческом аспекте первыми моделями Вселенной были модели Солнечной системы, в центре которой располагалась неподвижная Земля, неподвижная сфера со звездами и подвижные 5 планет, Солнце и Луна. Затем Аристарх Самосский в III в. до н. э. предложил гелиоцентрическую систему, возрожденную польским священником Н. Коперником в 1514 г. Сюда же можно отнести и античную систему Птолемея, согласно которой за последней сферой располагались ад и рай. Кстати, «модернизацией» этой модели занимались и **И. Кеплер (1571—1630)** (эллиптические орбиты вместо круговых) и Г. Галилей. Все это продолжалось до появления законов Ньютона в небесной механике в XVIII в. Уже в это время (а идеи Джордано Бруно еще ранее — в XVI в.) возникли представления о бесконечной Вселенной. В XIX в. они развились в представления о бесконечной в пространстве, но неизменной во времени Вселенной. Это была стационарная космологическая модель, которая по сути близка статической Вселенной Эйнштейна.

Предполагалось, что пространство — абсолютно, однородно и изотропно, а время — абсолютно и однородно, т.е. использовались «строительные материалы» классической механики и евклидовой геометрии. Это устраивало теологический подход к пониманию мира: система мира без начала и конца, как в пространственном, так и во временном понимании. Бог создал — и все! С материалистической точки зрения можно предположить,

125 что Бог в теологии — это и есть пространство и время в физике. Получалось, что мир в целом не эволюционирует. Пространство и время представлялись как жесткий каркас (они же абсолютные!) и не участвовали в процессах, т.е. рассматривались как параметры. Выражаясь на языке гуманитариев, можно сказать — оставались «равнодушными» на такой сцене жизни. Заметим при этом, что если неизменность пространства и времени вызывала некоторый дискомфорт, то бесконечность мира частично это неудобство сглаживала. Можно даже сказать, что стационарная модель мира выполняла как бы роль стыковочного узла между культурами Запада (рационализм) и Востока (мистицизм). Как мы уже знаем, в СТО и ОТО Эйнштейн предположил, что пространство и время не абсолютны, а относительны и связаны между собой, причем скорость передачи взаимодействия конечна и равна скорости света c . Было показано, что геометрия пространства и времени не является евклидовой и определяется наличием материи в данной области. Пространство и время приобретают динамические свойства, им приписывается кривизна, которая влияет на характер движения тел в данной области и которая сама зависит от наличия и движения тел. Пространство и время уже не «равнодушная» сцена событий, а активные участники, влияющие на события, регулирующие их.

В настоящее время существует много космологических концепций, и нельзя, естественно, сказать, что уже установлена истина в последней инстанции, учитывая еще указанную сложность астрофизических и космологических экспериментов.

6.2.1. Модель Большого Взрыва

Однако одна из уже современных таких теорий — теория Большого Взрыва (Big Bang) смогла к настоящему времени объяснить почти все факты, связанные с космологией.

В основе этой теории лежит предположение, что физическая Вселенная образовалась в результате гигантского взрыва примерно 15—20 миллиардов лет назад, когда все вещество и энергия современной Вселенной были сконцентрированы в одном сгустке с плотностью свыше 10^{25} г/см³ и температурой свыше 10^{16} К. Такое представление соответствует модели горячей Вселенной. Модель Большого Взрыва (БВ) была предложена в 1948 г. нашим соотечественником Г. А. Гамовым.

Возвращаясь к сгустку перед БВ, отметим, что неизвестно достоверно, как этот сгусток образовался. Из чего? И откуда взя-

126 лось такое гигантское количество изначальной энергии? Тем не менее огромное радиационное давление внутри этого сгустка привело к необычайно быстрому его

расширению — Большому Взрыву. Составные части этого сгустка теперь образуют далекие галактики, очень быстро удаляющиеся от нас. Мы наблюдаем их сейчас такими, какими они были примерно 10—14 млрд лет назад. Таким образом, расширение Вселенной оказывается естественным следствием теории Большого Взрыва. Заметим здесь, что открытие расширяющейся Вселенной и принятие научным сообществом этого факта можно считать огромным мировоззренческим прорывом в интеллектуальном мире.

Г. А. Гамов также предположил, что все элементы Вселенной образовались в результате ядерных реакций в первые моменты после БВ. Дальнейшие уточнения этой теории показали, что ядерные реакции действительно имели место, но привели только к образованию гелия. Спектр гелия наблюдали в солнечном излучении до того, как он был обнаружен на Земле, отсюда и название этого элемента происходит от греческого Гелиос — Солнце. Современные методы анализа излучения звезд и галактик показали, что почти все они состоят из водорода (~60%) и гелия (~20%). Лишь малая часть водорода и гелия содержится в звездах, остальное количество распределено в межзвездном пространстве. В звездах, где температура исключительно велика, атомы полностью ионизированы и составляют высокотемпературную плазму. В межзвездном пространстве водород и гелий находятся в основном в атомарном состоянии. Таким образом, теория БВ согласуется с наблюдаемой распространенностью гелия во Вселенной.

Рассмотрим вариант образования сгустка первовещества. Предполагается, что эти межзвездные атомы водорода и гелия служат сырьем для образования новых звезд. Заметим, что распределение газа в межзвездном пространстве неоднородно. Средняя концентрация вещества в нашей Галактике ~ 1 атом/см³, однако имеются сильные флуктуации. Эти флуктуации плотности объясняются хаотическим движением атомов в пространстве. Случайно плотность вещества в определенной области может существенно превысить среднюю. При этом предполагается, что если количество вещества превысит в какой-либо области критическое значение, порядка 1000 солнечных масс, то в этой области возникают достаточно сильные гравитационные поля, способные противостоять разлету газового облака и стремящие-

Георгий Антонович Гамов



Г.А.Гамов (1904—1968) родился в Одессе в семье учителей. Отец его А. М. Гамов был учителем литературы, его учеником, кстати, был Л. Д. Троцкий (Бронштейн). Учился в Одесском, а затем Петербургском университете, где его руководителем был известный уже нам А.А.Фридман (1888—1925). К 26 годам он уже был признан одним из крупнейших специалистов в области теоретической и ядерной физики. Он разработал теорию α распада. С 1934 по 1968 г. работал в США над проблемами космологии, в том числе ядерных источников энергии звезд. С 1948 г. участвовал в создании американской водородной бомбы. С последним обстоятельством связана любопытная история. Во время пребывания в Петрограде 20-летнего Гамова привлекли к чтению лекций по физике в артиллерийской школе, где, по положению, лектор должен был иметь звание полковника. И Гамов стал им, получив соответствующую амуницию, буденовку (которую тогдашние острословы называли «умоотводом») и четыре «шпалы» в петлицы. С присущим ему юмором Г. А. Гамов рассказывает в своей книге [47], какую панику вызвало его сообщение у официальных лиц, проверявших политическую благонадежность физиков, привлеченных к работе в Лос-Аламосе, в связи с разработкой проекта создания американской водородной бомбы, что он был полковником Красной Армии! Тем не менее в 1948 г. он все же был привлечен к секретным работам в этой области, где ключевой фигурой был венгерский физик-теоретик **Э. Теллер**, которого, еще совершенно неизвестного специалиста по молекулярной химии, Гамов в 1935 г. пригласил на свою кафедру теоретической физики в Вашингтонском университете.

Теллер (р. 1906) в своей автобиографической книге *«высоко ценил Джорджа Гамова, своего коллегу по университету Вашингтона, который дал начало по теоретическим работам в США, приведшим в конечном итоге к самому большому взрыву, осуществленному когда-либо по воле человека»*. Как отмечал А. Д. Чернин, роль Г. А. Гамова в развертывании ядерной программы США, известной как Манхэттенский проект, так же, как,

128

кстати, и Эйнштейна, несмотря на то, что последний, по существу, письмом к президенту Рузвельту стал инициатором этой программы, не очень ясна. По-видимому, конкретного участия они в работе не принимали по «соображениям безопасности». Относительно Эйнштейна это могло быть связано с опасением, что он со своим огромным престижем мог вмешаться в политический вопрос ее использования. Кроме того, как личность он был уж очень необычен для спецслужб — странный чудаковатый в жизни, плюс мировая слава, плюс возможность прямого общения с президентом страны. Да еще репутация безбожника, а то и вовсе коммуниста.

В известной степени это относится и к Г. А. Гамову: он тоже считался чудаком с мировой славой, да еще к тому же он был русским. Тем не менее к концу своей жизни в 1968 г. к числу своих значимых результатов Гамов относил и *«формулы, использованные для расчетов водородной бомбы»*, и добавлял в своей обычной остроумной манере, что его главным вкладом в американскую водородную бомбу было то, что он перетащил Теллера в Америку. Физика была для него удовольствием. Он обожал физику до такой степени, которая доступна лишь немногим, и более того, умел сообщать это чувство наслаждения и воодушевления своим книгам и лекциям, адресованными как ученым, так и всем интересующимся наукой. Еще в 30-е годы прошлого столетия в Петербургском университете сложилась группа блестящих молодых теоретиков (Г. А. Гамов, Л. Д. Ландау, Д. Д. Иваненко, А. И. Ансельм, М. Г. Бронштейн, В. А. Амбарцумян, В. А. Кравцов), среди которых на главных ролях был Г. А. Гамов, ставший в 1932 г. самым молодым членом-корреспондентом АН СССР. Как отмечал А. Д. Чернин, «они преданно и горячо любили физику и она отвечала им взаимностью». В 1934 г. Гамов эмигрировал на Запад, и по сему поводу, естественно, до последнего времени [163] замалчивался

советской официальной наукой. До конца 80-х гг. имя Г. А. Гамова встречалось только в специальной научной литературе, и лишь прекрасные книги и обзоры В. Я. Френкеля и А. Д. Чернина, посвященные Г. А. Гамову, в 1992—1994 гг. справедливо заполнили этот пробел. В то же время ему принадлежат, по крайней мере, три научных результата «нобелевского ранга»: модель БВ, предсказание температуры реликтового излучения и генетического кода ДНК. Кроме того, он был отличным популяризатором науки и опубликовал более 20 прекрасных научных книг.

129

ся сжать его до возможно меньших размеров. Тогда возникает гипотеза: образование из межзвездной пыли сгустка, гигантское уплотнение и взрыв.

6.2.2. Реликтовое излучение

Наиболее важным подтверждением теории БВ является обнаружение реликтового излучения (РИ), как раз и связанного, по-видимому, с существованием первоначального сверхплотного сгустка вещества и излучения. Название «реликтовое излучение» ввел отечественный астрофизик **И. С. Шкловский (1916—1985)**. Первоначально оно обладало огромной энергией, но расширение и охлаждение сгустка привели к тому, что излучение также «остыло» и энергия квантов уменьшилась, т.е. возросла длина их волны. Это фоновое излучение и сейчас существует во Вселенной, но теперь уже в виде радиоволн, микроволнового и инфракрасного излучения. Температуру реликтового излучения рассчитал Г. А. Гамов. Она составляет около 3 К, согласно современным данным 2,74 К. В последние годы экспериментально обнаружена анизотропия (неравномерность) реликтового излучения, которую связывают с неоднородностями распределения материи и наличием слабых возмущений.

Рассматривая такой сгусток вещества и излучения, мы должны понимать, что его нельзя рассматривать как бы со стороны, с далекого расстояния, и считать, что он расширяется по направлению к нам (или от нас). Сгусток есть не что иное, как сама Вселенная, и Земля находится внутри него. Внутри же сгустка при расширении его все остальное вещество во Вселенной движется в направлении от Земли (вспомним шарик с пятнышками) или от любого куска вещества в сгустке. Поэтому излучение сгустка бомбардирует Землю со всех сторон. Любой наблюдатель во Вселенной должен регистрировать это излучение с равной интенсивностью с любого направления в пространстве.

Так как расширение продолжается $\sim 14 - 20 \cdot 10^{10}$ лет, то согласно теории огромная начальная температура уменьшилась к настоящему времени до средней температуры Вселенной — порядка 3 К. Максимум в распределении длин волн, соответствующий излучению источника с такой температурой в 3 К, должен приходиться на длину волны 0,1 см. Это означает, что если теория БВ верна, то должны экспериментально наблюдаться два эффекта: спектр излучения Вселенной должен соответствовать равновесному излучению при 3 К, и это излучение должно при-

130

ходить с равной интенсивностью с любого направления в пространстве, т.е. быть изотропным.

Начиная с 1965 г. были проведены многочисленные измерения, обнаружившие космические радиоволны с малой энергией, которые можно интерпретировать как равновесное излучение остывшего, но все еще расширяющегося сгустка, причем с длиной волны, соответствующей $T = 3$ К. Любопытно, что это открытие произошло в известном смысле случайно. Его сделали американские радиоастрономы А. Пензиас и Р. Вильсон, которые ничего не слышали о предсказании теории Г. А. Гамова, и цель их работы не была связана с космологией. А. Пензиас и Р. Уилсон использовали для излучения радиационных характеристик космологического пространства так называемую рожковую антенну, первоначально сконструированную для системы связи через американский спутник «Эхо». Эта специальная антенна принимала радиосигналы только из небольшого участка неба, на который она направлена. Они обнаружили, что независимо от направления антенны в принимаемом сигнале присутствовала существенная по величине энергия, соответствующая микроволновому участку спектра и температуре около 3,5 К. Все выглядело так, как если бы вся Вселенная была пронизана этим микроволновым фоном. Тем не менее значение их наблюдений стало общепризнанным и они в 1968 г. получили Нобелевскую премию. Это было самое крупное наблюдательное открытие в космологии со времени обнаружения Хабблом в 1929 г. явления разбегания галактик. Оно резко изменило статус космологии как

фундаментальной науки (ранее к ней относились как к достаточно абстрактной и умозрительной: *«повсюду считалось, что изучение ранней Вселенной это не та задача, которой должен посвящать свое время уважающий себя ученый»* [23]) и изменило отношение к трудам А. А. Фридмана и Г. А. Гамова. Таким образом, были получены некоторые экспериментальные доказательства справедливости теории БВ. И. М. Дмитриевский связывает поток реликтового излучения с ходом времени, или потоком времени, по Н. А. Козыреву, который, согласно его гипотезе, является источником звездной энергии.

6.2.3. Расширяется или сжимается Вселенная?

Если считать, что эксперименты подтверждают нынешнее расширение Вселенной, то будет ли она продолжать расширяться и дальше? ОТО предполагает следующий ответ на этот воп-

131
рос. Считается, что существует некая критическая масса Вселенной. Если действительная масса Вселенной меньше критической, гравитационного притяжения вещества во Вселенной будет недостаточно, чтобы остановить это расширение, и оно будет идти и дальше. Если же действительная реальная масса больше критической, то гравитационное притяжение в конце концов замедлит расширение, приостановит его и затем приведет к сжатию. В этом случае Вселенную ожидает коллапс, в результате которого вновь образуется сгусток, возникнут условия для нового Большого Взрыва и последующего потом расширения. Следовательно, Вселенная может пульсировать между состояниями максимального расширения и коллапса. Это и есть модель пульсирующей Вселенной.

Что дают эксперименты? Они, конечно, очень не простые, скорее оценочные, т.к. кроме определения массы Вселенной в виде вещества и энергии, в звездах, галактической пыли и газе, необходимо учитывать вещество и в межгалактическом пространстве. Прямые эксперименты затруднены тем, что межгалактический водород почти полностью ионизован излучением галактик и квазизвездных объектов (квазаров). Поэтому для регистрации ионизированного водорода необходимы рентгеновские методы измерения и вне пределов атмосферы Земли, чтобы избежать поглощения. Как показывают измерения с помощью ракет и спутников, а также предварительные расчеты, полная масса Вселенной с учетом межгалактического вещества значительно превышает критическую. Это означает, что модель пульсирующей Вселенной как будто подтверждается. Получается, что мы живем в такой Вселенной, которая взрывается, расширяется и снова сжимается примерно каждые 80 миллиардов лет.

Рассмотрим предполагаемый сценарий поведения горячей Вселенной, расширяющейся после своих родов во время Большого Взрыва. Известный наш теоретик, занимавшийся в том числе и астрофизикой, Я. Б. Зельдович (1914—1987) заметил, что теория БВ в настоящий момент не имеет сколько-нибудь заметных недостатков. По его мнению, она столь же надежно установлена и верна, сколь верно то, что Земля вращается вокруг Солнца. Обе теории занимали центральное место в картине мироздания своего времени и обе они имели много противников, утверждавших, что новые идеи, изложенные в них, абсурдны и противоречат здравому смыслу. Однако вспомним определение Эйнштейном здравого смысла!

132
Успех модели расширяющейся Вселенной связан не только с экспериментальными подтверждениями, о которых мы говорили ранее, но и с тем, что, как оказалось, физикой микромира, в том числе с помощью физики элементарных частиц, можно непротиворечиво объяснить поведение «ранней» Вселенной, после 0,01 с от БВ. Поэтому в этой главе рассмотрим далее кратко имеющиеся представления о физике элементарных частиц. Недавно возникла новая наука — космомикрофизика. В космомикрофизике объединяются не только космологические модели Большого Взрыва, расширяющейся и пульсирующей Вселенной, а также и физика фундаментальных частиц, но и понятия устойчивости—неустойчивости материи, ее симметрии—асимметрии, самоорганизации и эволюции. И модель горячей Вселенной представляет ее как котел кипящих элементарных частиц.

6.2.4. Сценарий развития Вселенной после Большого Взрыва

Рассмотрим один из многих возможных сценариев развития событий по модели БВ и Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

горячей Вселенной. Сразу после БВ Вселенная представляла собой сингулярность — область с очень высокой плотностью энергии из элементарных квантов электромагнитного излучения огромных энергий со взаимными превращениями. Приблизительно через 1 с Вселенная стала расширяться с уменьшением плотности и температуры. При предполагаемых громадных плотностях ($\sim 10^{25}$ г/см³) и температурах ($\sim 10^{16}$ К) вещество состояло только из элементарных частиц — протонов и нейтронов. Частицы движутся так быстро, что при столкновениях образуются парами новые частицы (частица—античастица). Чем выше температура Вселенной, тем более тяжелые частицы могут рождаться при столкновениях. В этом сценарии взаимосвязь между плотностью, абсолютной температурой и временем жизни Вселенной выражается формулами:

$$\rho = \frac{800\,000}{t^2},$$

$$T = \frac{10^{10}}{t},$$

где ρ (г/см³) — среднее значение плотности материи во Вселенной в момент времени t (с) от начала расширения; T — в Кельвинах.

133

Предполагается, что качественный состав элементарных частиц, образовавших новую Вселенную, менялся при ее расширении. Когда Вселенной «исполнилось» 10^{-43} с, все фундаментальные взаимодействия в Природе были объединены и имели одинаковую интенсивность. Через 10^{-23} с возникли тяжелые фундаментальные частицы — кварки и антикварки. По мере уменьшения температуры и роста времени за счет аннигиляции число пар этих тяжелых частиц уменьшилось, затем они быстро исчезали. Далее еще через 10^{-2} с после БВ наступает время легких частиц (лептонов). Вселенная как бы «омолодилась» и практически состояла из лептонов и излучения (квантов). Затем от ~ 1 до 10 с Вселенная, продолжая расширяться, потеряла и эти частицы, которые при аннигиляции превратились в фотоны. Этим фотонам же не хватало энергии, чтобы образовать электрон-позитронную пару, поэтому излучение преобладало над веществом (эпоха излучения).

Через приблизительно 100 с после БВ температура Вселенной упала до 10^9 К, и скорости оставшихся протонов уменьшились настолько, что за счет ядерных сил притяжения они начали соединяться в ядра легких элементов, в основном гелия, затем лития и бериллия. По прошествии нескольких часов после БВ образование этих ядер закончилось. Этот период эволюции называется временем нуклеосинтеза. Далее в течение миллионов лет Вселенная продолжала расширяться и охлаждаться. При этом энергии фотонов были значительно больше сил связи электронов и ядер, и поэтому атомы не могли образоваться. Затем при уменьшении температуры до 10^4 К энергия электромагнитного притяжения ядра и электрона стала больше энергии фотонов, и тогда начали образовываться атомы. Фотоны перестали взаимодействовать с веществом, как говорят космологи, — Вселенная стала прозрачной. С момента БВ до наших дней реликтовое излучение заполняет нашу Вселенную. За это время температура упала с 10^4 К до 3 К в наше время. Это и есть *реликтовое излучение* (РИ), о котором мы уже говорили. Таким образом, РИ несет информацию о молодой Вселенной, когда ей исполнился «всего» 1 миллион лет.

Теперь в рамках модели расширяющейся Вселенной можно построить схему физической истории Вселенной (рис. 6.1).

В начальный период времени прозрачная Вселенная была однородным «бульоном» из элементарных частиц, ядер, атомов и

134

Рис. 6.1. Схема физической истории Вселенной.



фотонов. Затем флуктуационно возникают области, где плотность материи несколько выше. Это, в свою очередь, приводит к увеличению гравитации в этих областях, а значит, к отставанию этих областей от общего темпа расширения Вселенной. Атомы и частицы в этих областях за счет уменьшения объема испытывали большое число столкновений, газ разогревался, возникали термоядерные реакции. Давление внутри области возрастало, область переставала сжиматься.

Сценарий БВ в целом оправдывает доверие научного мира, за исключением первых мгновений эволюции Вселенной, но не может объяснить конкретную причину БВ — причину «первотолчка», не дает ответа, почему мощность взрыва была именно такой, какой была, — не больше, и не меньше. Теория не может также объяснить причину крупномасштабной однородности Вселенной, но одновременно в меньших масштабах допускает наличие в прошлом отклонений от однородности, которые и привели впоследствии к возникновению галактик. При этом предполагается, что расширение происходит с большой степенью однородности и изотропности, а удаленные друг от друга неоднородности причинно между собой не связаны.

135

6.2.5. Модель раздувающейся Вселенной

Частично эти вопросы снимает еще одна современная модель — сценарий раздувающейся Вселенной (РВ). Раздувание идет экспоненциально, со скоростью, значительно большей скорости света. Объяснение этому парадоксальному выводу таково, что это был еще не наш мир со стандартным набором мировых констант, а сингулярность с квантовой гравитацией. Это модель хаотического раздувания в период времени от 10^{-43} до 10^{-32} с, и она носит также название «инфляционной Вселенной». Суть ее в том, что внутри быстро расширяющейся, перегретой Вселенной небольшой участок пространства охлаждается и начинает расширяться сильнее, подобно тому как переохлажденная вода стремительно замерзает, расширяясь при этом. Это фаза быстрого расширения позволяет устранить некоторые проблемы, присущие стандартным теориям БВ. Поскольку раздувающаяся, расширяющаяся Вселенная является принципиально открытой системой, то о возрастании энтропии в ней говорить не имеет смысла и тем самым снимается проблема тепловой смерти Вселенной. Эта модель связана с понятием вакуума. Согласно этим идеям Вселенная начала свою жизнь из состояния вакуума, лишённого вещества и излучения. Заметим, что проблема вакуума сейчас становится одной из центральных в физике.

По современным представлениям вакуум — особый тип физической реальности, наиболее фундаментальное состояние материи, особое «ничто», скрытое бытие, потенциально содержащее всевозможные виртуальные частицы и при сообщении энергии этому вакууму из него можно извлечь любые реальные частицы и объекты, в том числе не только нашу Вселенную, но и другие Вселенные. Как показывают теоретики, в вакууме происходит нарушение симметрии и поэтому виртуальные частицы, которые там могут быть и вылетать из него, тоже асимметричны. В синергетическом понимании эти виртуальные элементарные частицы являются продуктами самоорганизации физического вакуума. Считается, что в вакууме вместе с увеличением плотности энергии возникают

натяжения подобно тем, что возникают в твердом теле при деформации. Эти натяжения адекватны отрицательному давлению, которое и может служить первотолчком, приведшим к раздуванию. В одной из моделей вакуума предполагается, что вакуум как бы перегретая жидкость и явля-

136

ется резервуаром энергии, которая как раз и может реализоваться затем в резком и за короткое время расширении, раздувании Вселенной. Это и есть так называемая инфляционная модель образования нашей Вселенной. В этой модели предполагается и подтверждается данными наблюдательной астрономии последних лет, что Вселенная родилась 15—18 миллиардов лет назад из вакуума путем спонтанного (самопроизвольного) нарушения его симметрии. Получается, что Вселенная как бы самозародилась. Конечно, это выглядит несколько парадоксально: чем не Божественное сотворение Мира?

Вот, что говорил по этому поводу упомянутый уже нами Я. Б. Зельдович: *«Понятие классической космологической сингулярности должно быть существенным образом заменено квантово-гравитационным процессом, описывающим рождение нашего мира. Предполагается, что в начальном состоянии не было ничего, кроме вакуумных колебаний всех физических полей, включая гравитационное. Поскольку понятия пространства и времени являются существенно классическими, то в начальном состоянии не было реальных частиц, реального метрического пространства и времени. Считаем, что в результате квантовой флуктуации и образовалась трехмерная геометрия... Кроме того, на этой стадии из вакуумных флуктуаций негравитационных полей рождаются флуктуации плотности вещества, которые значительно позже, в близкую нам эпоху, приводят к образованию скоплений галактик, нашей Галактики, звезд и в конечном итоге планет и самой жизни».*

Стоит также отметить, что модель раздувающейся Вселенной еще раз обращает нас к глобальной мировоззренческой проблеме — проблеме множественности миров. В частности, один из создателей этой модели РВ А. Д. Линде отмечает: *«Привычный взгляд на Вселенную как на нечто в целом однородное и изотропное сменяется представлением о Вселенной островного типа, состоящей из многих локально-однородных и изотропных минувселенных, в каждой из которых свойства элементарных частиц, величина энергии вакуума и даже размерность пространства могут быть различными»* [86].

В этом смысле можно уже по другому взглянуть на проблему жизни «разумных» существ в других Вселенных. Исходя из развитых выше соображений, они могут иметь совершенно иные физические свойства и взаимодействовать (говорить) на совер-

137

шенно других языках без принципиальной возможности перевода. И дело здесь не в изменении нашего мышления для понимания другой Вселенной, а в изменении структуры, пространственной ориентировки, размерности материального мира, носителя мышления, т.е. нас самих, и все это без представления, как это сделать! Можно отметить, что, может быть, поэтому свернута программа СЕТИ поиска связи с другими «разумными» цивилизациями. Нужны иные принципиальные подходы, до которых человечество на Земле, видимо, не доросло. Но, как сказал Б. Паскаль, *«вечное молчание этого бесконечного пространства (Вселенной) потрясает меня».*

6.3. Современные представления об элементарных частицах как первооснове строения материи Вселенной

Рассмотрим теперь, из чего же состоит вещество Вселенной, из чего состоял тот сгусток, который и привел к Большому Взрыву? Согласно космомикрофизике материю Вселенной составляют элементарные частицы как наименьшие структурные единицы вещества. Развивая далее атомистическую модель Левкипа — Демокрита о том, что весь мир состоит из атомов, на современном уровне, мы уже должны говорить, что он состоит из взаимодействующих элементарных частиц. Сама идея атомизма, дискретности, квантованности материи со времен Левкипа (V в. до н.э.) и его ученика Демокрита совпадает с одним из главных современных представлений о материи. Американский физик-теоретик В. Фейнман считал, что атомистическая гипотеза: «все тела состоят из атомов — маленьких телец, которые находятся в непрерывном движении, притягиваются на небольшом расстоянии, но отталкиваются, если одно из них плотнее прижать к другому» — имеет такое важное значение не только для человечества, но, может быть, и для «наших братьев по разуму» во Вселенной, что именно ее следует взять

с собой в Космос, если в будущем человеку предстоит забыть все остальные знания. Как уже указывалось, во времена Аристотеля предполагались четыре основные субстанции — земля, воздух, огонь и вода. Все сущее состояло из этих своего рода первооснов.

138

В дальнейшем к началу 30-х годов XX в. наука смогла дать более приемлемое научное описание строения вещества на основе четырех видов стабильных элементарных частиц: протонов, нейтронов, электронов и фотонов. Изучая их с помощью законов квантовой механики, удалось объяснить природу химических элементов, их классификацию (таблица Д. И. Менделеева), образование различных соединений и излучений. Добавление к ним пятой частицы нейтрино, постулированного Паули из-за необходимости сохранения момента импульса при β распаде, позволило объяснить процессы радиоактивного распада. Поэтому вначале казалось, что названные элементарные частицы и являются как бы основными кирпичиками мироздания. Однако, к сожалению, приятная простота вскоре исчезла. Не прошло и года с открытия нейтрона (Чадвик, 1931), как был обнаружен позитрон, предсказанный П. Дираком в 1928 г. Его релятивистское уравнение может описывать как электрон с обычным отрицательным зарядом (e^-), так и положительный электрон (e^+).

Предсказанный Дираком позитрон в дальнейшем, в 1932 г., был экспериментально обнаружен Андерсеном. Впоследствии сначала в природных космических лучах, а затем и в построенных ускорителях были обнаружены μ мезоны, π мезоны и другие частицы. Таких частиц сейчас насчитывается уже около трех сотен.

Релятивистской квантовой теорией было установлено, что почти любой элементарной частице соответствует античастица в том смысле, что, имея одинаковые массы, периоды полураспада, а также одинаковые квантовые числа, они различаются знаками всех зарядов: электрического, барионного, лептонного и т.д. Это следует из общих принципов квантовой теории поля и подтверждается экспериментальными данными. Таким образом, возникла глобальная проблема частица—античастица, разных по знаку заряда частиц. Причем при столкновении частицы и античастицы происходит аннигиляция, т.е. они взаимно уничтожают друг друга, и при этом выделяется энергия в виде квантов электромагнитного излучения (фотонов). Заметим, что фотоны, нейтральные пионы (π) и η -мезоны тождественны собственным античастицам. Все это множество частиц и принято называть элементарными частицами. Это не означает, что все они наряду с кварками обязательно являются упомянутыми кирпичиками

139

Поль Дирак



П. Дирак (1902–1984), лауреат Нобелевской премии по физике 1933 г. (совместно с Э. Шрёдингером и В. Паули) был одним из тех самых молодых людей, которые образовали своеобразный клуб «создателей квантовой механики». В. Паули называл их Knabenphysik («физика мальчишек»). В 1925 г. он опубликовал «Основные уравнения квантовой механики», а затем в 1928 г. «Квантовую теорию электрона», в которых он объединил волновые представления Шрёдингера с теорией относительности. Дирак ввел в научный обиход многие понятия и термины квантовой механики — из уравнения Дирака вытекала концепция собственного момента вращения электрона (спина) и магнитного момента электрона, а также представление, что в странном мире квантовой механики существуют античастицы, противоположные по знаку заряда. В 1955 г. П. Дирак прочел лекцию на физфаке МГУ. Его попросили оставить автограф на доске, и он написал: «Physical laws should have mathematical beauty» — *«Физические законы должны быть математически красивы»*. Что является очень символическим не только для физики, но и в целом для естествознания.

мироздания — для этого достаточно протонов, нейтронов и электронов — из которых только и состоят атомы. Но эти частицы возникают в результате основных взаимодействий частиц обычного вещества и участвуют в этих взаимодействиях, т.е. их тоже необходимо учитывать.

6.3.1. Классификация элементарных частиц

Изобилие типов элементарных частиц поставило перед физиками трудные вопросы: что же лежит в основе строения вещества, есть ли какая-нибудь общая схема, систематика, которая позволила бы просто и ясно объяснить взаимную связь элементарных частиц? Физики, представьте себе, упорно верят в то, что природе присуща внутренняя гармония и существует

140
единый принцип, который, когда его откроют, позволит построить общую картину и систематизировать это обилие частиц.

В настоящее время в основе современной классификации элементарных частиц лежит их деление на два класса (рис. 6.2): сильно взаимодействующих (адроны) и слабо взаимодействующих (лептоны) частиц. Адроны делятся также на мезоны и барионы, а последние, в свою очередь, на нуклоны (нейтроны и протоны) и гипероны (Λ , Σ , Ξ , Ω). Название «гипероны» происходит от греческого «гипер» — выше, так как они тяжелее протона, «барионы» — от греческого «барис» тяжелый. К лептонам относятся электроны, мюоны и нейтрино. Барионы (нуклоны, гипероны, барионные резонансы — короткоживущие частицы) при любых реакциях могут превращаться в протоны или из них получаться. Разность между числом барионов и антибарионов в системе называется барионным числом. В теории элементарных частиц существует закон сохранения барионного числа в любом процессе. Именно этим законом обусловлена невозможность аннигиляции протона и электрона в обычных условиях, потому что протон — это барион, а электрон — лептон. Закон сохранения барионных чисел обеспечивает также стабильность прото-

Рис. 6.2. Схема классификации элементарных частиц.

141

нов. С точки зрения квантовой статистики, частицы с разными (целыми и полуцелыми) спинами могут также разделяться на фермионы (статистика Ферми) с полуцелым спином ($1/2$): электрон, нейтрон, мюон, протон, нейтрон, гиперон), бозоны (статистика Бозе) с целым ($0,1$) спином: пион (π -мезон), каон (K -мезон), фотон. Фермионы, все без исключения, возникают или аннигилируют парами. С другой стороны, бозоны могут рождаться или поглощаться по одному и группами по несколько частиц.

В дополнение к закону сохранения числа барионов Гелл-Манн (р. 1929) и Нишиджима в 1953 г. ввели еще одну квантовую характеристику — *странность* S , для которой тоже существует закон сохранения, согласно которому странность сохраняется во всех сильных (ядерных) взаимодействиях, действующих на расстоянии около 10^{-13} см. Эти законы позволяют прогнозировать природу взаимодействия различных элементарных частиц. К концу 50-х годов нашего века численность и разнообразие элементарных частиц настолько выросли, что классификация их только по массе, заряду и спину, даже с учетом упомянутых законов сохранения барионного числа и странности, вызывала у физиков-теоретиков значительное неудовлетворение. Появлялись даже идеи, что за этим разнообразием скрывается некая симметрия.

6.3.2. Кварковая модель

Развитием этого поиска явилось еще одно изобретение Гелл-Манна (1963), а затем независимо от него Цвейга (1964) — модель кварков. В этой модели предполагается, что все сильновзаимодействующие элементарные частицы являются комбинациями трех основных частиц (которые и называются кварками) и их античастиц. Название «кварк» взято Гелл-Манном из туманной фразы романа Дж. Джойса «Поминки по Финнегану»: «Три кварка для мистера Марка». Другое объяснение этому термину — это название напоминает английское звукоподражание крику чаек. Кварки имеют необычные свойства: электрический заряд, равный $\pm \frac{1}{3}e$ или $\pm \frac{2}{3}e$, и барионное число (заряд) тоже дробный: равный $\frac{1}{3}$. Обозначение кварков и антикварков, а также их параметров дано в табл. 6.1.

142

Таблица 6.1

	Символ	Заряд q	Странность S	Барионное число (заряд) B	Спин s
Кварки		$+\frac{2}{3}e$	0	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$
		$-\frac{1}{3}e$	0	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$
		$-\frac{1}{3}e$	-1	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$
Антикварки		$-\frac{1}{3}$	+1	$-\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$
		$+\frac{1}{3}e$	0	$-\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$
		$-\frac{2}{3}e$	0	$-\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$

Таким образом, основные свойства кварков — заряд $q \left(+\frac{2}{3}e, -\frac{1}{3}e, -\frac{1}{3}e \right)$, странность $S(0, 0, -1)$, барионное число $B \left(\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3} \right)$ и спин $s \left(\frac{1}{2} \right)$ не похожи на свойства других частиц.

Однако различные комбинации этих гипотетических частиц воспроизводят свойства всех известных адронов с поразительной точностью. Предполагается, что, например, барионы построены из трех кварков, а мезоны из двух кварков (кварк — антикварк). Реальны ли кварки в действительности или эта модель служит лишь удобным средством описания элементарных частиц, но лишена физического реального смысла? Пока это не известно. Кстати, последними исследованиями показано, что кварки не являются самыми «неделимыми». Обнаружены уже протокварки. Тем не менее, несмотря на то что экспериментально кварки в свободном состоянии не обнаружены, в теории элементарных частиц существует так называемая «стандартная модель». Согласно этой модели кварки различаются «ароматом»: u (от up — верхний), d (от down — нижний), s (от strange — странный), c (от charm — очарование), b (от beauty — красота), t (от truth — истинный). Главная особенность всех кварков в том, что они являются обладателями соответствующих сильных зарядов. Заряды сильного поля имеют три равноправные разновидности (вместо одного электрического заряда в теории электрических сил). В исторически сложившейся терминологии эти три разновидности

143

заряда называют цветами кварков, а именно: условно красным, зеленым и синим. Таким образом, каждый кварк в табл. 6.1 и 6.2 является цветной частицей. Смешение всех трех цветов, подобно тому как это имеет место в оптике, дает белый цвет, т. е. обесцвечивает частицу. Все наблюдаемые адроны бесцветны.

Взаимодействия кварков осуществляют восемь разных глюонов. Термин «глюон» в переводе с английского языка означает «клей», т. е. эти кванты и есть частицы, которые как бы склеивают кварки между собой. Как и кварки, глюоны являются цветными частицами, но поскольку каждый глюон изменяет цвета сразу двух кварков (кварка, который испускает глюон, и кварка, который поглотил глюон), то глюон окрашен дважды, неся на себе цвет и антицвет, как правило, отличный от цвета.

Масса покоя глюонов, как и у фотона, равна нулю. Кроме того, глюоны электрически нейтральны и не обладают слабым зарядом.

Современные представления о природе таковы, что в рамках «стандартной модели» существует всего три поколения кварков, лептонов и нейтрино, которые и представляют собой начальный уровень структурной организации материи.

Из лептонов и кварков первого поколения вместе с фотонами построена современная Вселенная. Частицы второго и третьего

Таблица 6.2

	Кварки					
	<i>u</i>	<i>d</i>	<i>s</i>	<i>c</i>	<i>b</i>	<i>T</i>
Масса m_0	(1,5-5) МэВ/с ²	(3-9) МэВ/с ²	(60-170) МэВ/с ²	(1,1-4,4) ГэВ/с ²	(4,1-4,4) ГэВ/с ²	17 ГэВ
Изоспин I	$+\frac{1}{2}$	$+\frac{1}{2}$	0	0	0	0
Проекция I_3	$+\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}$	0	0	0	0
Электрический заряд	$+\frac{2}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$+\frac{2}{3}$	$-\frac{1}{3}$	+2
Странность S	0	0	-1	0	0	0
Чарм C	0	0	0	+1	0	0
Боттом B	0	0	0	0	-1	0
Топ T	0	0	0	0	0	+

144

поколения играли важную роль в первые мгновения после Большого Взрыва ранней Вселенной, когда не было различия между лептонами и кварками.

Академик РАЕН Б. А. Трубников отмечал, что прошедший XX век справедливо называть квантово-релятивистским веком. В 1897 г. Томсон (1824—1907) открыл электрон, в 1911 г. Резерфорд открыл атомное ядро, затем в 1931 — 1932 гг. Чадвиком были обнаружены нейтроны, а Андерсеном — позитроны. После обнаружения сотен других короткоживущих частиц и «наведения порядка» для них была разработана квантовая теория поля, в рамках которой теоретически и были предсказаны совершенно новые объекты природы — кварки и глюоны. В настоящее время установлено, что истинно элементарными частицами следует считать шесть сортов кварков со своим «ароматами»: *u*, *d*, *s*, *c*, *t*, *b* и шесть сортов лептонов. Это — электрон $\bar{e}$, мюон μ , тау-лептон (таон) τ и соответствующие этим частицам нейтрино (ν_e , ν_μ , ν_τ). Предполагается, что согласно принципу кварк-лептонной симметрии каждому лептону должен соответствовать определенный кварк (табл. 6.3).

Таблица 6.3

Поколение	Лептон	Кварк
Первое	Электронное нейтрино ν_e Электрон <i>e</i>	Верхний (up) кварк <i>u</i> Нижний (down) <i>d</i>
Второе	Мюонное нейтрино ν_μ Мюон μ	Очарованный (charm) <i>c</i> Странный (strange) <i>s</i>
Третье	Тау нейтрино τ Маон μ_τ	Истинный (truth) <i>t</i> Прелестный (beauty) <i>b</i>

6.4. Фундаментальные взаимодействия и мировые константы

Рассмотрим характер взаимодействия элементарных частиц. Частицы взаимодействуют между собой путем обмена квантами силовых полей, и, как установлено к настоящему времени, в природе наблюдается четыре типа сил, четыре фундаментальных взаимодействия: сильное (ядерное, связывающее протоны и нейтроны в ядрах химических элементов); электромагнитное; слабое (ответственное за сравнительно медленные бета-распады)

145

и гравитационное (приводящее к закону всемирного тяготения Ньютона). Гравитационное и электромагнитное взаимодействия относятся к силам, возникающим в гравитационных и электромагнитных полях. Природа гравитационного взаимодействия, количественно установленного еще Ньютоном, до сих пор полностью не определена, и не ясно, как передается это действие через пространство.

Ядерные силы, относящиеся к сильным взаимодействиям, действуют на малых расстояниях, около 10^{-15} м, в ядрах и обеспечивают их устойчивость, преобладавая над отталкивающим действием кулоновских сил электромагнитных полей. Поэтому ядерные силы являются в основном силами притяжения и действуют между протонами (*p* — *p*) и

нейтронами (n — n). Существует также протон — нейтронное взаимодействие (p — n). Поскольку эти частицы объединены в одну группу нуклонов, то это взаимодействие называется также нуклон-нуклонным. Слабые взаимодействия проявляются в процессах ядерного распада или более широко — в процессах взаимодействия электрона и нейтрино (оно может существовать также и между любыми парами элементарных частиц). Как мы уже знаем, гравитационное и электромагнитное взаимодействие меняются с расстоянием как $1/r^2$ и являются дальнодействующими. Ядерное (сильное) и слабое взаимодействия являются короткодействующими. По своей величине основные взаимодействия располагаются в следующем порядке: сильное (ядерное), электрическое, слабое, гравитационное.

Предполагается, что квантами — переносчиками этих четырех силовых полей являются соответственно: для сильного взаимодействия — безмассовые глюоны (8); для электромагнитного — безмассовые фотоны (кванты света со спином 1); для слабого — бозоны (три частицы в 90 раз тяжелее протона) и для гравитационного — безмассовые гравитоны (со спином 2).

Глюоны склеивают и удерживают кварки внутри протонов и ядер. Кванты всех этих полей взаимодействий имеют целочисленные спины и поэтому являются бозонами, в отличие от частиц — фермионов, имеющих спин $1/2$.

Глюоны и кварки обладают своеобразным «зарядом», который принято называть «цветовым зарядом» или просто «цветом». В квантовой хромодинамике допустимыми считаются только три цвета — красный, голубой и зеленый. Глюоны и кварки не уда-

146
лось пока наблюдать непосредственно, и считают, что цветные кварки «не имеют права» вылетать наружу из ядер, подобно тому как фононы — кванты тепловых колебаний кристаллической решетки атомов — существуют только внутри твердых тел. Это свойство связывания, или удержания, кварков и глюонов в адронах называется конфайнментом. Вылетать из ядер наружу и наблюдаться имеют право лишь белые («бесцветные») комбинации кварков в виде адронов — барионов и мезонов, которые возникают в ядерных реакциях при столкновениях различных частиц. Любопытно, что одиночный кварк, появившийся в результате каких-то процессов, практически мгновенно (в течение 10^{-21} с) «достраивает» себя до адрона и вылететь из адрона уже не может.

Заметим, что у физиков раздел квантовой теории поля об **электромагнитных** взаимодействиях частиц называется **квантовой электродинамикой (КЭД)**,
о **слабых** взаимодействиях — **квантовой ароматодинамикой (КАД)**,
о **сильных** «цветовых» взаимодействиях — **квантовой хромодинамикой (КХД)**.

6.4.1. Мировые константы

Четырем фундаментальным взаимодействиям соответствуют четыре мировые константы. Подавляющее число физических констант имеет размерности, зависящие от системы единиц отсчета, например, в СИ (Международной системе единиц — системе интернациональной) заряд $e = 6 \cdot 10^{-19}$ Кл, его масса $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг. В различных системах отсчета основные единицы имеют различные числовые значения и размерности. Такое положение не устраивает науку, так как удобнее иметь безразмерные константы, не связанные с условным выбором исходных единиц и систем отсчета. Кроме того, фундаментальные константы не выводятся из физических теорий, а определяют экспериментально. В этом смысле теоретическую физику нельзя считать самодостаточной и законченной для объяснения свойств природы, пока проблема, связанная с мировыми константами, не будет понята и объяснена [133].

Анализ размерностей физических констант приводит к пониманию того, что они играют очень важную роль в построении отдельных физических теорий. Однако если попытаться создать единое теоретическое описание всех физических процессов, т.е., другими словами, сформулировать унифицированную научную картину мира от микро- до макроуровня, то главную, определяющую роль должны играть безразмерные, т.е. «истинно» **мировые**, константы. Таковы константы основных взаимодействий.

147

Константа гравитационного взаимодействия:

$$\alpha_g = \frac{Gm}{\hbar c} \approx 10^{-39}.$$

Константа электромагнитного взаимодействия:

$$\alpha_e = \frac{e^2}{\hbar^2 c} \approx \frac{1}{137}.$$

Константа сильного взаимодействия:

$$\alpha_s = \frac{g_s}{\hbar c} \approx 1,$$

где g_s — цветовой заряд, причем $g_s \gg e$; $g^2 \sim \hbar = \hbar/2\pi$. (Индекс «s»

от английского слова «strong» — сильный.) Константа слабого взаимодействия:

$$\alpha_w = \frac{9m^2 c^2}{\hbar} \approx 10^{-5},$$

где $g \sim 1.4 \cdot 10^{-62}$ Дж · м³ — *константа Ферми*. (Индекс «w» от английского слова «weak» — слабый.) Заметим, что размерную константу гравитационного взаимодействия получил еще сам И. Ньютон: $G \sim 6,67 \cdot 10^{-11}$ м³ · с² · кг⁻¹; сила гравитационного взаимодействия

$$F = G \frac{Mm}{R^2}.$$

Известно, что этот закон всемирного тяготения недоказуем, так как получен путем обобщения опытных фактов. Причем абсолютная справедливость его не может быть гарантирована до тех пор, пока не станет ясным сам механизм тяготения. Константа электромагнитного взаимодействия отвечает за превращение заряженных частиц в такие же частицы, но при изменении скорости их движения и появлении дополнительной частицы — фотона. Сильное и слабое взаимодействия проявляются в процессах микромира, где возможны взаимопревращения частиц. Поэтому константа сильного взаимодействия α_s количественно определяет взаимодействия барионов. Константа слабого взаимодействия α_w связана с интенсивностью превращений элементарных частиц при участии нейтрино и антинейтрино.

148 Кроме «магических» констант, упомянутых в § 1.1, отметим гипотезу Дирака о том, что развитие Вселенной сопровождается уменьшением значения гравитационной постоянной во времени.

Он заметил, что отношение $\frac{\alpha_e}{\alpha_g} = 10^{40}$. Такое же число Дирак получил для отношения размера нуклона к скорости света. Совпадение этих отношений в виде безразмерной величины 10^{40} с учетом возраста Вселенной 10—20 млрд лет (10^{17} с) и позволило ему считать, что если возраст увеличивается, то, чтобы сохранилась эта константа 10^{40} , гравитационное взаимодействие уменьшается. Дирак не считал такое совпадение и наличие константы 10^{40} случайным. Оно проявляется и в других вариациях. Например, отношение размера Метагалактики (10^{28} см) к размеру нуклона (10^{-12} см) тоже равно 10^{40} . Число тяжелых частиц во Вселенной

$$N = (10^{40})^2 = \frac{\pi c}{G m_p^2} = 10^{80} \text{ и др.}$$

6.4.2. Фундаментальные взаимодействия и их роль в природе

Считают, что все четыре вида взаимодействия и их константы обуславливают нынешнее строение и существование Вселенной. Так, гравитационное — удерживает планеты на их орбитах и тела на Земле. Электромагнитное — удерживает электроны в атомах и соединяет их в молекулы, из которых состоим и мы сами. Слабое — обеспечивает длительное «горение» звезд и Солнца, дающего энергию для протекания всех процессов жизни на Земле. Сильное взаимодействие обеспечивает возможность стабильного существования большинства ядер атомов. Теоретическая физика показывает, что изменение числовых значений этих или других констант приводит к разрушению устойчивости одного или нескольких структурных элементов Вселенной. Так, например, увеличение массы электрона m_0 от ~0,5 МэВ до 0,9 МэВ нарушит энергетический баланс в реакции образования дейтерия в солнечном цикле и приведет к дестабилизации стабильных атомов и изотопов. Дейтерий — атом водорода, состоящий из протона и нейтрона. Это «тяжелый» водород с $A = 2$ (третий имеет $A = 3$.) Уменьшение α_s всего на 40% привело бы к тому, что дейтерий был бы не стабилен. Увеличение же сделает стабильным бипротон, что приведет к выгоранию водорода на ран-

149 них стадиях эволюции Вселенной. Константа α_e изменяется в пределах $1/170 < \alpha_e < 1/80$. Другие значения приводят к невозможности должного отталкивания протонов в ядрах, а это ведет к нестабильности атомов. Увеличение α_w привело бы к уменьшению времени жизни свободных нейтронов. Это означает, что на ранней стадии Вселенной

гелий не образовался бы и не было бы реакции слияния α частиц при синтезе углерода $3\alpha \rightarrow {}^{12}\text{C}$. Тогда вместо нашей углеродной была бы водородная Вселенная. Уменьшение α_w привело бы к тому, что все протоны оказались бы связаны в α частицы (гелиевая Вселенная).

В современном естествознании предполагается, что мировые константы стабильны начиная со времени 10^{-35} с с момента рождения Вселенной и что, таким образом, в нашей Вселенной как бы существует очень точная «подгонка» числовых значений мировых констант, обуславливающих необходимые значения для существования ядер, атомов, звезд и галактик. Возникновение и существование такой ситуации не ясно. Такая «подгонка» (константы именно такие, какие они есть!) создает условия для существования не только сложных неорганических, органических, но и живых организмов, в том числе и человека [124]. П. Дирак высказал идею о совместном изменении во времени фундаментальных констант. В целом можно считать, что многообразие и единство физического мира, его порядок и гармония, предсказуемость и повторяемость формируются и управляются системой небольшого числа фундаментальных констант.

6.4.3. Из чего же состоит вещество Вселенной?

Так из чего же все-таки состоит вещество Вселенной? Как ни странно, теоретическая физика, с точки зрения рассмотренной нами теории элементарных частиц с ее строгим математическим аппаратом и достаточно адекватными моделями, отвечает, что тем не менее до 90% вещества Вселенной находится в неизвестном нам состоянии. Установлено, что протоны и нейтроны образуют либо ядра различных атомов, либо громадные скопления нейтронных звезд. Поэтому в рамках «стандартной модели» кварков формы стабильной материи рассматриваются в виде двух групп: ядра атомов, имеющие массу не более 300 атомных единиц, и нейтронные звезды, также имеющие структуру ядра (т.е. состоит из нейтронов и протонов), но с массой, в 10^{54} раз

150
большой. Эти группы разделены огромным пробелом, состоящим предположительно из так называемой «странной» материи, в котором, может быть, находится до 90% всей массы Вселенной (рис. 6.3).

Возможность существования такой странной материи в кварковой модели строения вещества отчасти подтверждается выводом из наблюдения дальних галактик о том, что многие космологические объекты нельзя наблюдать обычными астрофизическими методами. Это связано, в частности, с тем, что гравитационные поля видимых звезд или скоплений звездной пыли, вероятно, не достаточны для создания условий их движения по наблюдаемым нами траекториям. Имеется как бы «скрытая» от наблюдателя масса. Э. Уитмен в 1984 г. высказал предположение, что эта «скрытая» масса состоит из материи, содержащей упомянутый уже S-кварк (странный кварк). Предполагают, что эта материя из странных кварков возникла в течение первой миллионной доли секунды после БВ, причем диаметр таких образований составлял от 10^{-7} до 10 см, масса — от 10^9 до 10^{18} г, а

Рис. 6.3. Возможные формы стабильной материи во Вселенной

Атомный номер				
$2 \cdot 10^{56}$				
$3 \cdot 10^{54}$			Нейтронные звезды	Черные дыры
	Странная материя ???			
Ядра атомов				
	274	$3 \cdot 10^{56}$	$1,5 \cdot 10^{57}$	Атомная масса, г

151

число кварков — от 10^{33} до 10^{42} . Из-за малых размеров и огромной плотности вещества (для примера: теннисный мяч из такой материи весил бы 10^{12} тонн) это вещество не проявляет себя в видимом диапазоне световых волн.

Предполагается, что главное отличие странной материи от обычной состоит в разных значениях отношения заряда к массе (q/m). Для обычной материи это отношение лежит в пределах от $1/3$ (дейтерий, тритий) до 1 (один протон у обычного водорода), у большинства изотопов других атомов $\sim 1/2$ из-за того, что число протонов примерно равно числу нейтронов. Для странной материи это отношение q/m лежит в пределах от $1/10$ до $1/20$.

6.4.4. Черные дыры

Для космологического объекта со «скрытой» (ненаблюдаемой) массой американским физиком Уилером в 1969 г. был предложен термин *черная дыра* (ЧД). ЧД (или коллапс) — это объект, у которого такое сильное гравитационное поле, что он ничего (в том числе и излучение тоже) от себя не отпускает. Наступает факт «пленения» света. Кстати, еще в 1783 г. английский священник и впоследствии основатель сейсмологии Д. Мичел, а затем и Лаплас в 1798 г. говорили об объектах с огромной гравитацией, которые будут абсолютно черными для внешнего наблюдателя. Для того чтобы поле тяготения смогло «запереть» излучение, создающая это поле масса M должна сжаться до объема с радиусом, меньшим гравитационного радиуса R_g или радиуса сферы Шварцшильда. Границу области, за которую не выходит свет, называют горизонтом событий.

$$R_g = 2G \frac{M}{c^2}.$$

Для Солнца гравитационный радиус равен 3 км, для Земли 1 см. Однако ни Солнце, ни Земля до таких размеров самопроизвольно не уменьшаются. Черные дыры малой массы могут образоваться лишь при условии, что вещество сжато до огромных плотностей чрезвычайно высокими внешними давлениями. Такие условия могут выполняться в очень большой водородной бомбе: физик Джон Уилер как-то вычислил, что если взять всю тяжелую воду из всех океанов мира, то можно сделать водородную бомбу, в которой вещество так сильно сожмется, что в ее центре возникнет черная дыра. Одной из гипотез объяснения

152

Тунгусского метеорита является предположение, что он представлял собой микро- (по космическим масштабам) черную дыру, «вошедшую» в Землю в районе поселка Ванвара в Сибири и «вышедшую» из нее в районе Бермудских островов («Бермудского треугольника») вблизи берегов США.

Предполагают, что есть два варианта образования ЧД в процессе эволюции звезд: первый — для звезд с массой больше 2,3 масс нашего Солнца. По мере старения звезды ядерное топливо (водород) сгорает, и гравитационные силы уже не могут уравновеситься

световым давлением за счет термоядерной реакции. Звезда сжимается, разогревается, происходит ядерный взрыв содержащихся в звезде тяжелых элементов, звезда вспыхивает в виде сверхновой, сбрасывая около 1/3 массы, и превращается в ЧД; второй — для малых звезд, массой значительно меньшей массы Солнца. В начальные моменты жизни Вселенной плотность материи была огромна и малые неоднородности вещества создавали большие неоднородности гравитационного поля, и это могло приводить к образованию ЧД в малых областях пространства. Могли ли эти неоднородности, существованием которых объясняется возникновение звезд и галактик, привести к образованию «первичных» черных дыр? Это зависит от того, какой была ранняя Вселенная. Следовательно, определив, какое количество «первичных» черных дыр существует сейчас, можно было многое узнать о самых ранних стадиях развития Вселенной.

Наличие такого огромного гравитационного поля у ЧД приводит к тому, что время течет все медленнее и медленнее по мере приближения к ЧД. На расстоянии гравитационного радиуса время полностью останавливается с точки зрения удаленного наблюдателя, т.е. ЧД искривляет пространство и замедляет время. Как отмечал Б. Паркер: *«Попав в ЧД, наш наблюдатель не сможет сообщить о том, что видит: он все время будет приближаться к ее центру... в центре будет находиться то, что осталось от звезды после коллапса — сингулярность. По мере приближения к сингулярности наблюдатель заметит, что пространство и время поменялись ролями. По «нашу» сторону горизонта событий мы можем управлять пространством, но не временем: время течет одинаково независимо от наших действий. Но за горизонтом, как ни странно, можно управлять временем, но не пространством — нас затягивает сингулярность, хотим мы этого или не хотим. Оказав-*

153

шись с ней рядом, мы поймем, что нас ждет та же судьба, что и звезду, — нас сожмет до нулевого объема». В этом смысле ОТО описывает звезду, как «кладбище», «гравитационную могилу» всего того, что ЧД успела захватить.

При образовании черной дыры для внешнего наблюдателя все свойства сколлапсировавшего тела как бы исчезают, остается только гравитационное поле, характеризующееся лишь двумя параметрами — массой и вращением. Этим определяются и форма черной дыры, и ее размеры, и ее свойства. По поводу этой ситуации с черными дырами американский физик К. Торн как-то воскликнул: *«Представьте себе, что мы могли бы судить о всех особенностях характера женщины только по ее весу и цвету волос!»* В известном смысле эту «безликость» ЧД, стирание индивидуальных характеристик коллапсирующих звезд при приближении к гравитационному радиусу ЧД автор самого названия «черные дыры» американский физик Д. Уиллер охарактеризовал шутливым афоризмом: *«Черные дыры не имеют волос».*

В 1975 г. С. Хокинг (р. 1942) [28, 147] показал, что ЧД может «дышать» — гравитационное поле вблизи поверхности ЧД рождает в вакууме пары частиц, одну из которых захватывает ЧД, а другая улетает в окружающее пространство, т.е. получается, что поверхность около черной дыры может излучать частицы разных видов, которые пока еще не зарегистрированы. С. Хокинг теоретически обосновал, что ЧД может быть идентифицирована по теплу, выделяемому при завихрении гравитационной воронкой попадающего туда вещества. Такое излучение не существенно для ЧД, образованных из звезд в процессе эволюции, но существенно для тех ЧД, которые образовались на начальном этапе жизни Вселенной. Из астрономических наблюдений двойных звезд, вращающихся вокруг общего центра масс, такая ЧД была обнаружена в 1972 г. в системе Лебедь — X-1. В 2000 г. были обнаружены три гигантские черные дыры в созвездиях Девы и Овна массой в 50—100 миллионов раз больше нашего Солнца.

Имеются также предположения, что формирование и развитие галактик происходило при взаимодействии с черными дырами, причем их масса определяла основную массу центральных частей галактик. По мнению американского астрофизика Д. Ричстоуна, радиационное излучение и появление элементар-

154

ных частиц высоких энергий объясняются возникновением и ростом ЧД, что является основным источником тепла и кинетической энергии для формирования звезд в зарождающихся галактиках. Отметим также, что ЧД не просто необычный небесный объект, но в известном смысле «дыра» в пространстве и времени.

В последние годы появились предположения, что черные дыры являются областями перехода от одного пространства к другому пространству, в другую Вселенную, с Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

отличной от первого размерностью и, следовательно, с другими физическими свойствами. То, что выглядит в «нашем» трехмерном пространстве как черная дыра, в другом является «белой дырой», через которую захваченная материя выходит в это другое пространство [17, 18, 98, 101, 102].

Английский теоретик **Р. Пенроуз (р. 1933)** рассмотрел случай коллапса и образования ЧД. Он допускает, что ЧД исчезает, а затем появляется в другое время в какой-то иной Вселенной. Рождение ЧД во время гравитационного коллапса, по его мнению, является важным свидетельством того, что с геометрией пространства—времени происходит нечто необычное. Исследования Пенроуза показывают, что коллапс заканчивается образованием сингулярности, т. е. он продолжается до нулевых размеров и бесконечной плотности объекта. Последнее условие дает возможность другой Вселенной приблизиться к нашей сингулярности, и не исключено, что сингулярность перейдет в эту новую Вселенную. Она даже может появиться в каком-либо другом месте нашей собственной Вселенной.

Кроме того, есть также предположения, что, когда ЧД рождается в процессе гравитационного коллапса, она должна излучать гравитационные волны, которые могли бы пересекать пространство и на какое-то время искажать геометрию пространства вблизи Земли.

Вернемся еще раз к странной материи. Предполагается, что главное отличие странной материи от обычной состоит в разных значениях отношения заряда к массе (q/m). Для обычной материи это отношение лежит в пределах от 1/3 (дейтерий, тритий) до 1 (один протон у обычного водорода), у большинства изотопов других атомов $\sim 1/2$ из-за того, что число протонов примерно равно числу нейтронов. Для странной материи это отношение q/m лежит в пределах от 1/10 до 1/20.

155

6.5. Модель единого физического поля и многомерность пространства—времени

Кто бы мог подумать, что мы будем так много знать и так мало

А. Эйнштейн

Сбылись самые смелые мечты, пришло время для не смелых

Е. Лец

Перед рассмотрением единого описания всех физических явлений следует вкратце упомянуть о попытках создания моделей единого физического поля (ЕФП). Такие попытки неоднократно предпринимались, начиная с Эйнштейна. Хотя до настоящего времени ЕФП не разработана, можно отметить, что **С. Вайнберг (р. 1933)**, **Ш. Глэшоу (р. 1932)** и **Э. Салам (р. 1926)** в 1967 г. показали, что слабое и электромагнитное взаимодействия есть одно и то же электрослабое взаимодействие, проявляющееся при энергиях свыше 100 ГэВ. При меньших энергиях спонтанно нарушается симметрия между ними и в обычных условиях мы наблюдаем их как разные поля и взаимодействия. Ш. Глэшоу и Г. Джордан в 1979 г. предположили, что при энергии свыше 10^{14} ГэВ слабое, электромагнитное и сильное взаимодействия также объединяются. Это так называемая первая теория Великого объединения (ТВО). По этой теории, лептоны могут переходить в кварки и наоборот.

Однако, как мы помним, кварки имеют барионный заряд, не равный нулю, а у лептонов $B = 0$. Следовательно, здесь уже при таких превращениях нарушается закон сохранения барионного заряда. Кроме того, возникает вопрос, насколько стабилен протон, время жизни которого около 10^{30} — 10^{32} лет. По сравнению со временем существования Вселенной (более 10^{10} лет) это время жизни протона значительно больше, чем возраст нашей Вселенной.

Если это действительно так, то возникает гипотеза, что вещество во Вселенной может быть не стабильно. Кроме того, ТВО «разрешает» существование в свободном состоянии кварков и тогда они действительно являются фундаментальными частицами. При энергиях свыше 10^{19} ГэВ возможно включение в общую схему объединения взаимодействий и гравитационных полей. Это и есть модель (или теория) супергравитации, или суперсимметрии, ведущая к объединению симметрии ОТО. Частица-

156

ми-переносчиками должны быть безмассовые частицы со спином $S = 2$, называемые

гравитонами, о которых мы упоминали. Физический вакуум порождает виртуальные (возможные) частицы, которые своей массой создают дополнительное поле тяготения. Согласно ОТО в этом же месте и в тот же момент времени изменяются геометрические свойства пространства—времени, т.е. оно флуктуирует. Согласно такой модели гравитон — это квант флуктуирующего пространства—времени, объединяющий в себе и элементарную частицу, и волну искривления, распространяющуюся по четырехмерному миру. Эффекты, связанные с этим, должны проявляться на так называемых планковских расстояниях и времени:

$$l_p = \left(\frac{\hbar G}{c^3}\right)^{\frac{1}{2}} \approx 1,5 \cdot 10^{-35} \text{ м} \quad \text{и} \quad \tau_p = \left(\frac{\hbar G}{c^5}\right)^{\frac{1}{2}} \approx 5 \cdot 10^{-45} \text{ с}$$

и соответствующей массе

$$m_p = \left(\frac{\hbar c}{G}\right)^{\frac{1}{2}} \approx 2 \cdot 10^{-8} \text{ кг}.$$

Отсюда делается вывод, что в ранние моменты существования Вселенной пространство—время было дискретным, квантованным, как это следует из физического смысла постоянной Планка.

I Волну искривления пространства связывают в теории супергравитации с моделью суперструн. В этой модели в качестве элементарной основы мира служат уже не фундаментальные частицы, а элементарные процессы — колебания бесконечно длинных струн с очень малым размером поперечного диаметра струны. По оценкам теоретиков толщина струны 10^{-29} см и погонная масса 10^{22} г/см, т.е. такие бесконечно протяженные объекты являются очень тонкими и очень тяжелыми. При этом могут возникать резонансы колебаний разных струн, вихри в пространстве, которые можно связать с ритмикой Космоса, циклическими процессами во Вселенной, оказывающими влияние на все процессы на Земле [150].

6.5.1. Возможность многомерности пространства

В теории супергравитации также показывается, что согласно Т. Калуце и О. Клейну электромагнитное поле можно рассматривать как некое геометрическое свойство дополнительного,

157

пятого измерения пространства—времени. Не вдаваясь в теоретические тонкости, отметим, что это ненаблюдаемое пятое измерение сворачивается (компактифицируется) до малых ненаблюдаемых размеров. Это приводит к геометрическим симметриям, связанным с семью дополнительными измерениями пространства, скомпактифицированными в семимерную сферу. Тогда можно предположить, что мы живем в 11-мерной Вселенной. Это — три видимых пространственных измерения, семь невидимых, свернутых в пространстве, и время. Таким образом, новая и последняя на сегодняшний день в теоретической физике безразмерная константа — размерность нашей Вселенной $N = 11$, непротиворечивая теория суперструн для Большой Вселенной предусматривает 506-мерное пространство.

Свертка ненаблюдаемого измерения может быть качественно понята из приведенного примера бесконечно длинной одномерной струны, которую мы и видим в одном измерении — длине. Струны рассматриваются уже не как точечные, а как одномерные объекты. Исчезновение размерности можно также увидеть при свертывании плоского листа в цилиндр или в двумерной ленте Мёбиуса, в которой происходит непрерывный переход с внешней поверхности листа на внутреннюю.

В связи с теорией ЕФП в настоящее время рассматривают также возможность существования кванта единого пространства—времени, который называется st (space-time)-КВАНТОМ:

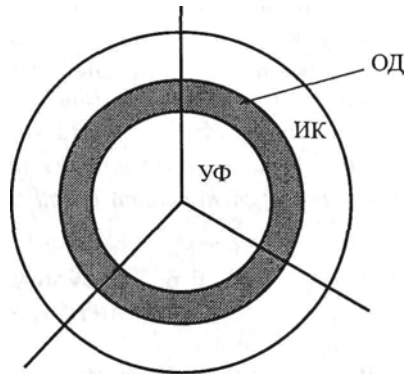
$$st = \frac{\hbar^2 G}{c^7} \approx 10^{-148} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}.$$

Если st-квант действительно существует, то это приводит к интересным выводам: в «объеме» st-кванта нарушены причинно-следственные связи. События, происходящие в st-кванте, могут быть растянуты во времени, но сжаты в пространстве, и наоборот. На уровне st-кванта пространство—время непрерывно творит само себя с изменяющимися в каждом акте топологией, физическими свойствами и законами из-за неопределенности пространства—времени. Спонтанные флуктуации пространства—времени могут привести к нарушению закона сохранения энергии. Предполагают, что в эти особые моменты, по-видимому, и произошел БВ. И, наконец, существует возможность

существования множества виртуальных Вселенных.

158

Рис. 6.4. Модель трехмерного частотного пространства (ОД — оптический диапазон, видимая часть спектра, УФ — ультрафиолетовая, ИК — инфракрасная).



Существуют и другие попытки описать многомерность пространства, представить его расслоенным и даже мнимым в окрестностях черных дыр, когда объект пересекает сферу Шварцшильда. При этом частица, не наблюдаемая в одном пространстве, может наблюдаться в другом, и поэтому тахионы — частицы с отрицательной энергией, движущиеся со скоростями, большими скорости света (скорость света — нижний предел), и тардионы — движущиеся со скоростями, меньшими скорости света, существуют в разных расслоенных пространствах, и принцип причинности не нарушается. Имеется также гипотеза Ю. Иванова о частотном пространстве. Согласно этой модели трехмерному геометрическому пространству соответствует также трехмерное частотное пространство, шаровыми слоями которого являются: невидимая человеческим глазом ультрафиолетовая область (УФ) спектра — видимая область спектра (ОД) — невидимая инфракрасная область (ИК) спектра (рис. 6.4). Тогда появление неопознанных летательных объектов (НЛО), «материализацию» или, наоборот, «дематериализацию» различных физических объектов Ю. Иванов объясняет переходом из одного частотного пространства в другое. В связи с такой гипотезой предполагается, что рядом с нами в УФ и ИК — областях частотного пространства, процессы, в том числе и само время, могут протекать по-иному и, следовательно, может существовать другая, быть может, разумная жизнь.

Другой ультрасовременной моделью строения пространства является попытка заполнить его кубами с планковскими размерами, внутри которых каким-то образом взаимно противоположно вращаются петли времени С. Хокинга, переходы между которыми, в известном смысле, и соответствуют переходам от одного пространства к другому. Предполагают, что, двигаясь вперед из любой точки такой петли времени, можно обходить весь мир и возвратиться в ту же точку, т.е. мыслимый путешественник

оги-

159

бает мир не только в пространстве, но и во времени. Все эти модели, конечно, являются умозрительными и требуют дальнейшего доказательства и экспериментального подтверждения. Как сказал Р. Фейнман, *«многие физики трудятся над созданием великой картины, объединяющей все в одну сверхмодель. Это восхитительная игра, но в настоящее время игроки никак не договорятся о том, что представляет собой эта великая картина»*.

6.6. Устойчивость Вселенной и антропный принцип

В связи с уже упомянутой ранее «подгонкой» мировых констант встает вопрос не только о пределах изменения их значений в отдельности, но и об изменении в целом всего набора этих констант, что позволяло бы судить об устойчивости структуры Вселенной.

Следует заметить, что с общечеловеческой точки зрения разумным ограничением на изменение набора констант в целом является сохранение условий для возникновения и существования жизни. Попыткой ответа на вопрос, что же определяет столь точную «подгонку» мировых констант, что реализует существование сложной структуры Вселенной и образование жизни вообще, стало применение скорее гуманитарного, чем

естественно-научного антропного принципа (АП), согласно которому наша Вселенная обладает наблюдательными свойствами именно потому, что эти свойства допускают возможность существования наблюдателя, т.е. человека.

Антропный принцип впервые в 1958 г. был предложен нашим соотечественником Г. Иддисом и затем Б. Картером в 1974 г., но в неявном виде он уже функционировал и раньше в виде антропоморфизма. Этот принцип применяется в слабом и сильном вариантах.

- **Слабый антропный принцип.** На свойства Вселенной накладываются ограничения наличием нашей разумной жизни. То, что наблюдают астрономы, зависит от присутствия наблюдателя.

- **Сильный антропный принцип.** Свойства Вселенной должны быть такими, чтобы в ней обязательно была жизнь.

Согласно этим принципам между фундаментальными свойствами Вселенной и возможностью существования в ней жизни

160
установлены строго определенные отношения. Как мы уже отмечали, фундаментальные свойства мира количественно выражаются через фундаментальные постоянные и при их незначительном изменении может сильно измениться сценарий развития Вселенной и самой жизни во Вселенной, естественно, в нашем понимании. Таким образом, антропный принцип по сути превращает факт появления человека во Вселенной из случайного, незначительного в центральный, приоритетный. *Любая физическая теория, которая противоречит существованию человека, очевидно, не верна.*

6.6.1. Множественность миров

Заметим также, что антропный принцип не отвергает возможности существования других Вселенных. Однако эволюция может происходить без наблюдателей, и, следовательно, жизнь в нашем понимании в них невозможна. При использовании антропного принципа появляется возможность моделировать другие допустимые Вселенные, что с точки зрения современной физики может означать доказанным существование множества миров.

Следует заметить, что сторонником идеи о множественности миров, населенных разумными существами, был известный русский ученый, основатель космонавтики К. Э. Циолковский (1857—1935). Он писал: *«Вероятно ли, чтобы Европа была населена, а другая часть света нет? Может ли быть один остров с жителями, а другие — без них?»* И далее: *«Все фазы развития живых существ можно видеть на разных планетах. Чем было человечество несколько тысяч лет тому назад и чем оно будет по истечении нескольких миллионов лет — все можно отыскать в планетном мире»*. Мыслители и писатели прошлого времени представляли себе цивилизации на других планетах в социальном и научно-техническом отношении вполне подобными современной им земной цивилизации. Циолковский справедливо указал на возможную огромную разницу уровней цивилизации в разных мирах.

Кроме того, АП приводит к мировоззренческим уточнениям не только по множественности обитаемых Вселенных, но по множественности существования жизни в нашей Вселенной. Вопрос о существовании жизни в нашей Вселенной в свете антропного принципа приобретает новую окраску. Он

161
означает, что наша Вселенная чрезвычайно тонко приспособлена для возникновения и существования жизни. Можно было бы подумать, что это относится к отдельной достаточно крупной, но все же локальной области Вселенной, где в силу случайной флуктуации создались условия, необходимые для существования жизни. Но Вселенная в целом однородна и изотропна, т.е. ее свойства в больших масштабах одинаковы. Следовательно, когда мы говорим о чрезвычайно тонкой приспособленности Вселенной для жизни, речь идет не о локальных областях, а именно обо всей нашей Вселенной в целом. Применение АП приводит к выводу о закономерном возникновении и широкой распространенности жизни и Разума во Вселенной. Как говорил американский физик Дж. Дайсон, *«если мы приглядимся ко Вселенной и увидим, как много случайностей в физике и астрономии послужили нам во благо, то кажется почти, что Вселенная в известном смысле знала, что мы появимся»*. Антропный принцип с точки зрения физики и философии «отвергает» возможность уникальности земной жизни. Проблемы

множественности миров, неоднократно обсуждались на *всех* этапах человеческого общества. Например, Анаксагор выступил с идеей о гомеометриях, каждая из которых содержит в себе все свойства Вселенной. Другой пример признания множественности миров дает нам Джордано Бруно, сожженный, как известно, инквизицией за эту идею.

В современном естествознании к этой идее приводит ОТО, одним из выводов которой является представление, что наш мир снаружи может выглядеть, как микрочастица. Такие объекты наш соотечественник А. А. Марков назвал фридмонами. Дальнейшее развитие идей о множественности миров привело к пониманию, что Земля находится не в центре Солнечной системы. Х. Шекли показал, что и Солнце находится не в центре Галактики, а вблизи ее края. Хаббл и другие исследователи *установили*, что наша Галактика не только не является центром Вселенной, но и более того — у нашей Вселенной вообще нет пространственного центра — все ее точки эквивалентны. Совсем недавно мы стали понимать, что состоим не из основной материи Вселенной. А расширение Вселенной на ранних стадиях означает, что наша Вселенная не единственный из раздувшихся «шариков», а существуют другие Домены — Вселенные, разделенные

162

подвижными границами. (Вспомним пример с воздушными шариками!)

Космомикрофизика показывает необходимость одновременного выполнения некоторых условий относительно мировых констант:

$$\alpha_g \geq (\alpha_e)^{20}; \alpha_g \leq (\alpha_e)^{16};$$

$$\alpha_g < e^{-\frac{\alpha_e}{2}}; \alpha_g > (\alpha_e)^2 e^{-\frac{\alpha_e}{2}}.$$

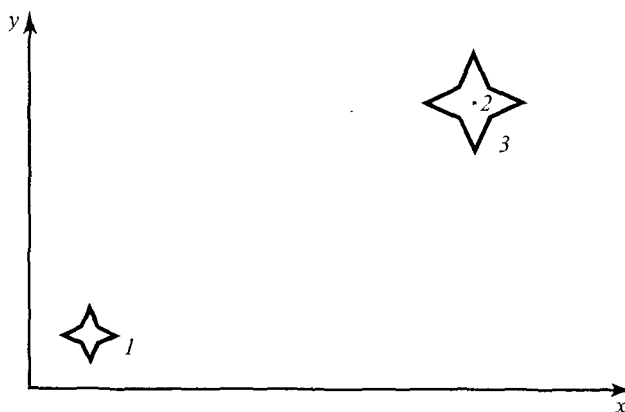
Это само по себе в обычном понимании довольно противоречиво. Если изобразить на плоскости X, Y , где $X = \lg \left(\frac{1}{\alpha_e} \right)$ и

$$Y = \lg (\alpha_g^{-\frac{1}{4}}),$$

эти неравенства графически, то получается, что

этим неравенствам удовлетворяют две области (рис. 6.5), соответствующие устойчивым структурам Вселенных. В области 1 образование сложных структур и жизни невозможно, так как минимальная масса в ней порядка массы протона ($m \sim 10^{-5}$ г). В области 2 будут выполняться условия для существования нашей Вселенной. В области 3 значения фундаментальных констант отличны от наших, но там тоже могут возникать сложные структуры. Однако зоны, где соблюдаются приведенные условия, соответствующие возникновению и наличию жизни, занимают предположительно незначительную часть области 3.

Рис. 6.5. Схематическое изображение областей, соответствующих устойчивым областям Вселенной.



163

6.6.2. Иерархичность структуры Вселенной

Заметим также, что фундаментальные константы играют важную роль в построении масштабов нашего мира. Они позволяют дать некую иерархическую картину структуры Вселенной. Это можно пояснить графически представлениями изменения размеров тел и расстояний, а также их масс (рис. 6.6 и 6.7). Действительно, наиболее естественными и наглядными квалификационными признаками являются размер объекта и его масса. Выделяют микромир с характерными размерами меньше, чем 10^{-8} м (элементарные

частицы, ядра, атомы, молекулы), макромир (макромолекулы, кристаллы жидкости, газы, живые организмы, человек, объекты техники, т.е. макротела) и мегамир (планеты, звезды, галактики). Понятно, что границы микро- и макромира подвижны, и не существует отдельного микромира и отдельного макромира. Естественно, что макрообъекты и мегаобъекты, построены из микрообъектов и в основе макро- и мегаявлений лежат микроявления. Это наглядно видно на примере построения Вселенной из взаимодействующих элементарных частиц в рамках космомикрофизики. На самом деле мы должны понимать, что речь идет лишь о различных уровнях рассмотрения вещества. Микро-, макро- и мегаразмеры объектов соотносятся друг с другом как макро/микро ~ мега/макро. В классической физике отсутствовал объективный критерий отличия макро- от микрообъекта. Это отличие ввел М. Планк: если для рассматриваемого объекта минимальным воздействием (квант действия) на него можно пренебречь, то это макрообъекты, если нельзя — это микрообъект.

Кварки «являются» составной частью протонов и нейтронов, затем из них образуются ядра атомов. Атомы объединяются в молекулы. Если двигаться дальше по шкале размеров тел, то далее следуют обычные макротела, планеты и их системы, звездные скопления галактик и метagalactic, т.е. можно представить переход от микро-, макро- и мега- как в размерах, так и моделях физических процессов. Фундаментальные мировые константы определяют масштабы иерархической структуры материи нашего мира. Очевидно, что сравнительно небольшое их изменение и должно приводить к формированию качественно иного мира, в котором стало бы невозможным образование ныне существующих микро-, макро- и мегаструктур и в целом высокоорганизо-

164

Рис. 6.6. Масштабы Вселенной

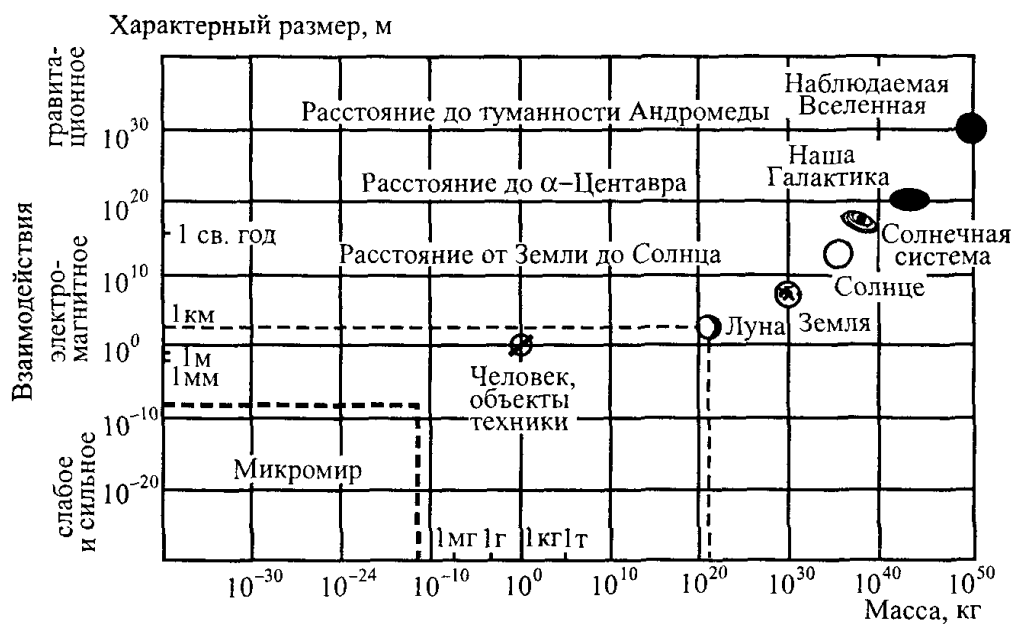
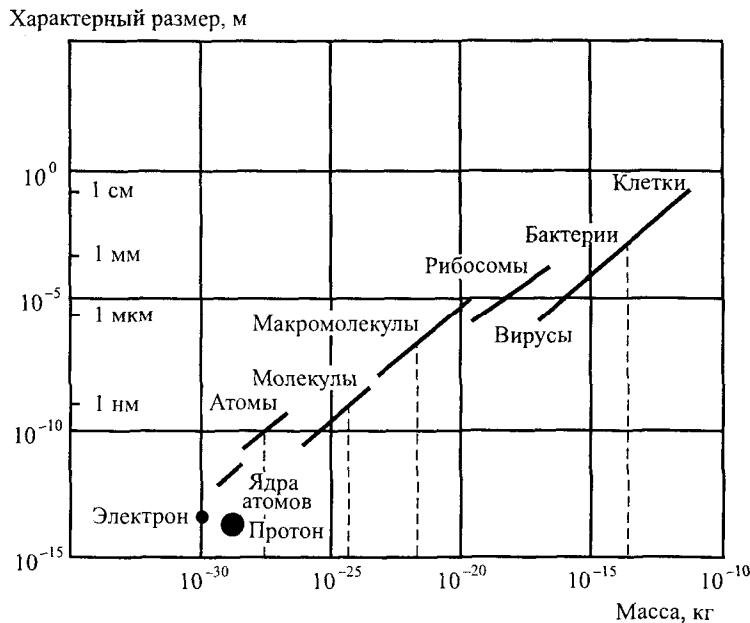


Рис. 6.7. Масштабы микромира

165

ванных форм живой материи. Имеющая место «подгонка» мировых констант, т.е. определенные их значения и взаимоотношения между ними, по существу, и обеспечивает структурную устойчивость нашей Вселенной. Поэтому проблема, казалось бы, абстрактных мировых констант имеет глобальное мировоззренческое значение.

Антропный принцип требует также, чтобы средняя плотность вещества Вселенной $\rho_{\text{ср}}$ была бы близка к критической $\rho_{\text{кр}}$, так как при $\rho_{\text{ср}} \ll \rho_{\text{кр}}$ следует, что время существования нашего мира было бы настолько мало, что за это время жизнь не могла бы возникнуть.

Однако современная наука не дает однозначного ответа, какое из этих отношений между $\rho_{\text{кр}}$ и $\rho_{\text{ср}}$ справедливо, поскольку часть вещества находится в «невидимом» состоянии. Оценка же дает близкие значения $\rho_{\text{кр}} \approx 10^{-29} \text{ г/см}^3$, $\rho_{\text{ср}} \approx 10^{-30} \text{ г/см}^3$, откуда следует, что уже в рамках ньютоновской механики следует возможность нестационарной или, как мы уже знаем, пульсирующей Вселенной. Из таких вариантов эволюции Вселенной можно сделать следующие выводы: из термодинамических соображений следует, что Вселенную в целом можно рассматривать как открытую систему, в которой происходят необратимые и неравновесные процессы. Тогда $\rho_{\text{кр}} > \rho_{\text{ср}}$. Во всяком случае, $\rho_{\text{ср}}$ и $\rho_{\text{кр}}$ близки по своим значениям, и, следовательно, антропный принцип выполняется. Заметим также, что радиус R не должен быть больше критического $R_{\text{кр}} = 2Gm/c^2$, поскольку в нашем миропонимании и признании ОТО скорость разбегания Галактик не должна превышать скорость света ($v < c$). Показано, что при $\rho_{\text{кр}} \approx \rho_{\text{ср}}$ пространство может считаться псевдоевклидовым и число пространственных измерений опять же сводится к трем. Это вообще не удивительно, так как модель развита в рамках теории Ньютона. Заметим еще один интересный результат, полученный в 20-х годах **П. Эренфестом (1880—1933)**: при четном числе пространственных координат не должно существовать замкнутых орбит планет и невозможна передача информации путем волн, что может служить дополнительным свидетельством в пользу трехмерности пространства и правильности антропного принципа.

166

6.7. Антивещество во Вселенной и антигалактики

Поскольку элементарные частицы имеют свои античастицы, т.е. наблюдается некая симметрия, то возникает вопрос, важный для космологии: если во Вселенной есть вещество, то может ли там быть и антивещество? А исходя из тех же принципов симметрии вопрос можно поставить и так: не следует ли предположить, что вещество и антивещество встречаются во Вселенной в равных количествах, т.е. может быть, есть и антивезды, и антигалактики? Как можно отличить антивезду от звезды? Казалось бы, легко: атомы антиводорода испускают антифотоны, и если мы их обнаружим, то фиксируем тем самым антивещество, их излучающее. Фотон тождествен своей

античастице — антифотону, и не существует различия между фотонами, излучаемыми атомами водорода и атомами антиводорода. Поэтому электромагнитными измерениями нельзя отличить вещество от антивещества.

Можно попробовать оценить количество антивещества во Вселенной по энергии аннигиляции при столкновении атомов и антиатомов. Часть этой энергии аннигиляции уносят из Галактики фотоны и нейтрино, а другая часть (электроны и позитроны) удерживается магнитными полями и остается в ней. Эти частицы, сталкиваясь в дальнейшем с атомами или антиатомами, передают свою энергию межзвездному газу. По оценке средней плотности энергии в межзвездном пространстве Галактики можно получить верхний предел концентрации антивещества в межзвездном газе. Он оказался равным крайне малой величине порядка 10^{-7} см^{-3} .

Если бы удалось обнаружить хотя бы одно ядро антигелия, а еще лучше — антиуглерода, то это бы стало серьезным подтверждением гипотезы о существовании антимира. Однако вероятность возникновения антигелия за счет столкновения протонов космических лучей с веществом межзвездного газа пренебрежительно мала, меньше 10^{-11} . В то же время если существуют антизвезды, то в них антиводород должен превращаться в антигелий, а затем в антиуглерод. К настоящему времени антиядер пока не зарегистрировано, хотя с большой уверенностью отрицать их присутствие в космическом газе нельзя.

Так как доля антивещества в межзвездном газе не может превышать 10^{-7} см^{-3} , то звезды нашей Галактики состоят преимущественно

(а скорее всего, исключительно) из обычного вещества. К такому же выводу приводит и оценочный расчет отношения числа нуклонов к числу антинуклонов. Оно оказалось равным 10^8 — 10^{10} . Последний результат получил название барионной асимметрии Вселенной. Из этих оценочных расчетов следует очень важный вывод, что в целом Вселенная изначально с момента БВ была асимметрична, что весьма существенно для физики возникающего и живого. Если же антигалактики предположительно существуют, то должен существовать механизм разделения вещества и антивещества в момент БВ, иначе они просто аннигилируют. Такой механизм пока нам не известен.

На основе последних данных показана возможность существования в нашей Вселенной областей размером порядка 30 кПк, содержащих звездные скопления из антиматерии.

Аннигиляция — это единственный процесс, в котором исчезают обе начальные частицы и вся их масса полностью переходит, например, в энергию излучения. Никакая другая реакция, используемая в энергетике, таким свойством не обладает. И при делении урана, и в процессах термоядерного синтеза в энергию превращается лишь небольшая часть массы покоя частиц, участвующих в реакции. Расчет энергии, выделяющейся на 1 г топлива, показывает, что аннигиляция вещества и антивещества дает 10^{14} Дж, деление урана 10^{11} Дж, сжигание угля $2,9 \cdot 10^4$ Дж. Поэтому аннигиляция антивещества с веществом дает в тысячу раз больше энергии, чем при делении такого же количества урана.

Если бы в нашем распоряжении была небольшая планета из антивещества и если бы умели извлечь эту энергию аннигиляции и перевести ее в электрическую, то все проблемы с энергетическим кризисом сразу отпали. Тогда для обеспечения Земли годовым запасом электроэнергии надо отколоть от такой антипланеты и подвергнуть аннигиляции кусок антивещества массой всего лишь 1000 кг. Сравните эти 1000 кг с сотнями миллионов тонн угля и нефти, которые добывают ежегодно, чтобы решить ту же самую задачу! Кроме того, антивещество было бы идеальным топливом еще и потому, что оно не загрязняло бы так окружающую среду, как нынешняя энергетика. Однако после аннигиляции в конечном счете остаются только γ кванты с высокой проникающей способностью.

168

6.8. Механизм образования и эволюции звезд

Рассмотрим теперь механизм зарождения и развития звезд, а также в связи с этим классификацию звезд и методы их наблюдения. Согласно гамовской модели БВ все элементы Вселенной образовались в результате термоядерных реакций. При гравитационной конденсации звезды из облака межзвездных газа и пыли высвобождается потенциальная энергия. Часть этой энергии расходуется на излучение, а остальная часть

преобразуется в кинетическую энергию конденсирующихся атомов, что повышает температуру звезды. При температурах $T \sim 10^7$ К и плотности ~ 100 г/см³ начинаются термоядерные реакции, которые могут идти в зависимости от первоначального состава межзвездной пыли и звезд по двум схемам, или цепочкам. Большинство звезд состоит в основном из водорода (60 — 90% по массе), гелия (10 — 40%) и тяжелых элементов (0,1 — 3%). Звезды, в состав которых входят кроме водорода и гелия тяжелые элементы, выброшенные при вспышках так называемых новых или взрывах сверхновых звезд, называются звездами населения I.

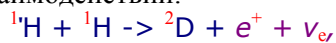
Новыми звезды называются так потому, что в древности полагали, что это действительно новые звезды и до взрыва их нельзя было видеть. На самом деле в некоторых звездах возникают неустойчивости, происходит извержение вещества в пространство, и светимость ее резко увеличивается. Частота извержений изменяется от нескольких месяцев до лет. У остальных звезд извержения бывают примерно раз в 1000 лет. Сверхновые звезды фактически связаны со взрывом массивной звезды, что бывает один раз в несколько столетий. Сейчас за 10 веков обнаружено 7 сверхновых звезд. Интенсивность излучения сверхновых звезд в 10^4 раз больше, чем у новых. Наше Солнце с 74% H, 24% He и 2% тяжелых элементов есть обычная звезда населения I. Звезды населения II образовались из первичного водорода и гелия и в основном содержат гораздо меньше остаточного материала других звезд. Они содержат много водорода, мало гелия и очень мало тяжелых элементов.

6.8.1. Протон-протонный цикл

В первой термоядерной реакции, происходящей при конденсации из межзвездной пыли, участвует лишь водород. При достижении указанных температур и плотностей газа происходит

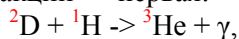
169

реакция **слияния** (присоединения) двух протонов в результате слабых взаимодействий:

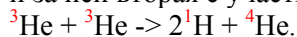


где ${}^2\text{D}$ — ядро дейтерия, e^+ — позитрон, ν_e — электронное нейтрино.

Заметим, что мог бы образоваться изотоп ${}^2\text{He}$, но его в природе не обнаружено. Как только в результате данной реакции образуется ${}^2\text{D}$, начинаются еще две дополнительные реакции — первая:

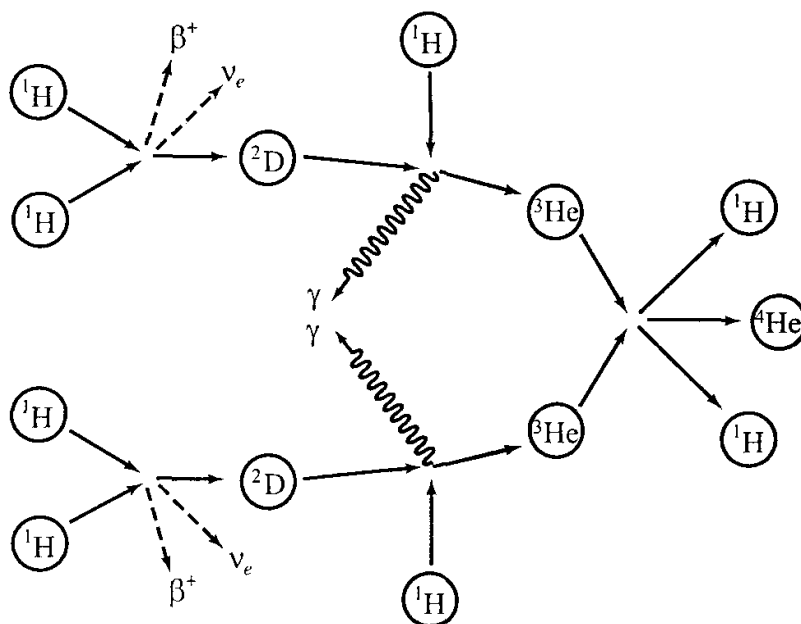


и за ней вторая с участием двух ядер ${}^3\text{He}$:



Конечным результатом этой последовательности реакций, которая называется *протон-протонной цепочкой* или водородным циклом, является превращение четырех атомов водорода в одно ядро гелия (рис. 6.8).

Полная энергия, выделяющаяся при такой реакции, составляет 26,76 МэВ. Позитроны и кванты, возникающие в этих реакциях, поглощаются в центре звезды. Нейтрино из-за слабого

Рис. 6.8. Схематическое изображение протон-протонной цепочки.

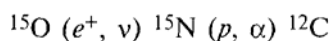
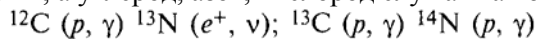
170

взаимодействия, покидает звезду, унося свою энергию. С учетом потери этой энергии в каждой протон—протонной цепочке выделяется 26,3 МэВ, или 6,5 МэВ на нуклон. Каждый грамм водорода, превращаясь в гелий, высвобождает примерно $6 \cdot 10^{18}$ эрг. Поэтому Солнце, где каждую секунду в реакцию вступает $\sim 6 \cdot 10^{14}$ г водорода, выделяет мощность $\sim 4 \cdot 10^{26}$ Вт. Обычно условия, при которых идут термоядерные реакции, существуют лишь внутри звезды. Испускаемый свет с поверхности звезды (а это фотоны) характеризует более холодное вещество.

В целом фотоны оказывают радиационное давление на внешний слой звездного газа. Из ОТО известно, что масса m обладает энергией $E = mc^2$. И наоборот, энергии E соответствует определенная масса m . Следовательно, электромагнитное излучение с энергией E обладает эквивалентной ей массой $m = E/c^2$. И поскольку электромагнитное излучение распространяется со скоростью света c , то оно имеет и импульс $p = mc = E/c$ и, следовательно, оказывает радиационное давление. В равновесии действующая на любой малый объем звездного вещества сила, обусловленная гравитацией, уравнивается радиационным давлением. Как только термоядерные реакции обеспечивают достаточное излучение для того, чтобы уравновесить направленную внутрь гравитационную силу, сжатие звезды прекращается. Это подход к пониманию пульсирующей звезды, как раньше к целой Вселенной.

6.8.2. Углеродно-азотный цикл

Если в звезде имеется некоторое количество углерода, то может осуществиться еще одна цепочка реакций, в результате чего также происходит превращение водорода в гелий, а углерод, азот, кислород служат как бы катализаторами:

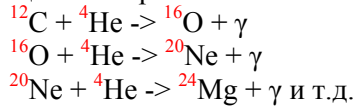


Согласно этой схеме три протона захватываются в следующих друг за другом реакциях (p, γ) и β -распадах. А после захвата четвертого протона и излучения α -частицы вновь образуется ядро ^{12}C . Конечный результат этой цепочки тот же, что и в рассмотренной протон-протонной: превращение четырех атомов водорода в один атом гелия. Так как в этой последовательности участвуют и образуются атомы углерода и азота, то ее и называ-

171

ют **углеродно-азотным циклом**. Если в состав звезды входит углерод и температура выше $2 \cdot 10^7$ К, то основным источником энергии является углеродно-азотный цикл. Более массивные и яркие, и поэтому более горячие, звезды выделяют энергию за счет углеродно-азотного цикла. Примером таких звезд является одна из самых ярких звезд Северного полушария — Сириус. Основным источником энергии Солнца служит протон-протонная цепочка.

В результате других ядерных реакций, в том числе с участием нейтронов (образование элементов с атомным номером больше 82), могут образовываться и тяжелые элементы. При реакции образования углерода из трех атомов гелия $3\text{}^4\text{He} \rightarrow \text{}^{12}\text{C}$ наблюдается также процесс выгорания гелия по следующей цепочке:



6.8.3. Эволюция звезд

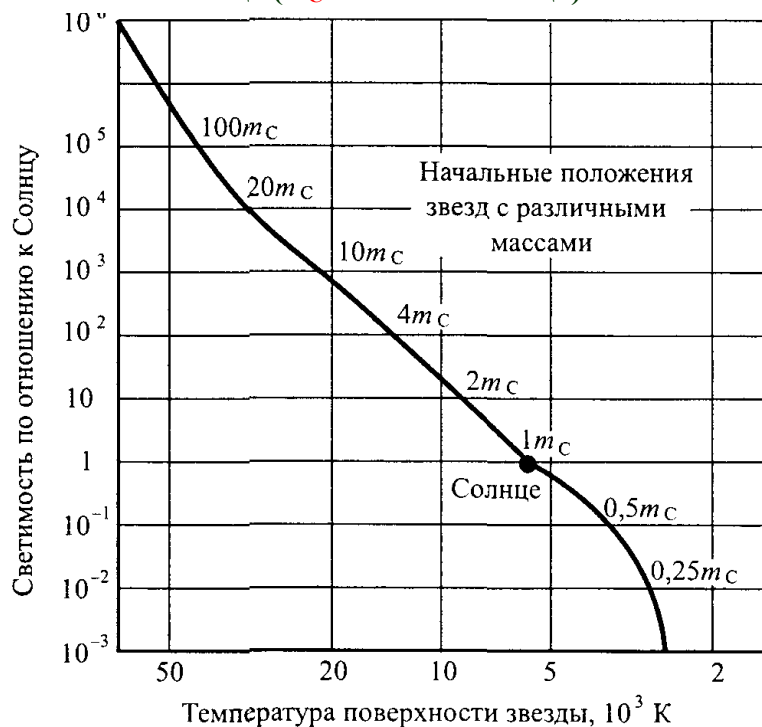
Под действием сил гравитации звезды конденсируются из межзвездной пыли и газа, сжимаются, разогреваются, и начинаются термоядерные реакции. Звезды, сжигая ядерное горючее, гибнут, взрываясь в виде сверхновых, или просто угасают, превращаясь в куски ядерного пепла. При взаимодействии гравитационных сил и радиационного давления наступает равновесие, и звезда стабилизируется и приобретает характерные для нее размеры и светимость. Чтобы проследить за эволюцией звезд, достаточно знать две величины, которые сравнительно легко определить: собственную *светимость* и *цвет, характеризующий температуру поверхности*. Поэтому в этих координатах можно построить зависимость светимости от цвета, и поскольку каждая звезда в любой период жизни имеет определенные светимость и цвет, ее положение можно отразить точкой на этой диаграмме. Так как звезды изменяются со временем, то в течение «жизни» звезды представляющая ее точка передвигается по этой диаграмме, описывая некую кривую. Таким образом, можно проследить процесс жизни и угасания звезды.

Динамика поведения звезды зависит только от двух факторов: массы вещества, из которого она конденсировалась, и состава вещества. В начальный период жизни звезды играет роль

172
только ее масса. Если сравнивать эволюцию звезд, химический состав которых подобен составу Солнца, т.е. звезд населения I, то окажется, что на протяжении большей части своей истории эти звезды занимают положения вблизи так называемой *главной последовательности* на диаграмме Герцшпрунга — Рассела (рис. 6.9). Массивные звезды оказываются более горячими и яркими, менее массивные звезды — холодные и тусклые. Так как большую часть своей жизни звезда стабильна, диаграмма «цвет-светимость» для любой группы звезд представляет собой распределение точек вдоль главной последовательности.

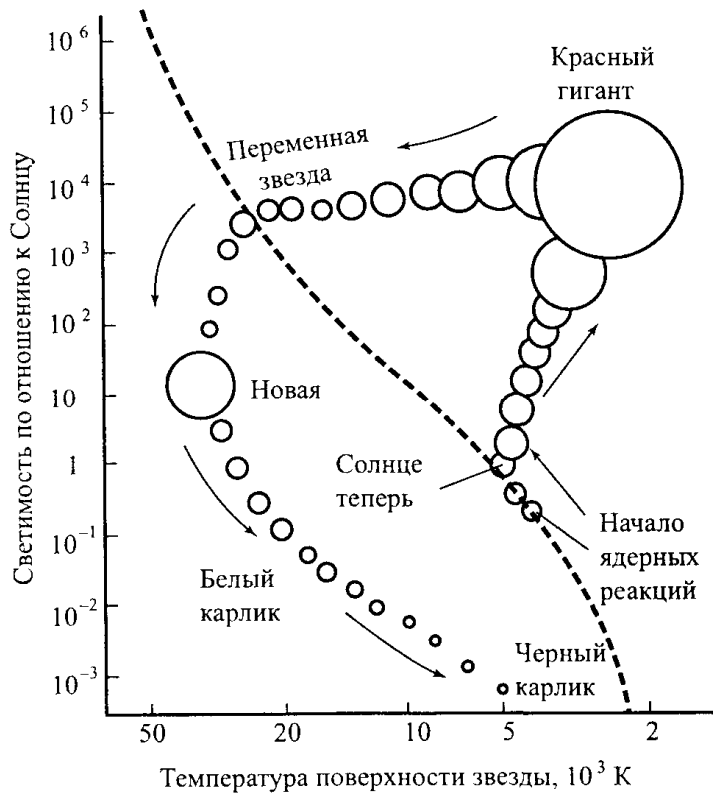
Однако на диаграмме наблюдают и отклонения от главной последовательности, что связано с начальным составом, массой звезды и ее переходом от одного типа к другому. Солнце перемещается вдоль главной последовательности уже $4,5 \cdot 10^9$ лет и будет продолжать это движение еще около $5 \cdot 10^9$ лет, а затем перейдет к последним этапам своей эволюции. Более массивные звезды проходят этот путь быстрее, поскольку они расположены на главной последовательности более высоко, и время прохож-

Рис. 6.9. Главная последовательность звезд населения I, к которым относится Солнце ($m_{\odot}$ — масса Солнца).



173

дения цикла составляет $\sim 10^7$ лет. При уменьшении количества водорода внутри звезды она сжимается, что приводит к увеличению температуры и началу выгорания гелия. При превращении гелия в углерод выделяется большое количество энергии и поэтому светимость звезды возрастает. Темпы образования энергии приводят к росту радиационного давления на внешнем слое звезды и его расширению. В результате расширения газ охлаждается, излучаемый свет становится более красным и звезда резко смещается от главной последовательности (рис. 6.10). Процесс расширения и покраснения идет до увеличения диаметра звезды в 200—300 раз, после чего она становится красным гигантом, таким, как, например, звезда Бетельгейзе из созвездия Ориона. Эволюция нашего Солнца к стадии красного гиганта приведет к тому, что оно сначала сожжет Землю из-за выделения огромного количества энергии при превращении гелия в водород, а затем в результате гигантского расширения поглотит ее останки. По рас-

Рис. 6.10. Диаграмма эволюции звезд населения I.

174

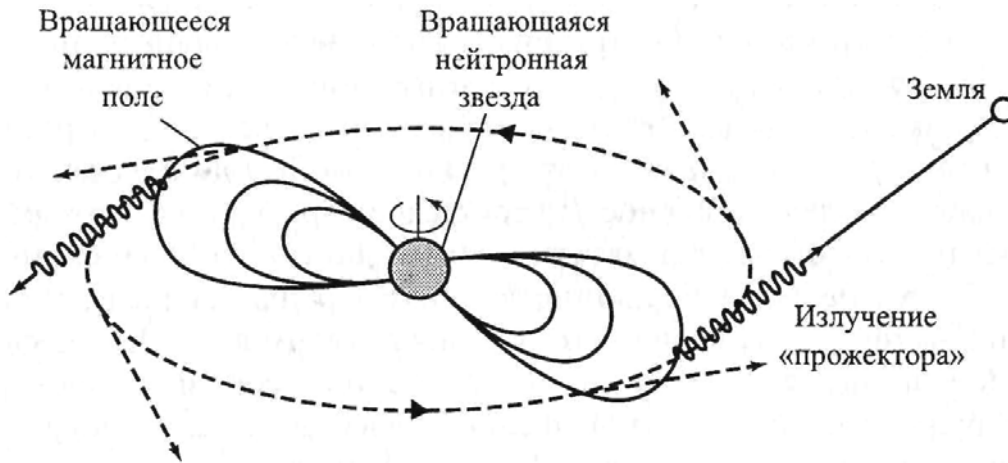
четам астрономов до этого момента пройдет около 5 миллиардов лет. Время пребывания обычной звезды в виде красного гиганта составляет около 10^7 лет. Достигнув на этой стадии максимальных размеров, звезда быстро смещается влево на диаграмме «светимость—цвет». Переход от красного гиганта до пересечения с главной последовательностью составляет примерно 1% от всего времени существования звезды (для Солнца — 100 миллионов лет.) В этот период у большинства звезд нарушается равновесие, и они начинают пульсировать, изменяя светимость. Их называют переменными звездами. К ним относятся также нестационарные пульсирующие звезды-цефеиды. Далее эволюция идет в зависимости от массы звезды. Если она меньше 1,4 солнечной массы («легкая» звезда), то при заканчивании ядерного горючего звезда на диаграмме «светимость—цвет» смещается вниз, а затем охлаждается и угасает, проходя через стадию неустойчивости, характеризуемую периодическими возрастаниями светимости. Такую звезду называют новой; она постепенно переходит в стадию белого карлика, еще более охлаждаясь, — в стадию красного карлика и наконец — в стадию черного карлика. Эволюция углеродно-кислородной звезды, масса которой больше 1,4 солнечной массы, кончается эффектным гигантским взрывом — рождением сверхновой звезды.

Астрофизики показали, что при возникающих в этом случае высоких давлениях и температурах образуются условия для образования нейтронов. В результате электроны, как бы «вжимаются» в ядра, исчезает электростатическое отталкивание и под действием тяготения нейтронное вещество коллапсирует, образуя сверхплотный шар нейтронной звезды. Он настолько плотен, что обычный распад нейтрона в нем оказывается запрещенным.

6.8.4. Пульсары

Сравнительно недавно (в 1968 г.) были обнаружены еще одни небесные объекты, являющиеся источниками переменного радиоизлучения, причем пульсация происходит с частотой около 1 колебания в секунду, которые получили название *пульсаров*. Голдом была предложена модель, согласно которой пульсар — это вращающаяся нейтронная звезда. Время жизни пульсара $\sim 10^8$ лет. Механизм возникновения переменного излучения состоит в том, что электроны и протоны захватываются сверхсильным магнитным полем звезды. Вместе со звездой вращаются

175

Рис. 6.11. Модель пульсара, предложенная Голдом.

магнитное поле и захваченные им частицы (рис. 6.11). Вблизи внешней границы плазмы, которая удерживается магнитным полем, частицы движутся со скоростями, близкими к световой. Согласно квантовой электродинамике они испытывают ускорение и, следовательно, излучают. Ускорение очень большое, и интенсивность излучения поэтому велика. Следствием релятивистского характера движения частиц является то, что излучение в основном испускается вдоль направления движения частиц. Поскольку вращение происходит вместе с магнитным полем звезды, то она излучает, как «прожектор», луч которого обегает небо. При каждом обороте пульсара на Земле наблюдается вспышка.

Также недавно, в 1972 г., экспериментально были обнаружены всплески космического гамма-излучения, когда американцы запустили спутник «Вела» (название — от испанского слова *velar* — быть на страже), желая установить, не производят ли русские тайные испытания ядерных устройств, при которых должны возникать кратковременные всплески гамма-излучения большой энергии. Оказалось, что всплески длительностью порядка секунды происходят примерно раз в сутки, но их источники равномерно распределены по всему небу и они происходят где-то в дальнем Космосе. Предполагают, что гамма-всплеск происходит при слиянии пары нейтронных звезд, падении нейтронной звезды на черную дыру или слиянии двух черных дыр. При этом выделяется гигантская энергия порядка $10^{39} - 10^{40}$ Дж в области 10 — 100 км за время около секунды. Согласно теории

освобожденная при столкновении черных дыр энергия может привести также к распространению в космосе гравитационных волн.

В ноябре 1999 г. появилось сообщение об экспериментах на релятивистском коллайдере (ускорителе — сталкивателе тяжелых ионов, в котором частицы разгоняются до скорости, равной 99,9 скорости света) в Брукхевенской национальной лаборатории США по получению кварк-глюонной плазмы (КГП) — того самого состояния вещества, в котором находилась масса нашей Вселенной через 10^{-5} с после БВ. В КГП с плотностью $3,6 \cdot 10^6$ т/мм³ и температурой $1,5 \cdot 10^9$ К кварки теряют свою привязанность к отдельному адрону и начинают «чувствовать» кварки адронов-соседей. Весь объем ядра заполняется кварками и глюонами, но в целом состояние КГП очень неустойчиво, и кварки снова склеиваются в адроны.

Другими словами, экспериментаторы решили рукотворно на Земле осуществить процесс, напоминающий Большой Взрыв! Это вызвало неоднозначную реакцию даже среди профессионалов-физиков. Дело в том, что в таких условиях может возникнуть материя из «странных» кварков, начаться неконтролируемая реакция по превращению всей «нашей» материи в «странную материю», в новое состояние со сверхплотным веществом и температурой в триллион градусов, и в итоге может образоваться черная дыра. Если теоретики не ошибаются, что рождение Вселенной вызвал БВ, а экспериментаторы смогут воссоздать его на Земле, то об успешности такого моделирования судить придется уже не нам!

В связи с проблемой СЕТИ можно предположить, что молчание далеких цивилизаций и вспышки сверхновых звезд могли быть вызваны энтузиастами, которым не терпелось узнать правду о зарождении Вселенной и даже посоревноваться с природой. Результатом такой спешки и могли быть очередные черные дыры во Вселенной.

В связи с классификацией звезд и происходящих в них атомных и ядерных процессов и испусканием различных излучений остановимся кратко на неоптических методах наблюдений астрофизических объектов, возникших из-за того, что видимый свет, как видно на примере «скрытой» массы, несет не всю информацию о том, что происходит в Космосе. Инфракрасное и рентгеновское излучения сильно поглощаются атмосферой Земли.

ли. Нейтрино вообще слабо взаимодействует с веществом. Поэтому для исследования инфракрасного и рентгеновского излучений используют ракеты и спутники, а для наблюдения нейтрино строят глубокие шахты, чтобы максимально защитить детекторы от фона. Например, такая лаборатория имеется в Баксанском ущелье на Кавказе. Имеются также проекты использования для этой цели толщи вод Байкала. В июне 2001 г. в нейтринной обсерватории Садбери установили, что (анти)нейтрино, испускаемое Солнцем за время движения к нашей планете, меняет свой тип. Таким образом, найдено объяснение недостатка количества солнечных (анти)нейтрино, фиксируемых на Земле. Это крупное открытие с очень значительной долей достоверности позволяет считать, что нейтрино имеет массу покоя. Методами радиоастрономии были обнаружены радиоисточники в нашей Галактике, часть которых (около 200) удалось отождествить с видимыми галактиками или звездами. Первый внегалактический источник, расположенный в созвездии Лебедь, обнаружен в 1948 г.

В 1999 г. на рентгеновской установке Чандра (названная в честь Нобелевского лауреата индийского физика С. Чандрасекхара), установленной на американском спутнике, была обнаружена нейтронная звезда, оставшаяся от сверхновой звезды Кассиопея А, вспыхнувшей около 300 лет назад. Жесткое рентгеновское излучение от сверхновой звезды, находящейся в Большом Магеллановом облаке, было обнаружено при помощи обсерватории «Квант», установленной на нашем орбитальном комплексе «Мир». Наблюдения на «Кванте» и другом российском рентгеновском телескопе «Гранат» позволили подтвердить гипотезу о существовании в центре нашей Галактики массивной черной дыры.

6.8.5. Квазары

В начале 60-х годов были обнаружены такие радиоисточники, которые оказались связанными не с обычными радиогалактиками, а с необычными голубого цвета объектами, напоминающими звезды. Так как они малы по сравнению с размерами галактик, их назвали квазизвездными объектами или кратко — *квазарами*. Их происхождение и строение в настоящее время не ясны. Однако из исследования их спектров было обнаружено, что для них наблюдаются исключительно большие красные смещения. А это, как известно, связано с расширением Вселенной. Поэтому мож-

но предполагать, что квазары — наиболее удаленные и быстро-удаляющиеся объекты во Вселенной. Яркость квазаров такова, что они должны иметь фантастическую мощность излучения: $10^{46} - 10^{47}$ эрг/с, что в $10^{12} - 10^{13}$ раз превышает энергию излучения Солнца. В таких условиях квазар за месяц должен испускать энергию, соответствующую массе Солнца.

Для объяснения такой огромной мощности расхода энергии квазары должны иметь массу, в 10^9 раз превышающую массу Солнца. Такой квазар, например, размером с Марс, светил бы в триллион раз ярче Солнца. Предполагают, что черные дыры являются реликтом квазаров и появились раньше, чем большинство звезд Галактики. Если согласиться с тем, что ЧД образовались из квазаров, то они должны нести информацию от эры квазаров — состояния, в котором находилась Вселенная миллиарды лет назад. Миллионы звезд, включая и нашу Солнечную систему, вращаются вокруг центра, который расположен в направлении созвездия Стрельца и не виден в телескопы, поскольку заслонен облаками газа. Наша Солнечная система расположена ближе к краю галактики Млечного Пути в рукаве Ориона. Линейный размер нашей Галактики 100 тыс. световых лет, толщина — около 1500 световых лет. Солнце находится на расстоянии 30 тыс. световых лет от центра Галактики и вращается вокруг этого центра со скоростью 250 км/с. Земля же вращается вокруг Солнца со скоростью 30 км/с. В центре этой космической «карусели» и находится черная дыра массой, в миллионы раз превышающей массу Солнца.

На основе изложенных выше положений постнеклассической физики можно сделать

некоторые обобщения относительно эволюции Вселенной. В современном представлении пространство не есть однородное и изотропное пустоеместилище материальных объектов, как это предполагалось в классическом естествознании. Пространство взаимодействует с материальными объектами, находящимися в нем, и искривляется вблизи гравитирующих масс. Гравитационное поле искривляет четырехмерное пространство—время, и в упомянутой модели геометродинамики искривление пространства сложной топологии порождает все многообразие материального мира.

Согласно ОТО Эйнштейна, гравитация скрытых космических объектов должна воздействовать на излучение ближайших к ним галактик как гравитационная линза. Лучи света проходят вблизи невидимой «скрытой» материи, подвергаются воздействию ее

179

гравитационного поля и изгибаются. Предполагают, что в искривлении излучения закодирована информация о местоположении этой невидимой в оптическом диапазоне материи. Определив вероятные искажения светового «портрета», можно оценить и местоположение ответственных за них невидимых объектов. Космологи полагают, что выяснение объема и положения «скрытой» материи позволит найти ответ на один из главных вопросов космологии: будет ли и дальше Вселенная расширяться или наступит в дальнейшем ее сжатие? После открытия космической антигравитации были получены данные об ускорении разбегания галактик, что подтверждает гипотезу Эйнштейна.

В теории раздувающейся Вселенной (РВ), связанной с возникновением материального мира из вакуума, также показано, что Вселенная и галактики разбегаются не в пустом абсолютном пространстве классической механики, а в пространстве, которое саморасширяется. С таким пространством оказывается связанным и более глубокое понимание вакуума как совокупности виртуальных состояний, виртуальных пар с бесконечной плотностью энергии. В современной квантовой теории предполагается, что существует множество видов вакуума, которые реализуются с помощью спонтанного нарушения симметрии. Из хаоса материальных частиц и процессов природа гармонично выстраивает свой порядок в мире. В этом смысле фундаментальные и элементарные частицы оказываются продуктами самоорганизации физического вакуума.

По существу все модели происхождения Вселенной связаны с процессами самоорганизации материи, затрагивающими огромное множество явлений и процессов окружающего нас мира независимо от нас и по своим еще не до конца познанным законам. Синергетика в этом отношении помогает нам осознать, что материальный и духовный мир — это мир самоорганизующихся систем, мир нелинейных процессов, мир кооперативных явлений. Более глубокий взгляд на все сущее в мире приводит к пониманию, что мир в целом вокруг нас является нелинейным, а классическая физика видела этот мир, как говорится, через линейные очки. Расширяя границы нашего знания, мы не должны «навязывать» природе свои законы, может быть, удобные и понятные нам, но еще не значит — правильные. Используя не опровергнутые физические законы, разрабатывая новые модели, мы приходим на новом витке знаний к пониманию того, что наш мир холистичен и познавать его надо с этих позиций.

180

Что касается физики Вселенной, то можно сказать, что в настоящее время мы имеем о ней некоторые представления, накопили много сведений о конкретных физических явлениях, но тем не менее ощущается, что вопросов больше, чем ответов. Однако возможность поставить важный и правильно сформулированный вопрос означает шаг по пути в познании законов природы, так как ученые начинают понимать, в каком направлении двигаться и как искать эти ответы. Несомненно, в будущем будут получены ответы, в том числе и на те вопросы, которые кратко обсуждались в учебнике, но, естественно, возникнут новые фундаментальные проблемы. Как сказал Дж. Уиллер, *«мы живем на острове знаний, окруженном морем нашей неосведомленности. По мере того, как наш остров расширяет свои границы, прилегающая к ним область непознанного тоже расширяется»*. Тем не менее в этом — сущность научного познания мира, в том числе и на основе физики. В этом и очарование как физики, так и других наук.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Опишите модель стационарной Вселенной Эйнштейна.
2. В чем смысл модели Большого Взрыва? Кем она предложена и каково ее содержание?
3. Какова модель расширяющейся Вселенной?
4. Какие имеются подтверждения Большого Взрыва и расширяющейся Вселенной?
5. Что такое реликтовое излучение?

6. Объясните модель пульсирующей Вселенной.
7. Какие еще сценарии происхождения Вселенной Вы знаете?
8. Как развивалась Вселенная после Большого Взрыва?
9. Как можно оценить возраст Вселенной?
10. Какую можно дать классификацию элементарных частиц? Как выглядит современная картина строения вещества?
11. Что такое космофизика?
12. Какие фундаментальные взаимодействия и их константы Вы знаете?
13. Опишите структуру материи Вселенной. Что такое элементарные частицы?
14. В чем состоит идея «великого объединения полей»?
15. Как связан антропный принцип с «подгонкой» фундаментальных констант и устойчивостью Вселенной?
16. Как Вы понимаете иерархическую структуру материи и уровни организации Вселенной?
17. Что такое черная дыра?
18. Что надо понимать под античастицами и антивеществом? Какие доказательства известны, что вещества во Вселенной больше, чем антивещества?
19. Что можно сказать о механизме образования и эволюции звезд?
20. Что описывает главная последовательность и какова классификация звезд?
21. Какие схемы образования элементов во Вселенной Вы знаете?

ЛИТЕРАТУРА

[6](#), [8](#), [17](#), [18](#), [26](#), [28](#), [32](#), [35](#), [39](#), [44](#), [47](#), [50](#), [56](#), [61](#), [78](#), [84](#), [86](#), [97](#), [100](#), [101](#), [104](#), [112](#), [121](#), [122](#), [133](#), [142](#), [148](#).

181

Глава 7. ПРОБЛЕМА «ПОРЯДОК—БЕСПОРЯДОК» В ПРИРОДЕ И ОБЩЕСТВЕ. СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

Мир беспорядочно усеян формулами.

П. Валери

Я склонен думать, что случайность — более фундаментальная концепция, нежели причинность.

М. Борн

Термодинамика — старая властная тетя, которую все недолюбливают, но которая всегда права.

Физическая шутка

В эпохах, умах, коридорах, где разум, канон, габарит, — есть области, скрывшись в которых разнужданный хаос царит.

И. Губерман

Рассматривать и изучать явления, связанные с состояниями порядка и беспорядка в природе, естественно, начали достаточно давно, но только с введением физических моделей описания можно говорить о формировании некоторых количественных законов, известных в классической физике как термодинамика обратимых равновесных процессов.

Не останавливаясь здесь подробно на историко-познавательном аспекте создания и воплощения идей **Н. Карно (1796—1832)**, Больцмана, **Клаузиуса (1822—1888)**, Кельвина (**У. Томсон**) и многих других выдающихся творцов классической термодинамики (для этого мы и изучали когда-то физику), отметим, что из известных первого начала

$\delta Q = dU + \delta A$ и второго начала

$$dS = \frac{\delta Q}{dT},$$

где δQ и δA — элементарные теплота и работа, dU — изменение внутренней энергии, dT — изменение температуры, dS — изменение энтропии, со всей необходимостью вытекает, что в природе, точнее в предложенной физической модели происходящих в ней энергетических процессов, господствует тенденция к рассеянию энергии и выравниванию температуры. Кстати, американские студенты-физики, чтобы лучше помнить законы термодинамики, заучивают следующую фразу: «Если первый закон утверждает, что вы не можете выиграть, то второй закон говорит, что у вас даже нет шанса остаться при своих».

182

Связывая эти закономерности со статистическим (вероятностным) смыслом второго начала термодинамики:

$$S = k_0 \ln W,$$

заметим, что это однозначно означает стремление рассматриваемой термодинамической системы к равновесию, переход от более упорядоченных структур к беспорядку, хаосу. Кстати, формула для энтропии настолько знаменита, что написана в качестве эпитафии на надгробном камне на могиле Больцмана. И поэтому, вслед за Ю. Климонтовичем, справедливо спросить: если состояние вещества во Вселенной меняется в единственном направлении, то почему мы еще живем, поскольку мы знаем, что дарвиновская парадигма эволюции жизни — от простых форм к сложным, более упорядоченным, противоречит этой физической модели?!

Установление законов классической термодинамики Больцманом сыграло, конечно, огромную революционную роль в физике и технике XIX в., и было предложено называть этот век веком Больцмана, однако сам Больцман предложил считать XIX век — веком Дарвина. Это говорит не только о скромности Больцмана, но и понимании им неудовлетворительности своей теории для объяснения явлений природы. Тем самым он поставил принцип биологической эволюции на первое место. Долгое время такое положение, когда физика не объясняла биологическую эволюцию, оставалось очередным парадоксом естественных наук. Но пути преодоления этого кризиса были найдены в расширении представления о природных объектах и системах как о замкнутых с протеканием в них равновесных и обратимых процессов на более реальный взгляд, что такие системы являются открытыми и происходит обмен энергией, веществом и информацией между ними и окружающей средой. Показано, что в природных системах происходят сложные и неоднозначные процессы самоорганизации материи с учетом коллективных и когерентных, т.е. взаимосогласованных, взаимодействий объектов.

7.1. Неравновесная термодинамика и синергетика

Синергетический подход к рассмотрению необратимых неравновесных процессов позволяет объединить дарвиновский и больцмановский подходы в современную парадигму эволюции природы. Отмечая разницу в подходах Дарвина и Больцмана,

183

можно подчеркнуть и то, что их объединяет: случайность процессов, происходящих как в живой, так и в неживой природе, что следует из вероятностного характера законов, которые описывают развитие систем. В 1945 г. Шрёдингер предположил, что в живом веществе *«преобладает новый тип физических законов»* [25]. В настоящее время существует несколько иное понимание ситуации: по-видимому, физические законы и для неживого и живого одинаковы. Разными являются лишь конкретные механизмы. И, кроме того, мы расширили физическую модель описания процесса в реальных системах.

Рассмотрим это несколько подробнее с использованием идей и терминологии И. Р. Пригожина [20, 21, 111, 112] по неравновесной термодинамике и Г. Хакена (р. 1927) по механике неустойчивых систем. Из классической термодинамики (во времена Больцмана она была неклассической физикой) следовало, что рост энтропии всегда означал необратимость термодинамического процесса. Известно, что применение классической термодинамики Больцмана в космологии приводило к представлениям о «тепловой смерти» Вселенной и противоречило всем имеющимся сценариям происхождения Вселенной: от древних миров и представлений античной науки до современных и подчас экстравагантных астрофизических моделей. Гипотеза о «тепловой смерти» Вселенной возникла из представления о выравнивании температур и установлении полного равновесия во всей Вселенной согласно второму закону равновесной термодинамики. В рамках этой термодинамики ошибочное представление преодолевалось идеей, что распределение вещества во Вселенной вследствие гравитации не соответствует максимуму энтропии, потому, что не является наиболее вероятным. Существующие во Вселенной процессы и в будущем не приведут к однородному изотермическому состоянию — «тепловой смерти».

Все эти модели говорят о возникновении Вселенной из хаоса и отрицают рост беспорядка в дальнейшей эволюции Вселенной. Вывод о росте беспорядка противоречит также и химическому, и биологическому развитию систем. Уместно подчеркнуть, что в отличие от различных механик (ньютоновской, квантовой и релятивистской) рост энтропии по второму началу выделяет направление термодинамических процессов, что и означает, что время течет только в одном направлении. Необратимые процессы подтверждают «стрелу времени»!

184

Новый синергетический подход означает необходимость рассмотрения физики процессов в открытых системах, из которых состоит весь реальный мир, и проявляющихся в живой и неживой природе, а также и в общественных и социальных системах. Для этого понадобились новые идеи, новые образы и новые понятия, а также естественный пересмотр старых понятий. Прежде всего это относится к представлению хаоса и порядка. Интуитивно хаос определяют от противного: хаос — это то, что отличается от порядка, некоей структуры. А под структурой понимается какой-то объект, система, обладающие устойчивостью, жесткостью связей внутри них, способностью вследствие этого сопротивляться внешним и внутренним изменениям, как бы не изменяясь в целом. В качестве примеров можно привести регулярную кристаллическую решетку твердых тел и нерегулярную структуру живого организма, состоящую из разнородных живых клеток, но организованных в нем по сложному плану.

7.2. Динамика хаоса и порядка

Однако выяснилось, что на самом деле хаос — не отсутствие структуры, а тоже структура, но определенного типа. Это впервые было отмечено в работах Э. Лоренца, который в 1963 г. попытался математически описать на основе тепловой конвекции в атмосфере и с учетом земного тяготения глобальные метеорологические процессы на нашей планете. Было показано, что хаотический процесс может быть описан математически — довольно сложными нелинейными уравнениями, с привлечением численных компьютерных расчетов, что означает наличие в нем некоего внутреннего порядка, пусть и достаточно сложного. В расчетах Лоренц применил метод математического моделирования с использованием трех дифференциальных нелинейных уравнений.

В действительности в открытых системах ввиду их сложности возможно образование различных структур. Поэтому имеет смысл рассматривать степень неупорядоченности той или иной структуры и количественные критерии упорядоченности или хаотичности различных состояний открытых систем. В качестве критериев можно было бы ввести, например, меру беспорядка и меру порядка, между которыми должны быть гармонические соотношения целого и его частей по «золотому сечению» Леонардо

да Винчи. Эти две меры могут быть выражены через известный закон сохранения субстанции системы:

$$A + B = 1,$$

который в принципе отражает устойчивость системы через ее элементы А и В. Одно связано с другим — это опять же некая аналогия с уже рассмотренным в гл. 2 принципом неопределенности Бора.

Отсюда вытекает, что понятие структуры становится ключевым для теории самоорганизации и, следовательно, для синергетики — понятие, которое ввел Г. Хакен. Оно означает совместное действие, совместное привлечение и исследование различными методами многих явлений на основе общего подхода. С точки зрения физики синергетические процессы можно трактовать и как совместные, коллективные и когерентные взаимодействия микро- и макрообъектов и применять эти представления к описанию процессов в природе и обществе.

Можно считать, что процессы самоорганизации участвуют в эволюции систем наряду с процессами деградации. Здесь важен критерий самоорганизации, связанный также со стремлением системы к равновесию или неравновесию, устойчивому или неустойчивому состоянию, причем далеко не всегда равновесное должно ассоциироваться с устойчивостью. Оказалось, что и вдали от равновесия могут образовываться устойчивые структуры, и неравновесные структуры могут быть устойчивыми.

7.3. Модель Э. Лоренца

Рассмотрим качественно модель атмосферных процессов Э. Лоренца. Конвективное движение молекул воздуха в атмосфере возникает в результате совместного действия гравитационного поля Земли и градиента температур, создаваемого внешним источником тепла, например, океаном, нагретым Солнцем. В результате создаются конвективные потоки нагретого воздуха вверх и холодного воздуха — вниз. Это типичный хаотический процесс, т.е. неорганизованный и случайный. Однако ситуация может существенно измениться, если градиент температуры случайно превысит некоторое критическое значение. Тогда в общей атмосфере могут образовываться такие зоны, области, внутри

которых теплый воздух поднимается вверх, а по краям этих зон

186

холодный воздух движется вниз. Это приводит к саморегуляции теплового потока, и в целом возникает уже упорядоченное макроскопическое движение воздуха. Хаотическое движение становится упорядоченным. Хаос превращается в порядок! (Перестройка характера движения самоорганизации происходит благодаря внутренним свойствам самой системы при наличии внешней подпитки системы энергией.)

7.4. Диссипативные структуры

Система может быть в целом неравновесной, но уже некоторым образом организованной, упорядоченной. Такие структуры И. Пригожин назвал *диссипативными структурами* (от латинского *dissipatio* — разгонять; рассеивать свободную энергию). **Диссипативные структуры** — это такие открытые системы, в которых при больших отклонениях от равновесия возникают упорядоченные состояния. При этом энтропия должна возрастать; изменяются и другие термодинамические функции системы, что свидетельствует в целом о сохранении ее хаотичности. Диссипация как процесс затухания движения, рассеяние энергии, информации играет конструктивную роль в образовании структур в открытых системах. В большинстве случаев диссипация реализуется как переход избыточной энергии в тепло. Таким образом, для нелинейной системы с диссипацией практически невозможно предсказать конкретный путь развития такой системы, так как реальные начальные условия никогда не могут быть заданы точно, а бифуркации тем и характерны, что даже малые возмущения могут сильно изменить ход событий.

7.5. Ячейки Бенара

Можно привести еще два ставших уже классическими примера упорядочения структуры из хаотического движения. Первый пример относится к гидродинамической неустойчивости в жидкости, открытой в 1900 г. Бенаром. На поверхности жидкости при определенных условиях возникает диссипативная пространственная структура, названная *ячейками Бенара*. Для наглядности опишем опыт Бенара на «бытовом» уровне. На подогреваемую снизу сковороду наливают масло с металлическими опилками, и

187

поэтому сверху образуется тяжелый слой. За счет подогрева, т.е. возникающего градиента температур, в результате действия сил: тяжести и выталкивающей архимедовой, — подогретые легкие и тяжелые верхние слои стремятся поменяться местами. До какого-то момента этим внутренним движениям противодействует внутреннее трение — вязкость (поэтому для наглядности и было выбрано масло), но при достижении некоторой критической разности температур, так же, как в модели атмосферы Лоренца, возникает организованный конвенционный поток, и поверхностный слой масла вдруг, скачком, разделяется на правильные шестиугольные ячейки, напоминающие пчелиные соты, которые можно увидеть, покачивая сковородку. С позиции физики произошел фазовый переход — образовалась новая структура, но переход не равновесный, а неравновесный, требующий подвода внешней энергии.

7.6. Реакции Белоусова — Жаботинского

Второй пример относится к *самопроизвольным периодическим химическим реакциям*, впервые открытым Б. Белоусовым в 1951 г., в которые никто из химиков не хотел поверить, так как из традиционной химии известно, что химические реакции необратимы. Поэтому при жизни Белоусова результат не был опубликован. Условием публикации было требование редакторов научных журналов теоретического объяснения механизма явления, что само по себе неправильно и несправедливо. Как и в предыдущих моделях Лоренца и Бенара, суть периодических реакций — в возникновении организованных потоков и структур, но только реализованных в химических реакциях, где важную роль играл специфический катализатор. При реакции окисления лимонной кислоты с таким катализатором в определенной последовательности возникали окислительно-восстановительные процессы, и раствор самопроизвольно периодически менял цвет. Подобные реакции в дальнейшем широко исследовали и использовали для разных веществ, и они получили название *реакций Белоусова — Жаботинского*. Ныне известны и другие колебательные реакции, но реакция Белоусова — Жаботинского является в известном смысле исторической, поскольку она показала, что вдали от состояния равновесия вещество обретает новые свойства [23].

Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

188

Сделаем маленькое историко-психологическое отступление. Мы часто читаем и знаем о драматических историях великих зарубежных ученых, их идеях, заблуждениях и непризнании их современниками (Эйнштейн, Больцман, Пуанкаре и многие другие), но не замечаем или забываем о своих собственных великих соотечественниках, живущих рядом в нашем пространстве и времени. Так, для меня в 1959 г., когда я работал, «ходил», как говорят о себе «морские волки», на первом нашем атомоходе «Ленин» в Арктике, было открытием (не географическим), что автор открытого им (географически) пролива русский гидрограф **Б. Вилькицкий (1885—1961)** еще жив, но находится в эмиграции, и, естественно, по этой причине, как и упоминавшийся уже замечательный наш физик Г. А. Гамов, в нашей прессе (и не только научной) не упоминался. Так случилось, к сожалению, и с Б. Белоусовым, не получившим при жизни (он умер в 1970 г.) достойного признания своего открытия. Как писал Н. Климонтович [110] про Белоусова, *«комбриг в отставке, человек прекрасного естественно-научного образования и великолепный химик-организатор»*, лишь в 1980 г. был отмечен Ленинской премией в области химии.

Реакции, приводящие к временным структурам в химии, могут быть отнесены к колебательным реакциям — *автокаталитическим* по химической терминологии или к *автоволновым процессам* по физической терминологии. В автокаталитических реакциях продукты каталитически ускоряют саму реакцию и скорость ее растет с ростом концентрации ее продуктов. *Автоволны* — самоподдерживающиеся волны, которые распространяются в активных средах с распределенной запасенной энергией, или в таких, в которых подводится энергия извне. За счет обратной связи между отдельными стадиями сложной реакции или любыми частями самоорганизующейся системы автоволны могут поддерживать свои характеристики. Автоволновые процессы, которые относят к самоорганизующимся процессам, получили свое развитие в работах представителей русской школы теории колебаний, в том числе в нелинейных средах, **Л. Мандельштама (1879—1977)**, **А. Андропова (1901—1952)**, **Р. Хохлова (1926—1977)**, **С. Ахманова**. Можно даже считать, что это был «русский подход» к проблемам самоорганизации. Они имеют более глубокий смысл, поскольку на их основе анализируют многие процессы в природе и обществе, не только при химиче-

189

ских реакциях, в том числе и в процессах горения и окисления, передачи информации, например, в биологии, географии, этнографии, социологии и других науках. Отметим, что Пригожин и его школа, занимающаяся неравновесной термодинамикой, избегают синергетической терминологии, введенной Хакеном для динамики неустойчивых структур.

7.7. Динамический хаос

Известно, что диссипативные структуры возникают вдали от равновесия и дают возможность перехода к «организованному» хаосу. В них возникают непредсказуемые, т.е. случайные, но организованные потоки. Более корректно такой хаос называют *динамическим* или *детерминированным хаосом*. Детерминированность, т.е. определенность, проявляются в том, что конвективные потоки возникают обязательно, и они при определенных условиях организованы, упорядочены, а хаос проявляется в непредсказуемости места и времени появления конвективных потоков. Динамический хаос можно воспринимать как динамику частиц или объектов в условиях хаотического их движения. Реальное хаотическое движение с учетом случайных источников, например, движение атомов и молекул в состоянии равновесия, можно обозначить как «физический» или статистический хаос. Детерминированный хаос может порождать упорядоченные структуры, но очень небольшие изменения начальных условий могут кардинально изменить сам характер движения, т.е. сделать его динамически неустойчивым. Поскольку начальные условия задаются с конечной точностью, то предсказание характера движения становится невозможным. Теперь нам понятно, почему долгосрочные прогнозы погоды, которые мы регулярно слушаем и удивляемся их неточности, так далеки от реальной погоды за окном. Такой прогноз из-за наличия динамической неустойчивости в атмосфере является чрезвычайно трудной задачей. Автор модели атмосферных процессов Э. Лоренц подчеркивал, что несмотря на спутники и множество наземных станций, собирающих метеорологические данные, предсказание погоды на срок более двух-трех недель имеет не большее отношение к реальности, чем метеокарта, выбранная наугад из кучи старых карт.

7.8. Фазовое пространство

Рассмотрим возможности описания динамики частиц. Существует два подхода к решению такой задачи: механический и термодинамический. Эволюцию динамической системы можно анализировать в абстрактном пространстве состояний — *фазовом пространстве*, в котором можно ввести координаты, описывающие состояние системы, в частности *фазу* системы. Это понятие является обобщенным и широко используется в различных областях науки и даже нашей обычной жизни (фазовые состояния вещества, фазовый переход, фаза развития общества, фаза роста, фаза функции, фаза развития системы и т.д.). Для систем классической механики такими координатами является положение точек и их скорости в каждый момент времени. Совокупность последовательных положений системы в фазовом пространстве составляет *фазовую траекторию*. Выстраивая такую траекторию в фазовом пространстве, необходимо указывать направление перемещения системы по фазовой траектории во времени. Не останавливаясь далее на математической стороне дела, укажем, по крайней мере, на три полезных преимущества введения такого фазового пространства.

Во-первых, можно проще провести анализ движения, если перейти из обычного координатного пространства в фазовое. Например, если равномерное движение на пространственно-временной диаграмме переменных x, t изображается прямой линией, а равнопеременное — параболой (кривой второго порядка), то на фазовой плоскости v, x (где v — скорость, x — координата) такие движения изображаются соответственно точкой и прямой (кривой первого порядка). Для пружинного маятника фазовой плоскостью, как следует из уравнения его движения, будет плоскость: координата — скорость и вместо зависимостей $x(t)$ и $v(t)$ можно рассматривать фазовую траекторию $v(x)$. Во-вторых, в фазовом пространстве также проще анализировать устойчивость решения задачи движения тела и исследовать проблему устойчивости—неустойчивости системы.

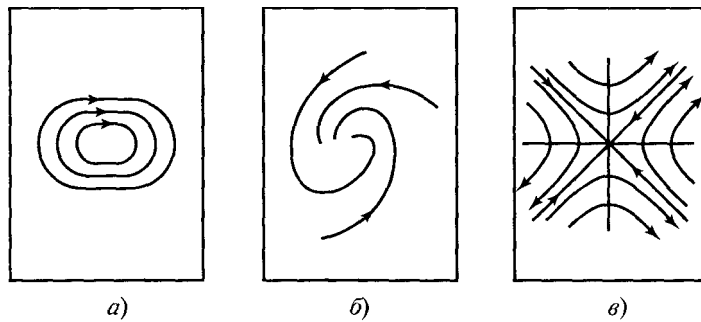
В основу классификации движений и их моделей положено условие воспроизводства решений по заданным начальным условиям. Так, колебания маятников с различными энергиями на фазовой плоскости изображают эллипсами, которые не пересекаются, что соответствует идеальным собственным колебаниям в консервативной системе без потерь. Анализ динами-

191

ки систем в таком предположении показывает, что с течением времени фазовые траектории из определенных областей пространства концентрируются вокруг некоторых точек — система как бы притягивается к этим точкам в процессе своего развития.

7.9. Аттракторы

Точки, притягивающие траекторию развивающейся динамической системы, получили название *аттракторов* (от английского attract — привлекать, притягивать). Кроме аттрактора типа «центр» (рис. 7.1, а) могут быть такие точки типа «фокус» (рис. 7.1, б), аттрактор с потерей энергии, диссипацией ее и типа «седло» (рис. 7.1, в). Из этих рисунков видно, что траектории притягиваются, но не пересекаются. Такой анализ на ранней стадии позволяет прогнозировать поведение исследуемой системы. Из аттрактора типа «седло» уже можно сделать вывод, что траектории могут и расходиться. Такие точки с расходящимися траекториями получили название *странных аттракторов* (термин ввели математики Д. Рюэль и Ф. Такенс в 1971 г.). Странный аттрактор — это, по существу, математический образ сложного движения, как выяснилось, именно в нелинейных диссипативных динамических системах. Странность аттрактора заключается в том, что в отличие от обычного аттрактора, который характеризует устойчивость динамической системы, все траектории вокруг него динамически неустойчивы, и эта неустойчивость проявляется в перемешивании траекторий в фазовом

Рис. 7.1. Изображение аттракторов на фазовых диаграммах.

192

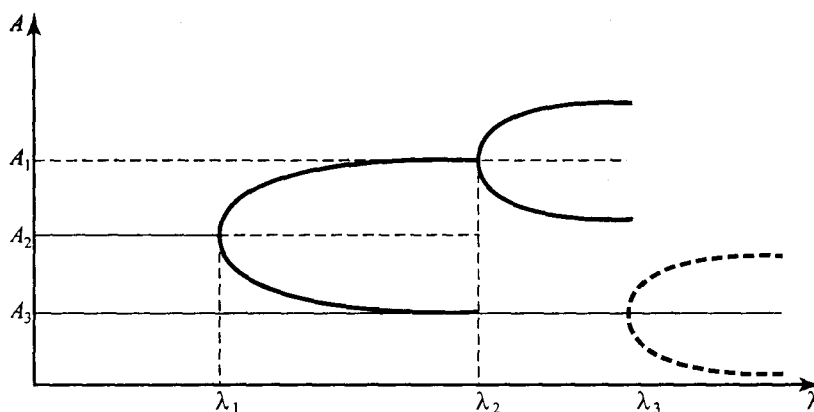
пространстве. Отсюда появляется и третье преимущество фазового пространства, связанное с вышеизложенным: в нем можно анализировать не только линейные, но и нелинейные динамические системы. Примером аттрактора может быть поток быстroteкущей воды в горных реках через камень. Струйки воды постоянно меняют траектории движения, но поток в целом устойчив на поверхности камня, не выходит за определенные пределы.

Согласно теории об устойчивости движения можно судить по знаку производной функции, описывающей это движение вблизи стационарной точки. Если смена знака первой производной определяет характер устойчивости, то при одних значениях параметров система устойчива, а при других — может наступить переход от устойчивого характера движения к неустойчивому, в общем случае — от одного режима к другому.

Можно ввести величину критического порогового параметра, когда система переходит в другое состояние, меняет характер динамического поведения при изменении управляющего параметра, которым, по существу, является рассмотренная ранее бифуркация.

Проблемой устойчивости решений уравнений динамики занимается раздел математики, называемый *теорией катастроф* [34], которая определяет скачкообразное изменение («катастрофу») параметров системы как ее внезапный ответ на плавные изменения внешних условий, что и ведет к потере устойчивости движения. С позиции математики — это обобщение определения экстремума исследования функции на случай многих переменных. Для разработки такой теории один из ее основоположников французский ученый Р. Том привлек топологическую концепцию структурной устойчивости. Теория катастроф объяснила зависимость экспериментально наблюдаемых форм неустойчивости от числа управляющих параметров. Если функция, описывающая движение, — полином со степенью больше единицы, то на бифуркационной диаграмме появляется несколько ветвей, часть из которых могут быть неустойчивыми. Происходит срыв, «катастрофа» — резкое переключение динамической системы из одного режима в другой при небольшом изменении управляющего параметра, причем этот переход может быть из устойчивого состояния как в устойчивое состояние, так и в неустойчивое. В таком понимании «катастрофа» и есть бифуркация.

193

Рис. 7.2. Бифуркационная диаграмма (A — характеристика системы, λ — управляющий параметр).

Происходящие в системе процессы, ее эволюция как рост разнообразия или

увеличение числа функциональных единиц изображаются на бифуркационной диаграмме ветвями (рис. 7.2). Изменяя управляющий параметр на такой диаграмме, мы меняем состояние системы, причем параметр может быть отличным для разных систем (физических, химических, биологических или социальных) и структур — это и время, размер, скорость реакции, рост ткани, стимул поведения и т. д. Когда значение управляющего параметра достигает критического значения, система попадает в точку бифуркации, наступает «катастрофический» срыв и система переходит в другое, раздвоенное состояние. Точки бифуркации — это *точки ветвления* линий поведения системы. Сплошным линиям на бифуркационных диаграммах соответствуют устойчивые состояния, устойчивое развитие; пунктирам — неустойчивые состояния. Причем ветвлений может быть много в зависимости от сочетания состояния системы и управляющих параметров. Такое поведение широко распространено в явлениях природы и техники: от полярных сияний и радуги в небе до опрокидывания буровых или нефтяных платформ на морском шельфе, от огромных нашествий саранчи до потери управления летательными аппаратами, в том числе и ракетами и др.

В дополнение к рассмотренным примерам существования аттракторов и бифуркаций можно привести и другие из явлений природы, техносферы, социологии и экономики. Природный

194
электрический разряд в атмосфере Земли — молния имеет вид зигзагообразных вспышек, точки поворота которых тоже есть бифуркации. Усталость металла в машинах и механизмах и последующая их поломка — накопление дефектов и смена упорядоченного состояния на неупорядоченное — это тоже бифуркация и возникновение странных аттракторов, расходящихся траекторий процессов (не предсказуемо, где сломается, прорвется).

Синергетику можно использовать и для описания социальных, экономических и политических систем. Малое возмущение в виде действия одного человека может разрастаться и влиять на макросоциальные образы поведения и даже приводить к смене макросоциальных структур, особенно если созданы условия для образования положительной обратной связи (в этом случае система сама подбирает условия, способствующие внешнему воздействию).

Для быстрого экономического роста нужно крупное первоначальное вложение капитала (толчок), для развития частного предпринимательства желательно, чтобы рост капитала был экспоненциально пропорционален капиталу, т.е. выполнялся закон нелинейного роста. Жесткий закон конкуренции, отбор и выживание сильнейших дают устойчивые формы социальной организации, но диссипативные процессы, связанные с усилением беспорядка, хаоса в момент неустойчивости (бифуркации), требуют учета структуры — аттракторов в своем развитии. Для России характерны обе тенденции: нелинейность экономического роста и кризиса, а также развития рыночных механизмов.

В советский период эта нелинейность была связана с предпочтением военного производства, что и привело к падению эффективности экономики, многочисленным дефицитам в гражданских областях, чрезмерным затратам на военные научные исследования, растрате природных ресурсов (как и сейчас!), резкому возрастанию антропогенных катастроф. Однако развитие России после 1991—1993 гг. показывает ущербность и односторонней либеральной экономической самоорганизации, принявшей во многом криминальный характер. Сильное сокращение оборонных производств и попытка поставить гражданские отрасли вне государственного регулирования привели к новому кризису. Введение отношений частной собственности и стремление «новых русских» к максимальной прибыли без контроля со стороны государства ведут к этому новому кризису. В нерегулируемом обществе экономическая деятельность приводит лишь к

195
криминалу, сокрытию доходов. Такого рода «самоорганизация без границ» в обществе, как и жесткая плановая экономика, ведут к срыву, катастрофе.

В политической структуре общества также возможна самоорганизация (самоуправление) вплоть до локальных гражданских систем и даже с представлением политических и экономических инициатив рядовым гражданам. Однако многие демократические идеалы (многопартийность, мажоритарный принцип избрания властей, либерализация экономики и т.д.) оказались социально не эффективными из-за отсутствия настоящей самоорганизации на местах. Именно поэтому и возникают точки бифуркации в развитии социума, угрожая его деградацией, распадом. В связи с этим возрастает

необходимость понимания роли самоорганизации для повышения оптимальных качеств социума.

Можно привести примеры и из области психологии. Вы помните не очень давние российские очереди за дефицитным товаром? Если хвост очереди невелик, товара достаточно, то напряжение невелико и система находится на участке устойчивого равновесия. Это означает, что в очереди сохраняется порядок, благодаря которому каждому достается равная с остальными доля. Любые попытки отдельных несознательных граждан обойти порядок естественным образом пресекаются — равновесие в системе устойчиво. А что произойдет, если продавец объявит о том, что торговля подходит к концу? Напряжение в очереди резко возрастет, система окажется в состоянии неустойчивого равновесия — стоит только кому-нибудь одному попытаться счастья в обход очереди, как это произведет эффект детонатора — порядок оказывается безвозвратно утерянным, система разделяется на группы: одной, благодаря их физической силе и наглости, достанется все, другая окажется оттесненной. При чрезмерном напряжении состояние «порядка» в очереди становится неустойчивым.

Можно рассмотреть с этой точки зрения и историческую ситуацию. В 1380 г. на Куликовом поле сошлись полки Древней Руси и войско степных кочевников, державших уже три века княжества Руси под своим игом. Битва длилась долгое время, не принося никому преимущества. Напряжение нарастало, но паритет противоборствующих сторон сохранялся. Когда напряжение достигло высшей точки (бифуркации!), неожиданно появился засадный полк русского князя, внесший замешательство в лагерь противника и obratil противника в бегство.

196

Интересно здесь, что сам по себе засадный полк не представлял значительной силы. Если бы он участвовал в битве с самого начала или был бы введен в бой раньше времени, то не оказал, скорее всего, никакого влияния на результат. Все дело оказалось в том, что этот полк был задействован именно в тот момент, когда система оказалась за критической точкой, в состоянии неустойчивого равновесия. Он оказался тем малым управляющим параметром, который и вызвал резкий перелом событий в системе противоборствующих сторон.

Даже к такому прекрасному чувству, как любовь, можно применить понятия синергетики и теории катастроф. Если объект ваших воздыханий находится в состоянии душевного покоя, никакое ухаживание не даст желаемого результата — легкая симпатия, не больше. Вы встретили человека и полюбили его с первого взгляда. Как вам добиться взаимности? Сразу начинать «завоевывать» его? Это не обещает ничего хорошего для вас. Действительно, если объект ваших мечтаний к вам абсолютно равнодушен, то даже сверхусилия не приведут к сколько-нибудь значительной симпатии к вам с его стороны — ваши отношения не отклоняются от среднего нейтрального положения. Другое дело, если вам удалось сначала вывести полюбившегося вам человека из равновесия. Кстати, мальчишки с этой целью в юном возрасте дергают девочек за косички, бросаются снежками и т.п., еще неосознанно стараясь таким образом обратить на себя их внимание. В зрелом возрасте мужчина — опытный знаток женской души просто демонстрирует, что достоинства партнерши ему совершенно безразличны. Конечно, женщина не может спокойно воспринимать равнодушное отношение со стороны мужчины, это задевает ее достоинство, лишает душевного равновесия и может довести до точки, когда нейтральное до сих пор отношение к партнеру становится неустойчивым. Мужчине очень важно поймать этот момент — даже совсем малое проявление внимания может теперь зажечь женщину страстной любовью.

Любопытный пример изменения состояния можно привести из психологии спорта айкидо. Этот японский вид единоборства основывается на неожиданности поведения спортсмена. Можно считать, что айкидо использует свойства катастроф — борец должен победить не за счет большой физической силы или мощного удара. Борец айкидо вообще не должен себе позволить нападение на человека. Цель борца айкидо — своими неожиданными

197

движениями вывести нападающего на него соперника из состояния равновесия. После этого противника уже можно будет обезоружить и уронить движением, которое не потребует большой силы. Высшим мастерством считается добиться победы, совершенно не касаясь соперника!

Самоорганизующимся системам нельзя навязывать пути их развития. Тут важнее понять пути совместной жизни природы и человека, пути их совместной эволюции, Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

коэволюции. В точках бифуркации маленькое случайное изменение может привести к сильному возмущению системы. Здесь главное — не сила, а правильная топологическая конфигурация, некая архитектура воздействия на сложную систему. Малые, но правильно организованные резонансные воздействия на такие системы очень эффективны. Тысячу лет назад это современное представление синергетики выразил в озадачивающей форме основатель даосизма Лао-Цзы: слабое побеждает сильное, мягкое побеждает твердое, тихое побеждает громкое и т.д. В целом же, как отмечал И. Р. Пригожин, *«наша Вселенная следует по пути, включающем в себя последовательности бифуркаций. В то время как другие миры могли избрать другие пути, нам повезло, что наша Вселенная направилась по пути, ведущему к жизни, культуре и искусствам»*.

7.10. Режим с обострением

Самоорганизующаяся система — это сугубо нелинейная система. Множеству решений нелинейного уравнения соответствует множество путей развития системы, и ее эволюция описывается этими нелинейными уравнениями. Процессы часто идут в *«режиме с обострением»* [62, 68], когда в отличие от линейных изменений параметров рассматриваемые величины неограниченно возрастают за ограниченное время. В основе «режимов с обострением» лежит широкий класс нелинейных положительных обратных связей. Поскольку диссипативные процессы являются макроскопическим проявлением хаоса, то можно считать, что на микроуровне хаос — не фактор разрушения, а, наоборот, фактор, определяющий тенденцию самоорганизации нелинейной системы или среды. Диссипация выступает здесь, как образно выразился С. Курдюмов, в виде резца, вырезающего лишнее в системе, и поэтому сама есть необходимый элемент саморазвития. Разумеется, те неустойчивости, которые обусловлены режи-

мами с обострениями, т.е. сверхбыстрым нарастанием развития процесса с нелинейной положительной связью, возникают не везде, они лишь означают случайные движения внутри вполне определенной области параметров, что характеризует не отсутствие детерминизма, а иной тип детерминизма.

Примером могут служить струйки быстро текущей воды в горных реках через камень. Они постоянно меняют траектории движения, но остаются в целом устойчивы на поверхности камня. Неустойчивое — устойчиво! Детерминированное движение имеет место до бифуркации, вероятностное — при описании прохождения через бифуркацию. Но в целом система, явление, мир оказываются устойчивыми, причем вероятностное описание не является показателем нашего незнания, так сказать, нашего невежества или же вмешательства человека с его разумом и экспериментальными устройствами в объективный ход процессов природы. Это есть отражение стохастического поведения детерминированных систем, которые поэтому и описываются странными аттракторами.

Кроме аттрактора, упомянутого в тепловой конвекции воздуха над океаном и предложенного Э. Лоренцом в 1963 г., можно привести еще несколько примеров таких странных аттракторов. Это — генерация излучения лазера, движение астероидов, смена знаков магнитных полюсов Земли, колебание численности биологических популяций, активность головного мозга, некоторые типы волн в плазме и др. Можно согласиться с С. Курдюмовым, что поведение таких аттракторов непредсказуемо не потому вовсе, что человек не имеет средств проследить и рассчитать их траектории, а потому, что мир так устроен. Таким образом, синергетический подход дает возможность создать новые принципы организации эволюционирующей сложной системы, построения сложных структур из простых, целого из его частей. Причем такое объединение не есть простое сложение частей. Целое уже не равно сумме частей, оно не меньше и не больше, оно качественно другое.

В синергетическом подходе понятие аттракторов можно использовать шире, чем просто математический анализ решений в фазовом пространстве. Аттрактор можно рассматривать в целом как зону притяжения в некотором пространстве, в котором есть свой центр притяжения, несущий самую разную смысловую нагрузку. Например, можно считать, что существуют аттракторы — проблемы, книги, города, окрестности черных дыр. Могут быть

аттракторы — личности, притягивающие других людей, создавая приятную атмосферу общения, организуя вокруг себя, как лидера и источника идей, группу людей. Естественно, могут быть личности, которые являются антиаттракторами, дистракторами,

в обществе которых замыкаются даже самые коммуникабельные люди, испытывая определенный психологический дискомфорт. То же можно сказать и об аттракторах — структурах, которые в процессе своего развития — структурогенеза, в процессе самоорганизации и эволюции системы становятся предпочтительней других. Могут, и наоборот, возникать дистракторы — деградирующие структуры, которые могут также реализовываться и функционировать в реальных неравновесных условиях.

Можно также шире трактовать и условие устойчивости самоорганизующихся систем, сводя к образу аттракторов некоторые параметры. Например, в психологии существуют числа Мюллера: 7 ± 2 . Это число связано с определенным количеством людей в микроколлективе, который в силу этого функционирует оптимально. Оказывается, что это число 7 также есть норма при мнемонической фиксации запоминаемых объектов. Кстати, принцип создания групп людей с оптимальной организацией общения был известен еще в Древней Греции: как говорил **Меценат (74—8 гг. до н.э.)**, *«число людей должно быть не меньше числа граций, но и не больше числа муз»*, т.е. около семи.

Таким образом, если начальные условия определяют развитие системы (и воспроизводимость этого развития), то такое движение и развитие описываются динамическими методами, динамическими моделями. Оно предсказуемо, и можно оценить поведение системы в будущем, в том числе и для нелинейных диссипативных структур. Воспроизводимость решения задачи о поведении системы по начальным данным ее развития зависит лишь от структуры математической модели. Если уравнения движения не содержат, как говорят математики, случайных источников, то процесс воспроизводим и такое движение является динамическим.

Для определения динамики движения в современной науке используется математическое описание процесса с помощью дифференциальных уравнений, основы которого заложили великие математики и естествоиспытатели И. Ньютон и Г. Лейбни. Для линейных дифференциальных уравнений разработаны общая теория и методы практических решений, которые позволя-

200

ют решать так называемые прямые и обратимые динамические задачи.

Прямая задача — нахождение решений по заданным правым частям уравнений, начальным и граничным условиям. В теории дифференциальных уравнений — это задача французского математика **О. Коши (1789—1857)**, она имеет в большинстве случаев единственное решение. Однозначность решений системы дифференциальных уравнений приводит к однозначности причинно-следственных связей, что широко подтверждается на практике. С этим принципом связаны огромные успехи теории линейных дифференциальных уравнений в описании различных физических процессов и работы технических устройств. Применение этого принципа фактически сделало возможным всю современную техническую цивилизацию.

Обратная задача — восстановление правых частей системы дифференциальных уравнений по экспериментальным данным — соответствует общей задаче науки: поиску закономерностей, лежащих в основе природных явлений. К обеим задачам и в целом к линейной динамике кроме однозначности решения обязательно применимы допущения об устойчивости решения к малым отклонениям параметров системы и начальных значений, а также о правомерности линейной аппроксимации. В известном смысле — это как бы конец движения, установление устойчивой равновесной структуры, описываемой однозначным, единственным и устойчивым решением.

Перенос этих понятий об однозначном линейном устойчивом физическом мире в область социологии и мышления приводит к представлению однозначности единственного верного решения, типа поведения, единственно истинной догме (научной, религиозной, общечеловеческой), за которые и следует бороться не щадя «живота своего». Героями, вождями и мессиями как раз и становятся люди, свято верящие в свою непоколебимую правоту и отчаянно борющиеся за нее. Так как эти решения, типы поведения, догмы различны у различных социальных и национальных общностей, то в отношениях между людьми неизбежно возникает антагонизм, связанный с готовностью отстаивать именно свой образ жизни, принципы, религию. Это соответствует физическому представлению, что в линейном мире при заданных начальных условиях существует единственно правильная траектория движения к единственному устойчивому стационарному состоянию.

201

По мнению Г. Ю. Резниченко, лапласовский детерминизм, линейные уравнения, однозначность решения задачи Коши надолго определили ход развития не только науки, Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

но и техники, неумный рост человеческих потребностей, непримиримость позиций отдельных людей и социальных групп, уверенных в однозначности исторических закономерностей и в своей правоте. Этому же соответствует представление об единственно верной цели, к которой надо стремиться любыми способами («цель оправдывает средства!»), а также представление, что по следствиям всегда можно однозначно определить причину (определить, кто виноват, и примерно наказать виновных), ту главную «ниточку», за которую только потяни, и процесс пойдет. Надо только эту ниточку правильно найти (в истории нашей страны — это электрификация всей страны, химизация, монетарная система и т.д.).

Однако в реальном мире сложных, развивающихся через бифуркации систем действуют законы нелинейной механики, для которой характерны конкретные непредсказуемость хода событий, неоднозначность и часто невозпроизводимость явления. Для биологов и психологов возможность воспроизведения, скорее, желанное исключение, чем реальность, а для социологов, политологов, историков, искусствоведов предметом изучения являются невозпроизводимые процессы. Поэтому линейное мышление как бы устанавливает барьер между естественными науками и событиями в реальной жизни, явлениями сознания и искусства.

Линейные физико-математические представления начинают играть злую шутку с человеком, внедряя в сознание людей идеи о всемогуществе человека в познании и эксплуатации природы, в то время как современное естествознание через нелинейную динамику и синергетику открывает плоский занавес, на котором изображены линейные законы, а за ним оказывается объемный и многообразный нелинейный мир. В мировоззренческом смысле нелинейное мышление снимает антагонизмы любой природы, и в этом его общечеловеческое значение.

А как быть, если реальный мир вероятностен и в большинстве случаев в нем происходят стохастические процессы? В этом случае необходимо использовать статистические методы и модели, которые рассмотрены и в классической, и в неравновесной термодинамике.

202

7.11. Модель Пуанкаре описания изменения состояния системы

Первое направление — динамическое движение — идеологически представляет А. Пуанкаре, второе — стохастическое — Л. Больцман с его понятием энтропии как меры хаоса, беспорядка. А. Эйнштейн ни в коей мере не связывал свою теорию относительности с работой А. Пуанкаре по кривизне пространства—времени и преобразованием Лоренца, опубликованной за полгода до первого сообщения Эйнштейна. В свою очередь, А. Пуанкаре резко выступал против метода Л. Больцмана. Пуанкаре показал, что большинство проблем классической механики не сводятся к интегрируемым системам (теорема 1892 г.). Под интегрируемыми системами понимаются такие, где с помощью так называемых канонических преобразований можно исключить потенциальную энергию и ввести гамильтониан как оператор полной энергии системы. Если можно сделать такое преобразование, приводящее исходные уравнения к гамильтонианову виду представления, то задача нахождения уравнений движения (на математическом языке — интегрирования) решается.

Теорема Пуанкаре играет особую роль при рассмотрении взаимосвязи динамики и термодинамики. Если физические системы все же принадлежат к интегрируемым, то они обязательно зависят от начальных условий (детерминизм), «помнят» о них и конечное состояние в этом случае весьма существенно зависит от предыстории системы, и тогда такое понятие, как приближение к равновесию, утрачивает свой смысл. Поэтому А. Пуанкаре на основании обратимых уравнений механики считал, что теория необратимых процессов, т.е. неравновесная термодинамика, и механика несовместимы и такого понятия, как энтропия, в механике нет. В связи с этим А. Пуанкаре говорил: *«Я не могу рекомендовать читать работы Больцмана, так как там есть доказательства, в которых выводы противоречат предпосылкам, и, более того, эти больцмановские посылки противоречат моим выводам».*

На самом же деле из теоремы Пуанкаре вытекает, что в системах, описываемых уравнениями классической механики, может возникать хаотическое движение. Сейчас уже установлено, что хаотичность в эволюции существует для большей части физических, химических, биологических и социальных структур. В реальной жизни и реальном мире возникают условия для не-

203

устойчивого движения в открытых системах, которые описываются нелинейными дифференциальными уравнениями, и, поскольку реальные природные системы нелинейны, в них всегда есть возможность появления хаотичного состояния и, следовательно, сама эволюция системы приобретает вероятностный характер. А в природе господствует презумпция допустимости того, что не имеет запрета. Если в природе что-то возможно, то рано или поздно это произойдет. Кстати, можно сказать и шире, что следует из всеобщего принципа Гелл-Манна: что окончательно и достоверно не запрещено современной наукой, то может и должно существовать. Вспомните ельцинское: «Регионы должны брать столько самостоятельности, сколько смогут». Физики и здесь дают урок политикам!

Такие состояния возникают из-за того, что нелинейные системы могут эволюционировать по-разному, «выбирая» различные траектории развития. Набор таких состояний и образует детерминированный, или динамический, хаос, о котором мы уже говорили. Пучки сходящихся траекторий при детерминированном движении (аттрактор) и расходящихся траекторий (странный аттрактор) могут пересекаться, как раз и образуя точки ветвления — бифуркации. Между бифуркациями система ведет себя как жестко детерминированная, а в точках бифуркаций неопределенно, даже если она и «помнит» свою предысторию, т.е. предсказать поведение системы в точке бифуркации и после ее прохождения невозможно. Расхождение первоначально близких траекторий может возникнуть даже при очень малых изменениях управляющих параметров, при изменении которых и происходят неравновесные фазовые переходы. С этой точки зрения бифуркация — точка неравновесного фазового перехода.

Э. Лоренц назвал это свойство *эффектом бабочки*, так как оказалось, что в некоторых случаях взмаха крыльев бабочки достаточно, чтобы изменить направление потоков воздуха в атмосфере. В теории самоорганизации показано, что каждая новая бифуркация возникает в узком интервале пространства управляющего параметра и может быть так: полученная однажды реализация невоспроизводима — «бабочка, порхающая в Рио-де-Жанейро, может изменить погоду в Чикаго». В синергетическом смысле «эффект бабочки» Э. Лоренца — это расхождение первоначально близких траекторий эволюции системы при очень малых возмущениях.

Появление «свободы выбора» особенно характерно для диссипативных структур, где возможен и «обратный» переход энер-

204

гии упорядоченного состояния в хаотическое. В большинстве случаев диссипация реализуется как переход избыточной энергии в тепло. Поэтому для нелинейной системы с диссипацией практически и невозможно показать конкретный ход ее развития, так как реальные начальные условия никогда не задаются сколь угодно точно, а бифуркации тем и характерны, что даже малые возмущения могут сильно изменить направление эволюции.

В целом же системы, которыми пытаются описывать реальный окружающий нас мир, содержат элементы как порядка, так и беспорядка, и в этом смысле модель динамического хаоса — это звено, соединяющее полностью детерминированные системы и принципиально случайные.

Синергетическая модель позволяет предложить новую современную парадигму эволюции различных систем, объединяя механику, термодинамику и модель развития биологических систем. Оказалось, что хаос на микроуровне может приводить к упорядочению на макроуровне. Более того, становится ясно, что во множестве реальных ситуаций порядок неотделим от хаоса, а сам хаос выступает как сверхсложная упорядоченность. Хаос и порядок «живут» вместе!

7.12. Динамические неустойчивости

Динамические неустойчивости играют конструктивную роль в физике открытых систем. Множество систем нашего «упорядоченного» живого организма работает в хаотическом режиме, и, таким образом, хаос выступает как признак здоровья, а излишняя упорядоченность — как симптом болезни [62]. Как отмечал Э. Сороко [132], с увеличением упорядоченности снижается возможность развития системы, и хаос с его динамическими неустойчивостями является движущей силой самоорганизации системы в процессе ее эволюции.

Хороший пример положительной роли динамической неустойчивости в социологии

приводит Ю. Климонтович. Рассмотрим поведение участников научной конференции (заседания нашей Думы, собрания Академии, съезда учителей и т.д.) после завершения мероприятия. Возможны два варианта: первый — участники продолжают обсуждать проблемы, не удаляясь далеко друг от друга. В терминах синергетики — это динамически устойчивая система. Такая ситуация полезна, но является по суще-

205

ству продолжением конференции. Второй вариант — участники разъезжаются по своим местам пребывания («разбегаются» — система становится динамически неустойчивой). В этом случае идет «перемешивание» траекторий участников, донесение, так сказать, полученных новых идей до своих научных коллективов, что значительно полезней для науки и практических дел. Этот пример и позволяет считать, что такие динамические неустойчивости перемещения участников не ведут к хаотическому развитию, в том числе и науки, а играют положительную роль.

7.13. Изменение энергии при эволюции системы

Рассмотрим, что происходит с энергетикой при функционировании диссипативных структур. Из термодинамики известно, что отличие замкнутой системы (классическая термодинамика), находящейся в состоянии внутреннего равновесия, от системы открытой (для потоков вещества и энергии) — это ее поведение во времени. В равновесном состоянии любой поток, направленный в одну сторону, компенсируется таким же по величине потоком в обратном направлении — в результате система остается в состоянии, инвариантном относительно обращения времени. Это приводит к росту энтропии при стремлении замкнутой системы к максимуму возможных состояний, т.е. к ее хаотическому.

состоянию.

Однако такая симметрия нарушается, если под действием внешних потоков (открытые системы) система смещается в новое состояние, далекое от равновесия, которое, как показано, может быть для диссипативных структур более упорядоченным, чем равновесное. В любом случае образование определенных типов упорядоченных структур может быть определено термодинамическими методами, в частности изменением энтропии. Не только энтропии S , но и внутренней энергии $U(S, V)$, свободной энергии $F(T, V)$, энтальпии $H(S, p)$ и термодинамического потенциала Гиббса $G(T, p)$, в зависимости от вида термодинамического процесса — изобарного, изохорного, изотермического или адиабатического и макропараметров системы — объема V , давления p и температуры T . В равновесном состоянии эти термодинамические функции (потенциалы) обладают свойствами минимальности при небольших отклонениях от равновесия при фиксированных значениях независимых термодинамических переменных.

206

7.14. Гармония хаоса и порядка и «золотое сечение»

Мы уже убедились, что природа в целом нелинейна и состоит из открытых диссипативных и самоорганизующихся систем. В таких системах всегда есть возможность появления хаотических состояний, и при этом система развивается, в том числе и через бифуркации с разной степенью вероятности. Сама эволюция носит сложный характер и не является ни полностью упорядоченным, ни полностью разупорядоченным процессом. В этом смысле она как бы подчиняется законам гармонии, смысл которых отражает понятие «золотого сечения» [75, 80, 131, 220]¹, введенного много веков назад Птолемеем для обозначения пропорциональности правильного телосложения. Это понятие позднее закрепилось в науке и искусстве благодаря Леонардо да Винчи, который и назвал его *Sectio aurea* — золотое сечение.

Понятие золотого сечения, или пропорции, было известно еще в Древнем Египте, его применяли при сооружении пирамид. Широкое распространение оно получило и в Древней Греции благодаря Пифагору, который использовал это правило для своей модели мира и построения симметричных многогранников: кубов, октаэдров, тетраэдров и додекаэдров (см. гл. 1). Уже в древнегреческой натурфилософии «золотое сечение» выступало не только как архитектурная основа построения храмов, театров, стадионов или как эстетический канон произведений искусства, но именно как общий принцип гармонии мира. Как глубинное свойство структурного единства объектов природы и ее гармонии оно возродилось в эпоху Ренессанса под названием *Sectio divina* —

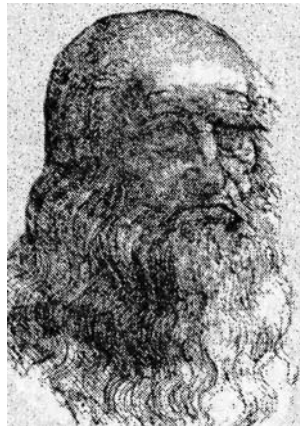
божественная пропорция.

Это правило (пропорция между целым и его частями) многократно подтверждено различными проявлениями его в математике, физике, технике, архитектуре, биологии, живой природе, социологии и даже экономике, может считаться универсальным законом природы. Можно даже сказать, что природа живет, организует и отбирает свои элементы не «всле-

¹ См. также: *Горбачев В.В.*, Современное естествознание на пороге XXI века // Физика и механика на пороге XXI века. № 1. — М.: Мир книги, 1998; *Горбачев В.В.*, *Харитонов А. С.* Метод Фибоначчи и модель статистической симметрии. Там же; *Горбачев В.В.*, *Харитонов А. С.* Гармонизация процессов в рамках модели статистической симметрии // «Полигнозис». — 1998. — № 3.

207

Леонардо да Винчи



Леонардо да Винчи (1452—1519) — один из гениев человечества, гуманист, итальянский живописец (картины «Тайная вечеря», «Джоконда» и др.), скульптор, ученый, инженер, автор многочисленных проектов, открытий, исследований в области математики, механики, биологии, в целом естественных наук. Леонардо оставил потомкам разработки многих вещей, которыми пользуется и современный человек, — вертолет и планер, экскаватор и механизм для забивания свай, подвесной мотор, швейная машина, парашют; приборы для измерения пути, скорости ветра, влажности; шлюзовые каналы; водяные колеса, прототипы турбин, землечерпалки, способы очистки гаваней, разнообразные типы артиллерийских снарядов, проекты военных мостов; приспособления для опрокидывания осадных лестниц... Кажется нет таких проблем, которые бы он успешно не исследовал. Честь первого определения центра тяжести пирамид, объяснение подвижных блоков, определение коэффициента трения, изучение сопротивления материалов — все это наглядно иллюстрирует теснейшее переплетение его теоретических и практических интересов.

«Наука — капитан, а практика — солдат», — говорил Леонардо да Винчи. Он был внимательным наблюдателем природы, обосновал научными представлениями геометрической оптики проблемы перспективы картин и в целом живописи (например, пепельного цвета Луны, света и цвета в пейзажах и т.д.). Начав изучать анатомию человеческого тела как художник, он сделал много

фундаментальных наблюдений не только о внешнем, но и внутреннем строении организма человека. Деятельность организма, его различных органов, разнообразные движения Леонардо рассматривал с позиций механики.

Вдобавок ко всему он был необычайно красивым человеком античного сложения, участником многих состязаний и турниров, отличным пловцом и фехтовальщиком, искусным всадником, шутником, острословом, блестящим рассказчиком, оратором-эрудитом, любезным кавалером и танцором, певцом, музыкантом, ученым мыслителем-материалистом — весь этот спектр лучших человеческих качеств сконцентрировался линзой эпохи Возрождения (Ренессанса — по-французски, Чинквентенто — по-итальянски) в Леонардо да Винчи.

Можно только удивляться и восхищаться многогранностью интересов и пытливостью этого мыслителя, многие мысли которого дошли до нас практически в виде афоризмов:

Горбачев В. В. Концепции современного естествознания: — М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

«Все наше познание начинается с ощущений».

«Нет действия в природе без причины, постигни причину и тебе не нужен опыт».

«Напиши о свойстве времени отдельно от геометрии».

«Кто может идти к источнику, не должен идти к кувшину».

Но Леонардо да Винчи как ученый был открыт в конце XVII в. Это не дает нам возможности в достаточной степени определить, каково было его влияние на современников. Следует заметить, что Леонардо делал свои записи зеркальным письмом, перемежая его с прямым. Много слов он записывал сокращенно, слитно с другими словами. Это очень затрудняло расшифровку его рукописей. Их начали расшифровывать и издавать лишь в конце XVIII — начале XIX в. Было издано 6 томов рукописного наследия Леонардо да Винчи.

пую», а по этому принципу золотого сечения. Суть его заключается в том, что взаимодействие между целым и его частями, их соотношение подчиняется так называемому рекуррентному (возвратному) ряду **Фибоначчи (1180—1240)**, который ввел его в 1203 г. в своей книге «*Libber abbacci*», своде математических сведений того времени. *Fibonacci* происходит от *filius Bonacci* — сын Боначчи; на самом деле это итальянский математик Леонардо Пизанский. Широко известную математиче-

208

скую задачу о размножении кроликов с давних времен связывают с рядом Фибоначчи.

Ряд составляют по правилу: начинают с единицы, а затем каждое последующее число есть сумма двух предыдущих:

$$A(N+2) = A(N+1) + A(N)$$

(1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, ...).

209

Отношение между его членами и образует *золотое сечение (пропорцию)*:

$$\frac{A(n+2)}{A(n+1)} = \frac{A(n+1)}{A(n)} = 1,618...^1.$$

Или более наглядно:

$$\frac{1}{x} = \frac{x}{x-1},$$

где x — большая часть, $1 - x$ — меньшая часть, 1 — целое. Связь между золотым сечением и рядом Фибоначчи установил И. Кеплер в работе «Гармонии Мира». Он называл золотое сечение «*одним из сокровищ геометрии*». Важная особенность этих соотношений заключается в том, что это две пропорции — как результат согласования двух соотношений, поэтому необходимо иметь по крайней мере три элемента, три параметра, в отличие от отношения, где достаточно двух. Таким образом, мы здесь уже вынуждены отходить от дихотомии (деление на два), бинарной классификации: да — нет, хорошо — плохо, порядок — беспорядок, к трем характеристикам самоорганизующейся системы. Это, в частности, означает, что всем реальным системам живой и неживой природы наряду с процессами хаотичности присущи и упорядочение, и реализуемая через эти три параметра самоорганизация.

Ряд Фибоначчи широко используют в научных исследованиях. Одним из достижений в этой области является открытие обобщенных чисел Фибоначчи и обобщенных золотых сечений S . В общем случае золотая S -пропорция есть положительный корень уравнения золотого сечения:

Многочисленные факты, подтверждающие существование золотых S -сечений в природе, приводится в книге [131]. Установлено, что значительная часть хорошо изученных двойных сплавов обладает особыми, ярко выраженными функциональными свойствами (термостойкость, износостойкость, стойкость к окислению и т.д.) только в том случае, если плотности исходных компонентов связаны с друг другом одной из золотых S -пропорций. Можно считать, что золотые S -сечения являются числовы-

¹ Число 1,618 иногда обозначают через Φ в честь скульптора Фидия из Древней Греции, который широко использовал эти пропорции в своих скульптурах.

210

ми инвариантами самоорганизующихся систем, что позволяет сделать вывод о неслучайной роли понятия золотого сечения в процессах гармонического развития сложных систем.

Представляет интерес, и не только для «чистых» математиков, проблема введения новой альтернативной системы счисления, основанной не на рациональных, а на иррациональных числах, являющихся корнями уравнения золотого сечения. Установлено,

Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

что с их помощью можно выразить действительные, натуральные и рациональные числа. В такой системе счисления любое натуральное число всегда представимо через конечные (а не бесконечные!) суммы степеней любой из S -пропорции. Тем самым может быть решена одна из трудных проблем математики — устранение бесконечностей, что подчеркивает известный английский теоретик Стивен Хокинг: *«За последние 20 лет в теоретической физике ведется большая работа по созданию теории, в которой бесконечности отсутствовали бы полностью. Только тогда нам удастся объединить квантовую теорию с эйнштейновской общей теорией относительности и построить единую теорию фундаментальных законов во Вселенной»*. Вероятно, это одна из причин, почему «иррациональная арифметика», обладая удивительной математической простотой и изяществом, как бы вобрала в себя лучшие качества классической двоичной и «Фибоначчиевой» арифметики. С помощью использования чисел ряда Фибоначчи и золотого сечения решен ряд кибернетических задач в теориях игр, поиска и программирования. В связи с использованием и исследованием этих проблем в США создана математическая ассоциация Фибоначчи и издается специальный журнал.

Как показывают многочисленные исследования, идея золотого сечения, характеризующая гармонию развития эволюционирующих систем, охватывает все уровни организации материи живой и неживой природы, экономику и политику, мышление и сознание человека, его социальную жизнь. Такие проявления гармонических пропорций наблюдают, например, в растительном и животном мире, пропорциях тела и органов человека, компонентах ландшафта и строения почв, молекулярной биологии, классификации и взаимодействиях элементарных частиц, связи законов сохранения в механике с симметрией пространства и времени и др.

В области архитектуры и искусства наибольшее впечатление и воздействие на нас оказывают гармонически организованные шедевры архитектуры (храм Гарни в Армении, собор св. Петра в

211

Риме, церковь Покрова на Нерли, храмы в Пскове и многие другие), художественные и музыкальные произведения, скульптуры, особенно классические. Замечено, что у многих великих композиторов, чья музыка оказывает на нас особое влияние (Бетховен, Бородин, Гайдн, Моцарт, Шуберт, Шопен, Скрябин), принципы золотого сечения в композиции встречаются в 90 процентах всех произведений. Любопытно также, что при решении логических математических задач, как отмечал Б. Раушенбах, *«нередко решающую роль может играть внелогическая компонента нашего сознания, выработавшая способность производить гармонизацию хаотической массы впечатлений»* [116]. Можно считать, что и в красоте должна быть гармония и что, может быть, не красота, как считал Достоевский, а именно гармония спасет мир.

В приведенном математическом обосновании золотого сечения заложены принципы оптимальности. Под структурной гармонией можно понимать не только оптимальность строения, но и устойчивость, стационарность и целостность систем, а также устойчивость нестационарных процессов в сложных самоорганизующихся системах, что и дает возможность связывать в синергетическом подходе понятие гармонии с теорией систем и их самоорганизацией. Можно считать, что принцип золотого сечения отражает проявление структурного и функционального совершенства целого и его частей в искусстве, науке и природе¹.

7.15. Открытые системы

В техносфере и в природе имеется огромное множество открытых систем, которые обладают более высокой степенью упорядоченности. Например, различные машины, живые организмы значительно более упорядочены, чем вещества и субстанции, из которых они построены. Они представляют собой более организованную форму существования материи, чем окружающая их среда. Если эти реальные состояния рассматривать с позиций классической термодинамики, то намечается очередной парадокс: организованная система должна обладать меньшей энтропией по сравнению с окружающей средой (Больцман утверждал, что энтропия в целом в мире возрастает). В чем тут дело?

¹ См. также: Горбачев ВВ. Феномен проблемы целого и части в рамках синергетической картины мира // Физика и механика на пороге XXI века — № 3. - М.: МГУП, 2000.

212

Необходимо еще раз отметить качественное отличие замкнутой системы от открытой. В первой может сохраняться и неравновесная ситуация, но до тех пор, пока система за счет внутренних процессов не придет в равновесие и энтропия достигнет максимума. Для открытых же систем за счет подпитки энергии от внешней среды могут возникать диссипативные структуры с меньшей энтропией, т.е. система, самоорганизуясь в новом стационарном состоянии, уменьшает свою энтропию, «сбрасывает» избыток ее, возрастающий за счет внутренних процессов, в окружающую среду. Открытая система как бы «питается» отрицательной энтропией (негэнтропией, как иногда ее называют). Возникают новые устойчивые неравновесные состояния, но близкие к равновесию, когда диссипация энергии имеет минимум и рост энтропии оказывается меньше, чем в других близких состояниях. При определенных условиях суммарное уменьшение энтропии за счет обмена потоками с внешней средой может превысить ее внутреннее производство.

7.16. Принцип производства минимума энтропии

Более корректно такое понимание процессов в открытых системах нашло отражение в *принципе производства минимума энтропии* Пригожина— Гленсдорфа [20, 21, 111, 112]. Под производством энтропии понимают отношение изменения энтропии dS к единице объема системы. Степень упорядоченности открытой системы можно определить по этому принципу производством энтропии. Общее изменение энтропии

$$dS = dS_i \text{ (внутреннее)} + dS_e \text{ (внешнее)},$$

где dS — полное изменение энтропии в системе, dS_i — изменение энтропии, обусловленное происходящими в системе внутренними необратимыми процессами и dS_e — энтропия, перенесенная через границы системы из внешней среды.

В изолированной системе $dS_e = 0$, а $dS_i > 0$ и тогда в целом $dS > 0$. В открытой системе $dS = 0$ или даже $dS < 0$, поскольку dS_e может компенсировать энтропию dS_i , произведенную внутри системы, или превзойти ее. Тогда $dS_e < 0$, т.е. энтропия в систему не поступает (поступает с отрицательным знаком), а, наоборот, может из нее выводиться. Условие $dS = 0$ означает стационарное состояние, $dS < 0$ — рост и усложнение системы. Соот-

ветственно, изменение энтропии в этом случае определяется соотношением $dS_e \leq dS_i$, которое показывает, что энтропия, произведенная необратимыми процессами внутри системы, переносится в окружающую среду.

Поэтому И. Р. Пригожин и Гленсдорф сформулировали свой принцип так: при неравновесных фазовых переходах, т.е. в точках бифуркации, через которые и проходит процесс самоорганизации, система идет по пути, отвечающему меньшему значению производства энтропии. Отсюда следует вывод: чем меньше производство энтропии при реальных процессах, тем более система организована. При наличии неустойчивости (хаотической компоненты системы) понятие изолированности теряет смысл: даже на малейшие воздействия (или с ростом флуктуаций и переходом их в бифуркации при внутренних процессах) отклик в системе может стать весьма существенным, и система становится открытой. По существу в этом и заключается процесс самоорганизации — создание определенных структур из хаоса, неупорядоченного состояния. Реальные системы как бы структурируют энергию из внешней среды — упорядоченная ее часть остается в системе, а неупорядоченную энергию система «сбрасывает», возвращает в природу.

Стремление к самоорганизации присуще системам независимо от физической природы и иерархии построения системы. Хаотичность и нерегулярность сами по себе могут создавать порядок, который принципиально отличается от упорядоченности равновесных систем тем, что неравновесные упорядоченные системы существуют лишь при условии постоянного обмена с окружающей средой, а равновесные — без обмена. Физическим примером устойчивой, но неравновесной системы являются состояния инверсной заселенности в лазерах при накачке энергией. В открытых системах наряду с нерегулярностью (хаосом) налицо и частичное упорядочение. Вообще энтропия ламинарного течения жидкости меньше, чем турбулентного, и возникновение реального процесса турбулентности из ламинарного сопровождается меньшим производством энтропии.

В связи с самоорганизацией сформулируем характерные признаки этого процесса: 1) самоорганизация присуща лишь нелинейным движущимся системам; 2) необходимость обмена энергией, веществом и информацией с внешней сферой; 3) процессы должны

быть кооперативными, когерентными; 4) должен иметь место неравновесный термодинамический процесс, причем неравновесность — это такое состояние, когда приток энергии

214

извне не только «гасит» рост энтропии, но и заставляет энтропию уменьшаться.

Явления, описываемые в рамках понятий бифуркации, самоорганизации и эволюции структур, относятся не только к физике. Они присущи природе в целом и поэтому могут быть использованы во всех других науках, которые ее описывают: химии, биологии, геологии, географии, экологии. Это связано с тем, что методы анализа таких структур и применение математического аппарата те же самые, как и для нелинейных открытых физических систем. Большое сходство уравнений для описания этих явлений указывает на структурный изоморфизм процессов самоорганизации, изучаемых в естественных и гуманитарных науках.

Учитывая огромное количество реальных систем в природе и обществе, подчиняющихся законам синергетики, можно считать, что создание синергетической картины мира является по существу научной революцией, сравнимой по своим масштабам с открытием строения атома, созданием генетики и кибернетики. Синергетика убедительно показывает, что в самом фундаменте природы, как неживой, так и живой, заложен принцип «инь» — «янь». Это — принцип развертывания и свертывания, эволюции и инволюции, развития и угасания, роста и вымирания, хаоса и порядка, устойчивости — неустойчивости.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какой смысл имеет понятие «бифуркация»?
2. Объясните основные понятия синергетики.
3. Как происходят процессы в открытых системах?
4. Приведите примеры самоорганизации в неживой и живой природе.
5. Что такое диссипативные структуры?
6. Что такое аттракторы?
7. Как Вы представляете детерминированный или динамический хаос?
8. Какие два подхода известны для анализа сложных самоорганизующихся систем?
9. Как можно описать устойчивость—неустойчивость в самоорганизующихся системах?
10. Как Вы представляете возникновение порядка из хаоса?
11. В чем состоит принцип производства минимума энтропии?
12. Что можно сказать о золотом сечении и законах гармонии?
13. Что понимают под синергетической картиной мира?
14. Почему, на Ваш взгляд, невозможно дать долгосрочный прогноз погоды?
15. Как можно связать теорию катастроф с самоорганизацией сложных систем?
16. Что мы понимаем под устойчивым равновесием, неустойчивым?

ЛИТЕРАТУРА

[4](#), [8](#), [13](#), [16](#), [21](#), [26](#), [30](#), [33](#), [34](#), [62](#), [63](#), [68](#), [88](#), [109](#), [110](#), [111](#), [123](#), [125](#), [149](#), [158](#).

215

Глава 8. СИММЕТРИЯ И АСИММЕТРИЯ В РАЗЛИЧНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЯВЛЕНИЯХ

Состояние равновесия должно быть, по-видимому, симметричным

Г: Вейль

Природа менее симметрична, чем можно было бы ожидать исходя из уравнений классической и квантовой физики.

И. Пригожин

Понятия симметрии и противоположного ей объективного свойства природы — асимметрии являются одними из фундаментальных в современном естествознании. Поэтому научные исследования общеглобального характера в значительной степени основываются на рассмотрении указанных понятий. Негласный лозунг физиков-теоретиков: «правильная теория должна быть красивой» — находит свое место в построении новых теоретических моделей и связан зачастую с симметричными представлениями, а эстетический фактор играет при этом не последнее значение.

Симметрия является одним из фундаментальных свойств природы, представление о ней складывалось в течение жизни десятков сотен и тысяч поколений людей. Как говорил наш известный кристаллограф **А. В. Шубников (1887—1970)**, посвятивший изучению симметрии всю свою жизнь, *«изучение археологических памятников показывает, что*

человечество на заре своей культуры уже имело представление о симметрии и осуществляло ее в рисунке и в предметах быта. Надо полагать, что применение симметрии в первобытном производстве определялось не только эстетическими мотивами, но в известной мере и уверенностью человека в большей пригодности для практики правильных форм». Быть прекрасным, говорил Платон, *«значит быть симметричным и соразмерным»*.

Интуитивно симметрия в своих простых формах понятна любому человеку, и часто мы выделяем ее как элемент прекрасного и совершенного. В известной мере симметрия отражает степень упорядоченности системы. Например, окружность, ограничивающая каплю на плоскости, более упорядочена, чем размытое пятно на этой же площади, и, следовательно, более симметрична. Поэтому можно связать изменение энтропии как характеристики упорядочения с симметрией: чем более организовано вещество, тем выше симметрия и тем меньше энтропия.

216

Одно из определений понятий симметрии и асимметрии дал В. Готт: симметрия — понятие, отражающее существующий в природе порядок, пропорциональность и соразмерность между элементами какой-либо системы или объекта природы, упорядоченность, равновесие системы, устойчивость, т.е., если хотите, некий элемент гармонии. Другое определение дал Г. Вейль: *«Симметричным является предмет, с которым можно сделать нечто, не изменяя этого предмета»*. Асимметрия — понятие противоположное симметрии, отражающее разупорядочение системы, нарушение равновесия, что связано с изменением, развитием системы. Из соображений симметрии-асимметрии приходят к выводу, что развивающаяся динамическая система должна быть неравновесной и несимметричной. В ряде случаев симметрия является достаточно очевидным фактом. Например, для определенных *геометрических фигур не трудно увидеть эту симметрию* и показать ее путем соответствующих преобразований, в результате которых фигура не изменит своего вида.

Симметрия проявляется не только в понимании геометрического строения тел в природе, но и в ряде областей человеческой деятельности. Симметрия существует в музыке, хореографии (например, в болеро Равеля многие народные песни и танцы построены симметрично), в зеркальной симметрии текста (любопытно, *что при горизонтальной оси симметрии буквы зеркально* отражаются и «читаются», а при вертикальной оси симметрии — нет), в начертании знаков языка (например, в китайской письменности имеется иероглиф, означающий истинную середину), архитектуре, живописи, математике, логике, строении живых организмов и растений и др. В. И. Вернадский справедливо отмечал: *«Новым в науке явилось не выявление принципа симметрии, а выявление его всеобщности»*.

Для живых организмов симметричное расположение частей органов тела помогает сохранять им равновесие при передвижении и функционировании, обеспечивает их жизнестойкость и лучшее приспособление к окружающему миру, что справедливо и в растительном мире. Например, ствол ели или сосны чаще всего прям и ветви равномерно расположены относительно ствола. Так дерево, развиваясь в условиях действия силы тяжести, достигает устойчивого положения. К вершине дерева ветви его становятся меньше в размерах — *оно приобретает форму конуса*, поскольку на нижние ветви, как и на верхние, должен падать свет. Кроме того, центр тяжести должен быть как можно ниже, от этого зависит устойчивость дерева.

217

Законы естественного отбора и всемирного тяготения способствовали тому, что дерево не только эстетически красиво, но устроено целесообразно. Получается, что симметрия живых организмов связана с симметрией законов природы. На житейском уровне, когда мы видим проявление симметрии в живой и неживой природе, то невольно испытываем чувство удовлетворения тем всеобщим, как нам кажется, порядком, который царит в природе.

Однако понятие симметрии гораздо шире и ее можно понимать как неизменность (инвариантность) каких-либо свойств объекта по отношению к преобразованиям, операциям, выполняемым над этим объектом. Причем это может быть не только материальный объект, но и закон, математическая формула или уравнения, в том числе и нелинейные, которые (см. гл. 7) играют большую роль в самоорганизующихся процессах.

Дать более конкретное определение симметрии, чем у Готта, в общем случае затруднительно еще и потому, что она принимает свою форму в каждой сфере человеческой деятельности. В искусстве симметрия может проявиться в соразмерности и

взаимосвязанности, гармонизации отдельных частей в целом произведении. В математических построениях также имеют место симметричные многочлены, которые можно использовать для существенного упрощения решения алгебраических и дифференциальных уравнений. Особенно полезным оказалось использование симметричных представлений в теории групп с введением инварианта, т.е. такого преобразования, когда соотношения между переменными не изменяются. Отражением связи пространства, симметрии и законов сохранения может служить мысль великого французского математика А. Пуанкаре: *«Пространство — это группа»*.

Наиболее наглядное и непосредственное применение идей симметрии имеет место в кристаллографии и физике твердого тела, изучающих физические свойства кристаллов в зависимости от их строения. Даже непосвященному человеку хорошо видна здесь ассоциация с неким совершенством, порядком и гармонией. Идеи симметрии являются для мира кристаллов естественной базой их физической сущности. Один из создателей современной физики твердого тела Дж. Займен вообще считал, что вся теория твердых тел основана на трансляционной симметрии. Здесь симметрия проявляется при совмещении геометрических тел, например правильных многогранников, при повороте их в

пространстве на определенные углы, а также при перемещениях в атомной решетке на определенные величины векторов трансляции, кратных периоду решетки:

$$E(\vec{k}) = E\left(\vec{k} + \frac{2\pi}{a}\right),$$

где a — период решетки кристалла, $|\vec{k}|$ — модуль волнового вектора, E — энергия кристаллической решетки.

8.1. Симметрия и законы сохранения

Более глубокое понимание и применение симметрии связано (см. гл. 2) с изучением и обоснованием законов сохранения, отражающих фундаментальные свойства пространства—времени. Напомним, что симметрия относительно произвольного сдвига во времени приводит к закону сохранения энергии для консервативных (замкнутых) систем:

$$E = \text{const.}$$

Неизменность характеристик физической системы при произвольном перемещении ее как целого в пространстве на произвольный вектор приводит к закону сохранения импульса p :

$$\vec{p} = m\vec{v} = \text{const.}$$

И наконец, симметрия относительно произвольных пространственных поворотов (изотропность пространства) связана с законом сохранения момента импульса:

$$\vec{M} = \frac{d\vec{L}}{dt} = 0,$$

$$\vec{L} = \text{const.}$$

Общие законы природы, характеризующие движение материи, связаны с симметрией пространства и времени. Время само по себе не способно изменить энергию какой-либо системы. Закон сохранения энергии есть следствие однородности времени. Закон сохранения импульса есть следствие однородности пространства.

Так как категория симметрии относится к любому объекту или понятию, то она в полной мере применима, например, к физическому закону. А поскольку цель физических законов — нахождение и вычисление идентичного в явлениях, то для инер-

циальных систем, согласно принципу относительности Галилея, эти физические законы будут во всех системах одинаковы. Следовательно, они инвариантны относительно описания явлений как в одной инерциальной системе, так и в другой и тем самым сохраняют симметрию. В 1918 г. были доказаны теоремы Э. Нетер, смысл одной из которых состоит в том, что различным видам симметрии физических законов соответствуют определенные законы сохранения. Эта связь является настолько всеобщей, что ее можно считать наиболее полным отображением понятия сохранения субстанций и законов, ее описывающих, в природе. Как сказал Р. Фейнман, *«среди мудрейших и удивительных вещей в физике эта связь — одна из самых красивых и удивительных»*.

Различие видов симметрии связано с разными способами пространственно-временного преобразования одной инерциальной системы в другую инерциальную систему.

Остановимся на этом несколько подробнее. Каждому такому пространственно-временному преобразованию соответствует определенный вид симметрии. Так, перенос начала координат в произвольную точку пространства при неизменности физических свойств или их проявлении связан с симметрией таких преобразований (это как раз и есть трансляционная симметрия) и означает физическую эквивалентность всех точек пространства, т.е. его однородность.

Поворот координатных осей в пространстве связан с физической эквивалентностью разных направлений в пространстве и означает изотропность пространства. Симметрия относительно переноса во времени связана с физической эквивалентностью различных моментов времени, что должно также отражать идею независимости хода времени от его начала (время протекает одинаково). Поэтому однородность времени проявляется в его равномерном течении, а относительная скорость всех процессов, протекающих в природе, одинакова. Факт равномерности течения времени был установлен экспериментально с точностью до 10^{-14} с за период ~ 10 миллионов лет; например, спектральный состав излучения звезд, испущенного миллионы лет назад и воспринимаемого нами только сейчас, имеет одинаковый спектральный состав таких же атомов на Земле.

В классической релятивистской механике симметрия выражается в принципе относительности. Равномерное и прямолинейное движение материальной точки в инерциальной системе отсчета с произвольной скоростью, но меньшей, чем скорость све-

та, связано с симметрией и физической эквивалентностью такого движения и покоя (неразличимость параметров движения объекта в движущемся равномерно и прямолинейно поезде и поезде, стоящем неподвижно на путях). Как мы знаем, при скоростях $V \ll c$ используют принцип относительности и преобразования Галилея, при $V \approx c$ (релятивистские скорости) — принцип относительности Эйнштейна и преобразования Лоренца. Такого рода симметрию (неразличимость покоя и равномерно-прямолинейного движения) можно условно определить как изотропию пространства—времени. Эти виды симметрии объединяются в СТО в единую симметрию четырехмерного пространства—времени.

8.2. Симметрия—асимметрия

Проблемы симметрии—асимметрии оказываются тесно связанными между собой глубже, чем это кажется, исходя из бинарной структуры этих понятий (да — нет). Примером может служить состояние человека во вращающейся центрифуге. Существует симметрия вращения (поворота), но относительность покоя и вращательного движения нарушается и человек в такой центрифуге по своему состоянию (вестибулярные ощущения) может отличить, что его вращающаяся закрытая (герметизированная) камера на центрифуге вращается. Таким образом, возникает ситуация, при которой физические законы не инвариантны относительно вращения, т.е. налицо асимметрия.

Асимметрия относительно масштабных преобразований при изменении масштабов физических систем связана с тем, что порядок размеров атомов имеет одинаковое для всей нашей Вселенной значение ($\sim 10^{-10}$ м). Если уменьшить масштабы размеров, например, изделий микроэлектроники, в том числе и пленочных, то характер поведения электронов в них изменится (возникнут размерные эффекты), т.е. опять-таки может появиться асимметричность процессов при таких размерах. Другой пример несимметрии относительно масштабов можно привести из биологии: несмотря на похожесть окраски, нельзя, например, раскормить осу до размеров тигра, так как при массе 10—100 кг она потеряет способность летать — возникнет другое качество.

Рассмотрим другие виды симметрии. Упомянутые выше пространственно-временные виды симметрии условно объединяет одно общее свойство: они являются как бы «внешними» симмет-

риями, так как отражают глубокие свойства структуры пространства—времени, представляющие собой форму существования любого вида материи, и поэтому справедливые для любых мыслимых взаимодействий и физических процессов. Весь физический опыт познания мира показывает отсутствие нарушений инвариантности законов природы относительно указанных пространственно-временных преобразований. В этом уже не только физический, но и философский смысл познания и установления объективности законов природы.

Однако во «внешних» симметриях не затрагивается «внутренний мир» физического объекта, который никак не связан с внешними свойствами. В природе кроме рассмотренных законов сохранения энергии, импульса и момента импульса существуют и другие законы сохранения, которые выполняются с той или иной степенью общности, в частности закон сохранения электрического заряда. В физике фундаментальных частиц имеются и другие сохраняющиеся (или по крайней мере введенные так) величины, подобные электрическому заряду — барионное число, четность, изоспин, ароматы (странность, очарование, красота и др.). Они, по сути, квантовые числа, связаны фазовыми преобразованиями волновой функции ψ и не зависят от свойства пространства—времени. Симметрия играет важную роль в исследовании физики микромира. Наш физик-теоретик А. Мигдал считал, что главными направлениями физики XX в. были поиски симметрии и единства картины мира.

Сохранение подобных величин, непосредственно не связанных со свойствами пространства—времени, относится к понятию «внутренней» симметрии.

8.3. Закон сохранения электрического заряда

Рассмотрим закон сохранения электрического заряда. Смысл его в том, что *алгебраическая сумма зарядов* любой электрически изолированной системы сохраняется во времени:

$$\operatorname{div} \vec{j} = -\frac{\partial \rho}{\partial t} \text{ или } \frac{\partial j}{\partial t} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0,$$

где j — плотность тока, ρ — объемная плотность заряда. Физический смысл этого уравнения состоит в том, что $\operatorname{div} \vec{j}$ — расходимость тока (его движение) связана с изменением во времени, т.е. перемещением электрического заряда. Математический смысл

222

закона сохранения заряда заключен в уравнении непрерывности. Электрический ток — направленное движение свободных заряженных частиц в электрическом поле. Физический смысл закона сохранения заряда отражает факт несотворимости и неуничтожимости электрического заряда.

Нужно подчеркнуть, что сохранение электрического заряда в изолированных (замкнутых) системах не сводится к сохранению числа заряженных частиц. Так при β распаде нейтрона, не имеющего заряда, $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$ возникают протон (с зарядом e^+), электрон (заряд e^-) и антинейтрино, также не имеющее заряда. В этой реакции появились две электрически заряженные частицы, но их суммарный заряд равен нулю, как и у породившего их нейтрона. Отметим, что важным следствием закона сохранения заряда является устойчивость электрона. Электрон является самой легкой электрически заряженной частицей. Поэтому ему просто не на что распадаться, так как в этом случае нарушился бы закон сохранения электрического заряда. По современным представлениям, время жизни электрона не менее 10^{19} лет, что говорит в пользу этого закона.

8.4. Зеркальная симметрия

Прежде чем перейти к другим «внутренним» симметриям остановимся еще на двух видах дискретной симметрии, которые отличаются от непрерывных симметрий сдвига и поворота. Рассмотрим зеркальную симметрию, которая описывается пространственной инверсией, т.е. отражением системы координатных осей. Инверсия пространства осуществляется «сразу» (в зеркале), а ее повторное применение возвращает систему в исходное состояние. Это отражение называется операцией изменения «четности» (пример с теннисистом в зеркале). Другой дискретной симметрией является симметрия относительного обращения времени, приводящая к тому, что в симметричной Вселенной законы природы не изменяются при замене направления течения времени на обратное (t тождественно равно $-t$ и наоборот). Применение данной симметрии показывает, что направление возрастания времени (движение в одну сторону) не играет существенной роли. С равной вероятностью возможен и обратный процесс. Другими словами, установить путем наблюдения, происходит ли развития событий в будущее или в прошлое, для

223

равновесной симметричной системы невозможно. К такому же результату приводит детерминированная механика Галилея — Ньютона в замкнутых системах. Но

одновременно мы уже знаем и о существовании «стрелы времени» для открытых неравновесных систем. И это еще раз показывает неумолимо, что время все-таки «течет» от прошлого к будущему и наша Вселенная неравновесна и асимметрична. Заметим, однако, что понятие энтропии не однозначно применимо к микромиру и, следовательно, изучая его, нельзя установить направление времени.

8.5. Другие виды симметрии

Дальнейшее расширение количества физических симметрий связано с развитием квантовой механики. Одним из специальных видов симметрии в микромире является *перестановочная симметрия*. Она основана на принципиальной неразличимости одинаковых микрочастиц, которые движутся не по определенным траекториям, а их положения оцениваются по вероятностным характеристикам, связанным с квадратом модуля волновой функции. Перестановочная симметрия и заключается в том, что при «перестановке» квантовых частиц не изменяются вероятностные характеристики, квадрат модуля волновой функции — величина постоянная $|\psi|^2 = \text{const}$.

Исследование реакций с участием элементарных частиц и античастиц, а также процессов их распада привело к открытию некоторых новых свойств симметрии, а именно *зарядовой симметрии* или, более точно, зарядовой симметрии частиц и античастиц. При изучении ядерных взаимодействий нуклонов (сильные взаимодействия) было обнаружено, что эти ядерные силы почти не зависят от типа нуклонов, т.е. при этих взаимодействиях нет различия между нейтроном и протоном, оба они есть два состояния одной частицы — нуклона. Аналогично, μ мезон может находиться в трех состояниях, соответствующих трем различным частицам. Такие состояния называются изотопическими, и они характеризуются изотопическим спином, или изоспином (см. табл. 6.2). Симметрия, связанная с этими процессами, и получила название *изотопической симметрии*.

С теорией элементарных частиц, типами взаимодействия полей и попыткой построения теории единого поля, связаны еще два вида симметрии: кварк-лептонная и калибровочная. *Кварк-лептонная симметрия* проявляется в единой теории поля.

224

Считается, что по существу кварки и лептоны неразличимы в области очень больших энергий. Но в случае спонтанного нарушения симметрии и в области низких энергий они приобретают совершенно различные свойства. Тем самым установлено, что между кварками и лептонами возможны переходы. Этот факт может служить еще одним убедительным доказательством единства природы.

Калибровочная симметрия связана с масштабными преобразованиями, представляющими сдвиги нулевых уровней скалярного и векторного потенциалов полей. Термин «калибровочное поле» (преобразование, инвариантность) выдвинул немецкий математик Г. Вейль (1885—1955). Смысл идеи состоит в том, что физические законы не должны зависеть от масштаба длины, выбранного в пространстве, и не должны изменять свой вид при замене этого масштаба на любой другой. С обычной логикой это вроде бы самоочевидно: почему, действительно, законы Ньютона будут другими, если мы будем измерять путь в метрах, сантиметрах или в мегапарсеках?! Однако значение изменения масштаба состоит в том, что оно имеет принципиально нефизический характер, т.к. не вызвано какими-либо физическими воздействиями, а геометрический характер, в частности изменение длины, обусловлен лишь особенностями структуры пространства—времени. Тем самым пространство—время перестает быть лишь пассивным резервуаром вещества и поля, где происходят физические процессы, оно само начинает активно влиять на эти процессы. Геометрия приобретает динамический характер.

Особое значение приобретает принцип калибровочной инвариантности, если преобразования проходят локально в каждой точке пространства—времени и неоднородно, т.е. с изменяющимся соотношением от точки к точке. Вот это преобразование Г. Вейль и назвал масштабным или калибровочным. Его формулировка звучит так: все физические законы инвариантны относительно произвольных (однородных и неоднородных) локальных калибровочных преобразований. В таком виде принцип Вейля является, по существу, развитием общего принципа относительности Эйнштейна, что все физические законы в любой системе отсчета (инерциальной и неинерциальной) должны иметь одинаковый вид. Уместно в связи с этим заметить, что теория Эйнштейна была первой теорией, в которой геометрический фактор (искривление пространства—времени) напрямую связывался с физической характеристикой

(гравитационной

225

массой), что послужило в настоящее время дальнейшему развитию идей геометродинамики. Эти преобразования масштаба оставляют силовые характеристики поля (например E и B для электромагнитного поля) неизменными. На основе калибровочной симметрии построены теории электрослабого и электросильного взаимодействий.

В последние десятилетия прошлого уже века стала развиваться модель суперсимметрии, которая, кстати, была предложена нашими теоретиками Гельфандом и Лихтманом. Упрощенно говоря, их идея состояла в том, что, подобно тому как существуют обычные размерности пространства и времени, должны иметься экстра-размерности, которые можно измерить в так называемых числах Грассмана. Мы уже говорили ранее о в общем-то трудно-воспринимаемой возможности существования многомерности пространства. Но, как говорил С. Хокинг, даже научные фантасты не додумались до чего-нибудь столь же странного, как размерности Грассмана. В нашей обычной арифметике, если число 4 умножить на 6, — это то же самое, что 6 умножить на 4. Но странность чисел Грассмана состоит в том, что если X умножить на Y , то это равно минус Y умножить на X . Чувствуете, как это далеко от наших классических представлений о природе и методах ее описания?

Вопросы симметрии играют решающую роль в современной физике. Динамические законы природы характеризуются определенными видами симметрии. В общем смысле под симметрией физических законов подразумевают их инвариантность по отношению к определенным преобразованиям. Необходимо также отметить, что рассмотренные типы симметрий имеют определенные границы применимости. Например, симметрия правого и левого существует только в области сильных электромагнитных взаимодействий, но нарушается при слабых. Изотопическая инвариантность справедлива только при учете электромагнитных сил. Для применения понятия симметрии в физике можно ввести некую структуру, учитывающую четыре фактора:

- Объект или явление, которое исследуется.
- Преобразование, по отношению к которому рассматривается симметрия.
- Инвариантность каких-либо свойств объекта или явления, выражающая рассматриваемую симметрию. Связь симметрии физических законов с законами сохранения.
- Границы применимости различных видов симметрии.

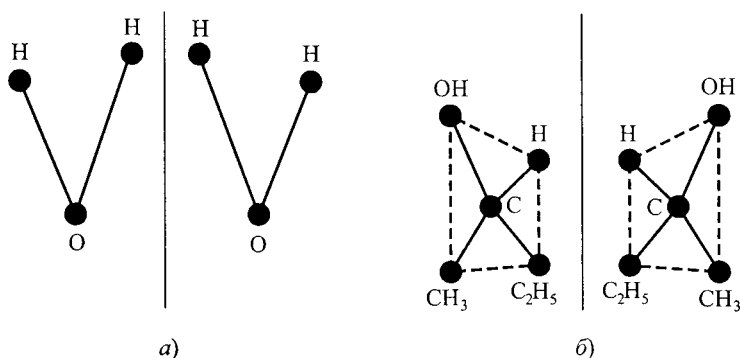
226

Изучение свойств симметрии физических систем или законов требует привлечения специального математического анализа, в первую очередь представлений теории групп, наиболее развитой в настоящее время в физике твердого тела и кристаллографии.

В целом же из законов сохранения, которые являются следствием пространственно-временной симметрии законов самой природы, следует условность разделения физики на механику, термодинамику, электродинамику и т.д., и, следовательно, наличие неразрывность единства всей природы.

8.6. Хиральность живой и неживой природы

Не останавливаясь здесь более подробно на понятиях физики живого, которая будет подробно рассмотрена во второй части, обсудим кратко идеи симметрии—асимметрии применительно к проблемам объектов живой и неживой природы. По существу, это философский, но с естественно-научной точки зрения вопрос о возникновении, развитии и сущности жизни. Чем отличаются молекулы «живых веществ» от «неживых»? В какой-то мере это связано с симметрией, точнее зеркальной симметрией. Если рассмотреть пример зеркального изображения двух молекул неорганического вещества воды и органического, но «неживого» вещества — бутилового спирта (рис. 8.1), то принципиальное различие проявляется в том, что молекула H_2O зеркально симметрична, а молекула спирта зеркально асимметрична. «Левая» и

Рис. 8.1. Зеркальная симметрия молекул воды (а) и бутилового спирта (б).

227

«правая» молекулы не совпадают, как левая и правая руки человека. Асимметричные молекулы в химии называют стереоизомерами, а само свойство зеркальной асимметрии носит название хиральности или хиральности (от греческого слова «кир» — рука). Так вот, выяснилось, что в природе хиральностью обладают и «живые», и «неживые» молекулы, но «живые» всегда только хиральны, причем «неживые» хиральные молекулы равновероятно встречаем и в левом, и в правом варианте, а «живые» — только или в левом, или в правом. В этом смысле молекулы живых организмов хирально чисты. Так, ориентация ДНК-спирали всегда правая. В свое время Л. Пастер, а затем и В. И. Вернадский предлагали на этом принципиальном различии провести раздел между живой и неживой природой.

Предполагают, что основополагающим признаком возникновения и развития жизни и является способность живых организмов извлекать и конструировать из симметричных и хирально нечистых молекул окружающей среды хирально чистые молекулы, необходимые для живого организма. Примером могут служить извлечение растениями из симметричных молекул воды и углекислого газа в процессе фотосинтеза асимметричных молекул крахмала и сахара. Наряду с другими питательными веществами эти молекулы поступают в пищу живых организмов, и из них образуются уже хирально чистые молекулы. Если хиральность молекул веществ пищи изменится на противоположную, то эти вещества окажутся для живого организма биологическим ядом, они отторгаются организмом, ведут его к гибели. Это достаточно характерный пример того, как из физических представлений симметрии можно объяснить происхождение живой материи и даже дать рекомендации практической медицине.

В общем смысле мы можем считать, что и возникновение жизни в целом связано со спонтанным нарушением имевшейся до того в природе зеркальной симметрии. Предполагают, что возникаемая асимметрия произошла скачком в результате Большого Биологического Взрыва по аналогии с БВ, в результате которого образовалась Вселенная, под действием радиации, температуры, полей и т.д. и нашла свое отражение в генах живых организмов. Этот процесс, по существу, также является процессом самоорганизации (см. гл. 7). В какой-то точке бифуркации произошел и самоорганизующий акт возникновения разума уже живой материи.

228

8.7. Симметрия и энтропия

Теперь уместно связать симметрию с энтропией живых организмов. Известно, что переход вещества на более высокую степень организации, упорядоченности снижает энтропию как меру хаотичности. Но наибольшей симметрией обладает как раз равновесное хаотическое состояние. Значит, уменьшение энтропии неизбежно приводит к уменьшению симметрии, т.е. увеличению асимметрии живых организмов. Чем выше уровень организации материи, тем меньше энтропия и симметрия. Для снижения энтропии живых организмов, как открытых систем, обменивающихся энергией и материей (пища и отправления) с окружающей средой, необходима энергия, причем значительная, которая вырабатывается в соответствующих частях клеток (митохондриях) живых организмов за счет пищи, т.е. поглощения энергии внешней среды (Солнца и биосферы).

Образно выражаясь, мы забираем от природы более организованную структурированную материю, обладающую меньшей энтропией, т.е. подпитываем себя

негэнтропией, а отдаем ей неструктурированную материю, обладающую большей энтропией. «Питаемся», с энергетической физической точки зрения, отрицательной энтропией, а отдаем положительную энтропию. И когда в естественных условиях этот баланс нарушается, то наступает некоторое динамическое равновесие — обмен энтропией между человеком и окружающей средой стабилизируется, энтропия системы человек — окружающая среда возрастает, и живой организм гибнет (энтропия его возросла). Поэтому биологическая смерть живого организма — это рост энтропии до ее уровня в окружающей среде. Повышение же энергетического потенциала в живом организме при «нормальном» обмене энтропией его с окружающей средой увеличивает химическую активность клеток и дает возможность самовоспроизведения и развития.

По мере упорядочения живых организмов, их усложнения в ходе развития жизни асимметрия все больше и больше превалирует над симметрией, вытесняя ее из биохимических и физиологических процессов. Однако и здесь имеет место динамический процесс: симметрия и асимметрия в функционировании живых организмов тесно связаны. Внешне человек и животные симметричны, однако их внутреннее строение существенно асимметрично. Если у низших биологических объектов, например низших растений, размножение идет симметрично, то у высших имеет

229

место явная асимметрия — разделение полов, где каждый пол вносит в процесс самовоспроизведения свойственную только ему генетическую информацию. Так, устойчивое сохранение наследственности есть проявление в известном смысле симметрии, а в изменчивости же проявляется асимметрия. В целом же глубокая внутренняя связь симметрии и асимметрии в живой природе обуславливает ее возникновение, существование и развитие.

Существуют ли другие виды симметрии и связанные с ними законы сохранения? В чем состоит глубокое значение законов сохранения электрического заряда, лептонного и барионного чисел, странности, изотопического спина и др.? Как это связано со свойствами абстрактного пространства? В чем смысл наличия черных дыр как неких «пропускных пунктов» из нашего пространства в другое? К сожалению, пока на эти вопросы мы ответа не имеем, хотя и хорошо, что современная наука дает возможность их задавать.

По поводу задаваемых вопросов существует следующий физический анекдот. В. Паули очень любил задавать вопросы, на которые не всегда можно найти правильные ответы (их вообще могло и не быть!). Когда он умер, то продолжал свое любимое занятие на том свете. И там никто не мог ответить на его вопросы. Тогда он решил обратиться к Богу. Господь терпеливо и внимательно выслушал его и ответил: «Вся трудность, Паули, в том, что Вы задаете не те вопросы», и это подтверждает В. Гейзенберг: *«Ответ природы на вопрос исследователя зависит не только от ее устройства, но и от способа постановки вопроса»*, и ему вторит И. Пригожин: *«Познание мира — это диалог человека с природой, искусство вопрошать природу и давать ей возможность ответить на его вопросы»*.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие примеры симметрии и асимметрии в неживой и живой природе Вы можете привести?
2. Обоснуйте связь симметрии с законами сохранения.
3. Какие виды симметрии Вам известны?
4. В чем смысл принципа Вейля?
5. Связана ли гармония с симметрией?
6. Как можно понять природу симметрии?
7. Что такое хиральность молекул объектов живой природы?
8. Какова связь симметрии с энтропией?
9. Как происходит обмен энергией между живым организмом и окружающей средой?

ЛИТЕРАТУРА

[26](#), [59](#), [71](#), [75](#), [88](#), [115](#), [131](#), [134](#).

230

Глава 9. СОВРЕМЕННАЯ ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНАЯ КАРТИНА МИРА С ПОЗИЦИИ ФИЗИКИ

Многообразие отдельных законов пронизана некими общими принципами, которые так или иначе содержатся в каждом законе.

Р. Фейнман

Природа — сфинкс.
И тем верней своим искусом губит человека,
что, может статься, никакой от века
загадки нет и не было у ней.
Ф. Тютчев

В заключение можно отметить, что физический аспект лежит в основе всего естествознания. Развитие физики показывает, что происходит непрерывное движение от понимания отдельных, частных проблем ко все более общим законам природы. Появление релятивистской механики Эйнштейна отнюдь не отменило классическую физику Ньютона. Последняя оказалась следствием механики Эйнштейна при условии, что скорости движения малы по сравнению со скоростью света. Законы макроскопической механики являются следствием законов квантовой механики, управляющих микромиром.

На эмоционально-лингвистическом уровне можно в шутку сказать, что Ньютон внес «новый тон» (new tone) в описание динамических законов природы или вообще построил целый «новый город» в современной для того времени физике (new town), оправдывая тем самым свою знаменитую фамилию Newton. А на то, что соответствующие фундаментальные законы природы вообще должны представлять собой нечто принципиально единое и неизблемое как некий монолит или один-единственный краеугольный камень, или короче — просто один камень (ein Stein), — на это обратил должное внимание как раз Эйнштейн, опять-таки как бы оправдывая, словно по воле Провидения, свою столь же знаменитую фамилию Einstein.

В современной постнеклассической физике замечено, что с каждым новым шагом развития ее основные законы и теории как бы упрощаются, становятся более фундаментальными. Как сказал А. Мигдал, *«в науке в отличие от искусства глубокая мысль выигрывает от упрощения»*. Естественно, новая теория должна переходить в старую в тех условиях, для которых эта старая теория была установлена. Это позволяет отделять, согласно М. Гелл-Манну, возможное от еще не изученного. Ученый дол-

231

жен быть непредвзятым и отказываться от привычных представлений только тогда, когда новые представления не противоречат установленным фактам. Все большее число известных ранее законов и положений становится следствием более общих. При этом старые утверждения, как часть новых, можно вывести, опираясь на законы формальной логики. Например, по мере развития физики число фундаментальных взаимодействий и фундаментальных частиц уменьшилось. Почему это происходит, не совсем понятно, но это исторический факт, который интуитивно еще в XIV в. был осознан францисканским монахом и философом У. Оккамом и получил название принципа *бритвы Оккама*. Его утверждение гласит: *«Чем ближе мы находимся к некоторой истине, тем проще оказываются законы, выражающие эту истину»* или: *«не приумножай сущностей сверх необходимого»*, т.е. объясняй факты простейшим способом. Это одна из аксиом науки. Возможно, число законов природы конечно, но способы познания их, т.е. наука, остаются при этом бесконечными. Как сказал Р. Фейнман: *«Может быть, вещь проста только тогда, когда ее можно исчерпывающим образом охарактеризовать несколькими различными способами, еще не зная, что на самом деле ты говоришь об одном и том же»*. Кроме того, познанные законы природы показали, что установление рамок, границ, в пределах которых действует та или иная физическая модель, также является своего рода фундаментальным законом. Как сказал Л. Ландау: *«Главное в физике — это умение пренебрегать»*. По существу, все физические теории, основанные на предыдущих, надежно установленных и объясненных наукой наблюдениях, сузили круг тех вопросов, которые можно задавать природе. Как справедливо указывалось в [62], *«осознание новых ограничений стало признаком фундаментальных теорий»*.

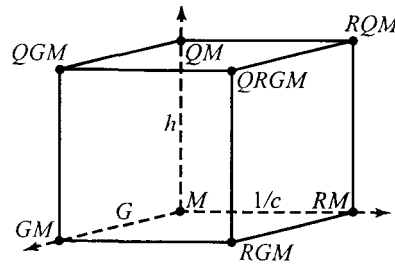
9.1. Классификация механик

Можно представить некоторую образную, взятую из кристаллографических представлений классификацию фундаментальных физических теорий или механик. Как предложил А. Зельманов [76], в пространстве трех одинаково нормированных (чтобы не нарушать симметрию куба) универсальных мировых констант — гравитационной постоянной G , $1/c$ и постоянной Планка $\hbar$, все механики составляют характерный куб фундаментальных физических теорий. Каждая механика находится в вер-

шинах куба с соответствующими координатами (рис. 9.1): $M(0,0,0)$; $GM(G,0,0)$; $RM(0,1/c,0)$; $QM(0,0,h)$; $RGM(G,1/c,0)$; $RQM(0,1/c,h)$; $QGM(G,0,h)$; $QRGM(G,1/c,h)$.

Такая классификация позволяет также и прогнозировать дальнейшее развитие физики как науки. Классическая механика Ньютона (M) не содержит никаких универсальных физических мировых констант и является *первой* фундаментальной теорией.

Рис. 9.1. Куб фундаментальных физических теорий.



Гравитационной механикой (GM) Ньютона является *вторая* фундаментальная теория, она содержит ньютоновскую универсальную мировую гравитационную постоянную G . *Третьей* фундаментальной физической теорией стала электродинамика Максвелла и связанная с ней СТО Эйнштейна, или релятивистская механика (RM), где в качестве универсальной мировой постоянной рассматривают скорость света c — предельно возможная скорость распространения физических воздействий. *Четвертой* фундаментальной физической теорией, основанной на постулатах Бора, является квантовая механика (QM), содержащая универсальную мировую константу постоянную Планка h как минимально возможный квант действия. *Пятой* фундаментальной физической теорией стала ОТО Эйнштейна, т.е. релятивистская гравитационная механика (RGM), содержащая универсальные мировые константы c и G учитывающая искривление гравитационного поля при скоростях, близких к c . *Шестой* фундаментальной физической теорией считается релятивистская квантовая механика (RQM), содержащая мировые универсальные постоянные c и h . И наконец, еще две, которые, вообще говоря, еще только должны быть. *Седьмая* — квантовая гравитационная механика (QGM), необходимая для описания сингулярностей (черных дыр и первых мгновений БВ). В ней отчасти уже оперирует квантовая электродинамика с универсальными постоянными h и G . *Восьмой*, с позиции такой классификации — последней, должна стать искомая пока квантовая релятивистская гравитационная механика ($QRGM$), содержащая все три мировые универсальные постоянные h , c и G .

Вероятно, в связи с трехмерностью описания нашего пространства требуются только три необходимые независимые уни-

версальные константы (и в этом суть аналогии с кубом), в качестве которых могут выступать любые эквивалентные им параметры, непосредственно связанные с экспериментом, но непременно три. Все эти механики взаимосвязаны между собой подобно ионам в узлах кубической кристаллической решетки. Так, классическая ньютоновская механика (M), которая еще учитывает универсальную постоянную гравитационного взаимодействия, конечность физически возможной скорости распространения всех физических воздействий и принципиально дискретный квантовый характер любого физического действия, является предельным случаем гравитационной (GM), релятивистской (RM) и квантовой (QM) механик, т.е. соответственно получается из них при $G \rightarrow 0$, $1/c \rightarrow 0$ и $h \rightarrow 0$. Аналогичным образом гравитационная (GM), релятивистская (RM) и квантовая (QM) механики представляют собой соответствующие предельные случаи релятивистской гравитационной механики (RGM), релятивистской квантовой механики (RQM) и квантовой гравитационной механики (QGM). Очевидно, что релятивистская гравитационная механика (RGM), релятивистская квантовая механика (RQM) и квантовая гравитационная механика (QGM) являются предельными случаями квантовой релятивистской гравитационной механики ($QRGM$).

9.2. Современная физическая картина мира

Подведем теперь краткий итог рассмотренных выше идей современной естественно-научной картины мира на основе постнеклассических физических представлений или той физики, которая, по терминологии И. Пригожина, является *физикой существующего*.

Современная естественно-научная картина отличается более фундаментальным уровнем рассмотрения явлений природы. Современные физические теории имеют дело с самыми основными понятиями, свойствами, состояниями природы, такими, как время, пространство, масса, заряд, поле, вакуум и т.д. Создана теория атома, объясняющая стабильность атомов, периодичность свойств химических элементов, образование химических связей различных видов, объясняющих многочисленные и разнообразные физические и химические явления. Установлено строение атома и составляющих его частиц. В итоге сформулирована последовательная концепция атомистического строения материи, согласно которой все сущее состоит из

234

12 фундаментальных фермионов: 6 кварков различных ароматов и цветов и 6 лептонов с различными лептонными зарядами. Все многообразие природных явлений объясняется взаимопревращением этих частиц и их взаимодействием, которые сводятся к четырем видам фундаментальных взаимодействий — гравитационному, сильному, слабому и электромагнитному. Предполагают, что переносчиками взаимодействия (носителями полей) являются частицы — фундаментальные бозоны, фотон, гравитон. Предпринимают попытки объединить эти взаимодействия в одно. Важно также, что результаты исследования микромира дают возможность по-новому осмыслить процессы мегамира — рождение и эволюцию звезд, галактик, всей Вселенной. Считается, что в окрестностях точки Большого Взрыва при $T > 10^{32}$ К эти все взаимодействия были объединены.

Другим существенным моментом является то, что современная естественно-научная картина Мира основана на фундаментальном вероятностном принципе обобщения закономерностей. Этот принцип, вытекающий из квантовой физики, можно распространять и на гуманитарный подход к изучению мира, т.е. использовать физические модели, в том числе статистические физические модели, для описания природы, социума и общества в целом. При этом природа, общество, Вселенная рассматриваются в развитии, во взаимодействии их сущностей. Так, ОТО связала пространство—время, квантовая теория доказала условность разделения вещества и поля. Выяснилась тесная взаимосвязь таких свойств объектов природы, как симметрия — асимметрия, хаос и порядок, дискретность и непрерывность. Классическое естествознание на разных этапах развития картин мира рассматривало физические модели описания объектов как замкнутых систем с линейными зависимостями описывающих их параметров. В современной картине мира рассматривают уже более распространенные в природе открытые системы, которые обмениваются с окружающей средой веществом, энергией, информацией. Для них характерны разнообразие, неустойчивости эволюции, нелинейные соотношения, процессы самоорганизации. Синергетический подход применим к объяснению самых разнообразных явлений в мире. Выяснилось, что нелинейность присуща не только чисто физическим процессам, но и большинству других — биологических, психологических, социальных, экологических, демографических, политических, экономических и др.

235

Поэтому в синергетической картине мира с единых позиций можно объяснить большинство глобальных процессов, используя нелинейность связей в различных моделях и системах. Использование методов и понятий синергетики позволяет прогнозировать эволюцию систем различной природы через процессы самоорганизации материи. Понятия бифуркаций, возникновения новых упорядоченных структур из хаоса и возможность управления процессами через малые управляющие параметры дают возможность более адекватно рассматривать природу самых разнообразных явлений, а в социально-экономических проблемах принимать правильные решения. Новые структуры возникают в точках бифуркации, когда еще не ясно, куда будет двигаться система, но тенденцию можно спрогнозировать или проанализировать выбором решений и путей развития. Само научное знание развивается так же, как открытая система, — по законам самоорганизации. Постнеклассическое естествознание рассматривает мир как процесс, и в синергетической картине он представляется глобальной иерархической самоорганизующейся системой.

Окружающий человека мир, безграничный в пространстве и времени, дает грандиозную картину мироздания, в которой все связано со всем. Жизнь природы, Земли, Вселенной, физическая и духовная жизнь человека, жизнь и эволюция общества — все подчинено единым фундаментальным законам природы. Человек всегда пытался определить эту глобальную взаимосвязь всего со всеми разными способами и понять свое место, роль и предназначение в мире. Развитие науки, и прежде всего физики как способа

познания, позволило построить некие модели — системы понимания и описания картины мира на основе существующего знания. На разных этапах развития человечества были построены механическая, электромагнитная, квантово-механическая, синергетическая картины мира. Это отражает лишь бесконечный процесс познания, приближения к единой эволюционной картине мира и обуславливает принципиальную незавершенность научной картины мира. Современная наука пытается переосмыслить познанное, преодолевая необъясненные парадоксы и стереотипы мышления, создавая новую мировоззренческую парадигму.

В свое время механический взгляд, создавший рациональный метод объяснения мира, позволил объяснить и предсказать его развитие, но отделил человека и Бога от существующего мира.

236

Лапласовский детерминизм тем самым выделил естественные науки из общего холистического понимания всего сущего. Физика отделилась от гуманитарного знания, последующее проникновение в природу вещей на основе естественных наук на самом деле позволило лишь увидеть глубину, сложность и непознанность мира, хотя это, конечно, не означает прекращения попыток познать его!

Оказалось, что на фундаментальном уровне природа едина, все грани в ней весьма условны и только лишь отражают последовательное приближение коллективного разума человечества к познанию мира. Об этом писал Н. Н. Моисеев: *«Очень многое не ясно и скрыто от нашего взора. Тем не менее, сейчас перед нами разворачивается грандиозная гипотетическая картина процесса самоорганизации материи от Большого Взрыва до настоящего времени, когда материя познает себя, когда ей присущ Разум, способный обеспечить ее целенаправленное развитие»*. Единство всего сущего и его различных проявлений должно обуславливать и сближение, взаимопроникновение естественно-научного и гуманитарного подходов к познанию мира. При этом меняется также и роль исследователя в этом процессе познания: он сам становится неотъемлемой частью создаваемой им картины мира, которая вследствие этого перестает быть только естественно-научной. Поэтому возрастают роль нелогической компоненты мышления в познании, влияние интуитивных, близких художественному творчеству приемов в познании Истины. Правильнее считать, что современная картина мира должна строиться на базе парадигмы естественной и гуманитарной культур, целостного, непредвзятого взгляда на мир. Поэтому наука есть основа взаимопонимания, искусство — основа мировосприятия, а их сумма — основа гармонического восприятия всего мира, человеческого мироощущения. В представления современной естественно-научной картины мира органично вписываются также идеи В. Вернадского о ноосфере как симбиозе человечества и остальной природы, обеспечивающей их коэволюцию, взаимодействие и способ существования.

Можно надеяться, что новый целостный взгляд на мир, общество, жизнь в рамках современной концепции естествознания позволит человечеству в XXI в. разумно решать глобальные проблемы демографического, экологического, политического и социально-экономического характера. Не забывая при этом предостережение С. Хокинга: *«Предположение, что законы физики,*

237

открытые и изученные в лаборатории, будут справедливы в других точках пространственно-временного континуума, безусловно, очень смелая экстраполяция». И все же согласимся с А. Эйнштейном, что *«самое удивительное в природе это то, что мы можем ее понять»*. И *«наша первейшая задача — научиться слушать природу, чтобы понять ее язык»* (И. Тамм), а *«то, что мы видим, зависит от того, куда мы смотрим»* (Е. Лец).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что составляет основную структуру современного естествознания?
2. Почему физику можно считать основой современного естествознания?
3. Приведите примеры использования физических моделей для объяснения явлений природы и общества.
4. Что такое куб фундаментальных физических теорий Зельманова?
5. О чем говорит принцип «бритвы Оккама»?
6. Что такое геометродинамика?
7. Изложите основное содержание современной естественно-научной картины мира.
8. В чем заключается основная идея парадигмы современной картины мироустройства?
9. Может ли лишь одна естественная наука объяснить окружающий нас мир?

10. Каковы Ваши представления о ноосфере?

11. Почему, на Ваш взгляд, число три имеет такое распространение в описании нашего понимания мира?

12. Что в Вашей жизни можно описать на языке физических моделей в понятиях современного естествознания?

ЛИТЕРАТУРА

[8](#), [16](#), [18](#), [19](#), [21](#), [25](#), [28](#), [30](#), [42](#), [43](#), [44](#), [48](#), [49](#), [50](#), [61](#), [62](#), [74](#), [76](#), [77](#), [92](#), [97](#), [106](#), [112](#), [114](#), [115](#), [122](#), [133](#), [150](#).

Часть II. ФИЗИКА ЖИВОГО И ЭВОЛЮЦИЯ ПРИРОДЫ И ОБЩЕСТВА

Жизнь - это тема детективного романа, всегда прерывающаяся на самом интересном месте

В. Я. Александров

Непостоянно все, что в мире есть, К тому ж изъянов в том, что есть, не счесть.

Поверь же в то, что сущее незримо И признано все то, что зримо здесь.

Омар Хайям

Глава 10. ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ ЖИВОГО

Переходя к описанию представлений о живом, мы затрагиваем самый глубинный вопрос нашего бытия в реальном физическом мире, который наряду с проблемами происхождения Вселенной и человека волнует человечество с тех пор, как появился Разум. Этот вопрос неоднократно обсуждался на всех уровнях науки, и ответы на него в соответствии с существующими представлениями были разными. Но и сейчас современная наука не может дать окончательного ответа на вопрос, что такое Жизнь. Варианты ответов безусловно есть, в том числе и приближающиеся, казалось бы, к истине, но это скорее характеристики или отличительные признаки живого, описывающие разные стороны определения.

Понимание сущности жизни, ее возникновения и эволюции определяет все будущее человечества на Земле как вида живого. В настоящее время накоплен огромный фактический материал, есть его осмысление, особенно в области молекулярной биологии и генетики, есть схемы или модели развития, есть даже практическое клонирование человека, но... нет ответа. Ближе всего к разгадке тайны подошла современная биология, и, как заметил Н.В. Тимофеев-Ресовский, *«в настоящее время никакой теоретической биологии, сравнимой с теоретической физикой, нет»* [136].

Биология сообщает множество интересных и важных подробностей о человеке, но упускает что-то принципиальное. Мо-

жет ли физика дать ответ о сущности живой природы? Действительно, вся материя Вселенной (и, следовательно, мы сами) состоит из атомов и молекул, для которых уже получены количественные законы их поведения, в том числе и на квантово-молекулярном уровне. Тем более что физика была и остается важным фактором общего развития человеческой культуры в целом. В этом смысле физика как феномен культуры, а не только как область знания создает наиболее близкое для биологии социокультурное понимание, ощутимое без и до рефлексии знания. Вероятно, именно в физическом познании отражены стили мышления. Логико-методологические аспекты познания и самой науки, как известно, почти целиком основаны на опыте физических наук.

Поэтому задача научного познания живого, может быть, и состоит в возможности применить физические модели и представления к исследованию развития природы и общества на основе физических закономерностей механизма процессов в живом организме. Как говорил еще 25 лет назад М.В. Волькенштейн [45], *«в биологии как науке о живом возможны только два пути: либо признать невозможным объяснение жизни на основе физики и химии, либо такое объяснение возможно и его надо найти, в том числе на основе общих закономерностей, характеризующих строение и природу материи, вещества и поля»*.

По-видимому, все-таки истинное толкование биологических явлений — атомно-молекулярное. Постановка и решение проблемы генетического кода, раскрытие молекулярной природы наследственности и изменчивости в конечном счете сводится к квантово-механической трактовке этих явлений. Можно предположить, что в природе, неживой («косной», по В.И. Вернадскому) и живой, управляют единые законы, но механизм их проявления разный. Это особенно стало ясно после использования синергетических идей в самоорганизации сложных систем. Поэтому физические модели в применении к проблемам живого рассматриваются в этой части учебного пособия.

Современные представления о процессах в живых организмах, специфике установленных законов их развития и возникновения самой жизни даются не только с позиций постнеклассической физики, но и холистического подхода. Для более углубленного и подробного ознакомления с современной биологией необходимо будет

обратиться к соответствующей литературе.

Однако подчеркнем, что проблему живого одной из наук, в том числе и физике, не решить. В настоящее время появились физические принципы, не противоречащие основным открытым законам.

240

(А это, кстати, очень важно для истинности настоящей науки!) Но в целом феномен живого пока ускользает от нашего понимания. Может быть, чтобы понять его, как и общую картину мира, надо отойти от частных наук. Как остроумно заметил Н. В. Тимофеев-Ресовский [136], *«мы все такие материалисты, что нас всех безумно волнует, как возникла жизнь. При этом нас почти не волнует, как возникла материя. Тут все просто. Материя вечна, она всегда была, и не нужно никаких вопросов. Всегда была. А вот жизнь, видите ли, обязательно должна возникнуть. Л может быть, она тоже всегда была. И не надо вопросов, просто всегда была, и все»*.

Н. Бор, автор основополагающего принципа современного естествознания — принципа дополнительности, считал, что биологические объекты настолько сложны, что принципиально невозможно рассмотреть их только с позиций квантовой механики и поэтому жизнь необъяснима с этой точки зрения и она должна рассматриваться как первичный постулат, подобно кванту действия (постоянной Планка) в квантовой механике. Поэтому вторая часть пособия — это приглашение к совместным раздумьям о живом на поле современной науки. Как сказал Омар Хайям,

В этом мире ты мудрым сльвешь.

Ну и что? Всем пример и совет подаешь.

Ну и что? До ста лет ты намерен прожить. Допускаю, Может быть, до двухсот проживешь.

Ну и что?

Глава 11. ОТ ФИЗИКИ СУЩЕСТВУЮЩЕГО К ФИЗИКЕ ВОЗНИКАЮЩЕГО

Жизнь — это искусство делать верные выводы из неверных посылок.

С. Батлер

Наша жизнь есть то, что мы о ней думаем.

Марк Аврелий

В первой части курса мы попытались дать свое объяснение законов природы на основе имеющихся физических представлений, или, следуя терминологии И.Р. Пригожина [20, 21, 110, 111], физики необходимого и существующего. Эта физика, основан-

241

ная главным образом на понятиях классической и квантовой механики, равновесной термодинамики и в какой-то степени космофизики, в определенные моменты развития человеческого разума объясняла отдельные проблемы происхождения и эволюции *Универсума*. Под Универсумом понимается существующий и доступный нашему наблюдению мир, который можно рассматривать как целое. Согласно Н.Н. Моисееву (1917—2000), *«все, что лежит вне Универсума, не существует и относится к вере, т.е. находится вне науки и практического опыта»* [95].

Однако многие системы неживой и особенно живой природы требуют принципиально другого подхода к ним как сложным самоорганизующимся объектам, в которых идут неравновесные нелинейные процессы когерентного характера. Поэтому можно считать, что представления предыдущей классической физики хотя и были правильными, необходимыми, но, тем не менее, имели известные ограничения, задаваемые физическими моделями, и поэтому подчас были недостаточными. Была физика существующего, но она не описывала адекватно физику возникающего, не могла дать правильную оценку развитию будущего. В частности, физике были чужды идеи исторического развития, круговорота веществ в природе, не рассматривались память систем, влияние будущего на настоящее, созидаящая роль хаоса и его взаимоотношения с порядком, разное понимание времени, сущности живого и другие вопросы, которые физика фактически отдала или другим наукам, или теологии. Тем не менее сейчас она должна их перед собой ставить и пытаться решить.

В значительной мере этот переход от физики существующего к физике возникающего в настоящее время осуществляется за счет использования представлений о

самоорганизации. Предпринимаются попытки на базе современных физических моделей объяснить возникновение и развитие различных изменений в сложных объектах косной и живой природы, т.е. привести в описательные науки о природе и живом (географию, геологию и др.) некие физические начала. В этом смысле физику живого можно рассматривать как феномен *постнеклассической физики*.

Как известно, долгое время прерогатива в решении этих вопросов принадлежала биологии, однако с развитием ее теоретической базы и возникновением молекулярной биологии и молекулярной генетики удалось физико-химическими причинами объ-

242

яснить механизмы организации живого, передачи генетического кода и синтеза клеток, белков, аминокислот и других важных для жизни молекулярных соединений. Это привело к пониманию физических причин биологических процессов на основе классических представлений о строении вещества и его взаимодействии через поля и неравновесных нелинейных процессов самоорганизации в сложных физико-химических системах, какими являются живые организмы.

Такой подход не означает механистическое приложение и использование количественных законов физики в этих описательных компонентах нашего знания о живой природе, а является шагом вперед в понимании эволюции мира и зарождения жизни с позиции физики. Поэтому в физике живого мы можем использовать весь аппарат естественно-научных методов познания и холистического подхода современного естествознания к описанию всего сущего, исключая возможность применить псевдофилософские и теологические построения.

На самом деле осмысление того, что происходит во Вселенной, в самом человеке, осознание своей причастности к Универсуму и своего положения в нем в значительной мере определяются пониманием самой сущности жизни, и физика уже не может игнорировать эти вопросы.

11.1. Термодинамические особенности развития живых систем

Жизнь больше не выглядит как островок сопротивления второму началу термодинамики или как деятельность каких-то демонов Максвелла.

Она возникает теперь как следствие общих законов физики.

И. Пригожин

К знанию ведут три пути:

Первый - размышление - самый благородный,

Второй. - подражание - самый лёгкий,

Третий - опыт -- самый горький.

Конфуций

Еще в 1945 г. один из основателей квантовой физики Э. Шрёдингер в своей знаменитой книге «Что такое жизнь с точки зрения физики» [25] попытался дать общие соображения о термодинамике жизненных процессов.

Заметим, что именно эта работа подтолкнула многих физиков заниматься молекулярной биологией, а некоторых привела и к Нобелевской премии.

243

Основная идея Шрёдингера заключалась в том, что *«живая материя уклоняется от деградации к равновесию»*. Но равновесие в изолированной, замкнутой системе характеризуется согласно классической термодинамике максимумом энтропии. Значит, если система «уклоняется» от равновесия, то она должна постоянно компенсировать рост энтропии какой-то энергией, с точки зрения физики — свободной энергией. Из термодинамических законов следует, что свободная энергия определяется как

$$F = U - ST,$$

где S — энтропия, U — внутренняя энергия системы, ST — связанная энергия. В целом энергия системы состоит из свободной и связанной энергий.

Свободная энергия — та часть внутренней энергии, за счет которой может совершаться работа, а связанная энергия согласно первому началу термодинамики $\delta Q = dU + \delta A$ определяется теплотой $\delta Q = SdT$ и не может быть превращена в полезную работу δA . Связанная энергия, которая рассеивается в окружающее пространство, как раз и характеризуется энтропией S .

Из сказанного следует, что Э. Шрёдингер уже предполагал, хотя и неявно, что живой организм — это открытая система, обменивающаяся с окружающей средой энергией и

материей¹.

11.1.1. Роль энтропии для живых организмов

Из физики существующего (первая часть курса) нам известно, что все превращения энергии описываются термодинамическими законами, которые при правильно сформулированных физических ограничениях и адекватных физических моделях применимы и для жизненных процессов. Как следует из приведенного определения свободной энергии, уменьшение энтропии (возникновение отрицательной энтропии, негэнтропии, по Шрёдингеру) в живом организме при взаимодействии его с окружающей средой приводит к росту свободной энергии. А из термодинамики известно («властная тетка!» из гл. 7), что увеличение свободной энергии происходит с упорядочением системы, ее усложнением и отклонением от равновесия.

Э. Шрёдингер считал, что живые организмы *«извлекают упорядоченность из окружающей среды»*, питаются структурирован-

¹ См. также: Горбачев В.В. Термодинамические особенности живых систем // Физика и механика на пороге XXI века. № 2. — М.: МГУП, 1999.

ной, упорядоченной пищей, а отдают природе менее структурированные «отходы» «производства» своей жизнедеятельности. Это общее положение биологи развивают как возникновение специфической упорядоченности для разных видов животных («волчья» и «заячья» упорядоченности, по Медникову [14]). Поступающая пища сначала расщепляется до низкомолекулярных веществ, аминокислот, углеводов, Сахаров и т.д., общих для всей живой природы, а затем за счет поглощения энергии извне из «элементарных кирпичиков» жизни организмы строят присущие лишь им белки. Поэтому каждый организм характерен неповторимой, именно ему присущей комбинацией белковых молекул, своей специфичной упорядоченностью.

Таким образом, живая природа избегает возрастания энтропии и повышает ее в окружающей среде при общении живого организма с ней. Энтропия — «омертвленная» энергия, которую нельзя превратить в работу. Вспомним еще раз, что по законам классической термодинамики в изолированных системах теплота полностью не переходит в работу, она рассеивается, т.е. процесс идет от порядка к хаосу. Для живых организмов как открытых систем с физической точки зрения акт творения живого будет состоять в спонтанной трансформации тепловой энергии необратимых флуктуаций в целенаправленную механическую работу создания высокоорганизованной системы именно за счет свободной энергии. Следовательно, динамическая неравновесность живых систем свидетельствует об их неперменной упорядоченности, так как равновесие соответствует беспорядку, хаосу и это равновесие приводит к смерти живого организма, когда его энтропия максимальна.

Энтропия выступает как мера хаоса, неопределенности, усреднения поведения объектов, установления стабильного состояния и даже определенного единообразия. Жизнедеятельность биологических объектов показывает, что они не хотят подчиняться термодинамическому закону для изолированных систем. Одним из биологических законов развития является как раз разнообразие видов биологических организмов, что обязательно должно приводить к уменьшению энтропии в живых системах. Так, например, гипотетическое появление белой вороны в стае черных означает уменьшение энтропии стаи, а увеличение неопределенности в статистических хаотических состояниях с максимальной энтропией вызывает у человека психическую напряженность, дискомфорт, неудовлетворенные потребности, от-

рицательные эмоции. Поэтому наш организм и стремится минимизировать именно энтропию.

Для материальных объектов неживой природы при небольших отклонениях от равновесия даже для нестационарных процессов в рамках классической термодинамики между потоками вещества и силами, вызывающими движение этих потоков, существуют линейные соотношения Онзагера

$$J_i = \sum L_{ij} X_j,$$

где J_i — поток, X_j — термодинамическая сила, L_{ij} — линейный коэффициент.

Оказалось, что для сложных самоорганизующихся объектов живой природы процессы обмена веществом и энергией с окружающей средой неравновесны макроскопически, идут при наличии условий применения химических веществ, температуры, электрических

потенциалов, давления, а не подчиняются соотношениям Онзагера. Коэффициенты L_{ij} становятся *нелинейными*. Поэтому и самоорганизация живых организмов является *нелинейным процессом*.

Как мы обсуждали в гл. 7, уравнения, описывающие такую систему, являются нелинейными и множеству решений нелинейного уравнения соответствует множество путей эволюции живой системы, которые и описываются этими нелинейными уравнениями. Возникновение нелинейности обусловлено усилением флуктуаций процессов, изменением пороговой чувствительности к управляющим параметрам, появлением бифуркаций и непредсказуемостью изменений направлений процессов при дискретности возможных путей эволюций. Представления синергетики полностью вписываются в самоорганизацию сложных систем как неживой, так и живой природы. Заметим, что так же, как и ранее, под самоорганизацией мы понимаем установление в неравновесной диссипативной среде пространственных структур, которые могут развиваться и во времени. Их параметры определяются уже свойствами самой среды и мало зависят от источника неравновесности в виде потоков энергии и вещества, начального состояния среды и условий на границах среды. Согласно К. Денбигу энтропию нельзя однозначно связать только с беспорядком. Так, при спонтанной кристаллизации переохлажденной жидкости в адиабатических условиях энтропия возрастет, но при этом возрастет и порядок. В то же время порядок и организация не являются одним и тем же: обоим с геометриче-

ским узором более упорядочены, чем картины Сезанна, но последние гораздо более организованны. Аналогично живая клетка значительно более организована, чем кристалл, хотя кристалл и более упорядочен. Примерами организованности в пространстве являются картины художников, во времени — ноты и знаки в музыкальном воспроизведении; научные теории и математические формулы организованы в логическом пространстве и т.д.

11.1.2. Неустойчивость как фактор развития живого

Неустойчивость состояний самоорганизующихся, в том числе и биологических, систем становится одним из главных факторов их развития. Она началась из хаотического состояния, но законы неравновесной термодинамики привели ее к направленному ходу развития. Становление новых форм происходит тогда, когда система в ходе своих внутренних перестроек и усложнений приобретает признаки неустойчивости. Это приводит к качественным изменениям через точки бифуркации, и характер этого механизма именно нелинейный. При этом под неустойчивостью можно понимать и возникновение режимов сверхбыстрого нарастания развития («режимы с обострением»), процессов с нелинейной положительной связью, а не просто попадание системы в точки бифуркации. Заметим, что понятие бифуркаций (для гуманитариев, по Тютчеву, «минут роковых») вводит в физико-химическую основу биологических явлений представления об истории и памяти, элементы которых прежде относились к социальным и другим гуманитарным наукам.

Понятие биологической изменчивости и приспособляемости живых организмов в рамках теории самоорганизации означает, что те живые системы, которые не смогли охватить диапазон жизненно важных воздействий внешней среды на них, попросту вымерли, не выдержав борьбы за существование. В качестве эпифафии для них можно было бы применить образное выражение А.И. Молчанова: *«Они были слишком линейны для этого мира»* [22].

С точки зрения энергетических представлений в объяснении феномена живого для устойчивого состояния характерно минимальное производство энтропии, а для неустойчивого стационарного состояния — максимальное ее производство. Как это связать с рассмотренным принципом производства минимума энтропии Гленсдорфа — Пригожина? (см. § 7.16). По-видимому, развитие организма идет через неустойчивости, но в целом он

стремится сохранить свою стабильность, упорядоченность на макроскопическом уровне запасенной свободной энергии, «выкинув» ненужный ему избыток энтропии в окружающую среду.

Живой организм — это открытая система, но если ее рассматривать вместе с внешней средой, то они образуют общую закрытую систему, в которой в целом согласно

классической термодинамике энтропия возрастает при усложнении живого. Физический закон сохранения энергии работает и здесь. В живом организме уменьшается энтропия при росте свободной энергии, которая нужна для энергетических процессов в нем, а в окружающей среде энтропия растет. Закон сохранения энергии и закон сохранения вещества определяют также постоянный круговорот веществ и обмен энергией между неорганической (косной) и органической (живой) материей на Земле.

Живое вещество после прекращения своей деятельности отдает неживому все, что оно у него взяло, и общая масса и энергия не изменяются. Всякий раз, когда энергия переходит из одной формы в другую, утрачивается возможность частично производить полезную работу, подобно тому как при сгорании горючей смеси в двигателе автомобиля часть освобождающейся энергии приводит автомобиль в движение, а часть теряется бесполезно для движения — «рассеивается» через радиатор и выхлопную трубу в соответствии со вторым началом термодинамики.

Следовательно, при всяком превращении энергии энтропия возрастает. Отсюда можно сделать два вывода:

- *Энтропия для живого организма не нужна, для выполнения его целевых функций нужна свободная энергия и он за нее «борется», а ненужную, бесполезную для него энтропию «сбрасывает» в окружающую среду.*
- *Для выполнения любой работы необходим избыток энергии.*

Взаимоотношение между свободной и связанной энергиями наглядно выразил И. Пригожин [21]: *«оно отражает конкуренцию термодинамического соотношения для свободной энергии между ней и энтропией».*

Таким образом, все спонтанные процессы природы, в том числе и ее самоорганизация, осуществляются посредством энергетических механизмов, которые подчиняются физическим законам. *«Биоэнергетика — основное свойство всего живого»*, — подчеркивал В.И. Вернадский. Возникает вопрос: откуда берется энергия в природе? Первичным началом является лучистая

248

энергия Солнца, а источником энергии для всех видов активности живых организмов служат питательные вещества — органические молекулы. Они содержат энергию, запасенную в химических связях между атомами и при разрыве этих связей освобождаемую для необходимой работы организма, т.е. при участии электронов, а они, как известно, одинаковы и для живой, и для неживой природы.

11.2. Энергетический подход к описанию живого

Энергия, которой обладает Разум, неисчерпаема.

В.И. Вернадский

Энергия есть главная движущая сила эволюции.

Р. Фокс

На основе энергетических представлений сейчас развивается так называемый энергетический подход к объяснению явлений жизни, предложенный в работах К. А. Тимирязева (1843—1920), В. И. Вернадского, Э. Бауэра (1893—1937), Э. Шрёдингера и других ученых [4, 5, 11, 42, 43]. В энергетическом цикле жизни происходят сложные, в том числе окислительно—восстановительные, химические реакции, в основе которых лежат кинетические процессы движения электронов. Живые организмы представляют собой системы с малой структурной энтропией, причем они находятся в неравновесных условиях взаимодействия с окружающей внешней средой. В изолированных объектах неживой природы устойчиво их равновесное состояние с минимумом свободной энергии и максимумом энтропии.

Объекты живой природы являются открытыми системами, в них могут возникать устойчивые неравновесные состояния, за счет перестройки которых энергия структуры живой материи производит работу внутри системы и вне ее. Обмен живых организмов веществом и энергией с окружающей средой способствует росту свободной энергии и отрицательной энтропии в них, т.е. оттоку энтропии из организма, и тем самым поддерживается их неравновесное состояние. Таким образом, целевое назначение взаимодействия со средой состоит в освобождении организма от положительной энтропии (а она, как мы уже понимаем, неизбежно образуется при превращениях энергии в живых организмах) и, в качестве компенсации, извлечении из окружающей среды отрицательной энтропии.

249

Происходит, по выражению М. В. Волькенштейна, «экспорт энтропии» из живых организмов, или, если исходить из всеобщего закона сохранения энергии, увеличение свободной энергии живого организма. Поэтому из энергетических представлений ясно, что живой организм должен быть структурно упорядочен, но характер процессов в нем должен быть неравновесен, не стационарен на микроуровне (заметим, что на макроуровне условием сохранения жизни в целом должна быть стабильность, стационарность). Для сохранения же стационарного неустойчивого состояния живой организм непрерывно потребляет энергию извне.

Такая ситуация полностью аналогична поведению диссипативной структуры. Согласно Пригожину диссипативные структуры — это новые стационарные состояния, стабилизирующиеся в результате обмена веществом и энергией открытых систем с окружающей средой при необратимых процессах вдали от равновесия в нелинейной области, когда параметры системы превышают критические значения. Как остроумно заметил Г.Н. Алексеев [2], на гигантской «фабрике» природных, производственных и других реальных процессов закон изменения энтропии (второе начало термодинамики) играет роль директора, а закон сохранения энергии (первое начало термодинамики) — роль бухгалтера.

Мы уже неоднократно подчеркивали, что энтропия, связанная с равномерным распределением вероятности состояний, максимальна в хаосе, и, следовательно, нет развития системы, т.е. ее эволюции (не забываем, правда, из синергетики следует, что в диссипативных системах из хаоса может возникнуть порядок). Как отмечал Ф. Ауэрбах, принцип изменения — это принцип поведения энтропии: *«Принцип сохранения энергии имеет то единственное значение, что ничто не может совершаться вопреки его требованиям, но это не значит, что что-нибудь действительно истекает из него, по его инициативе. Он является надсмотрщиком, но не предпринимателем. Он имеет распределительный, но не производственный характер»*. Энтропия, по Ауэрбаху (сейчас мы говорим — свободная энергия), приводит к возникновению жизни. Эти процессы существуют, потому что существует жизнь и ее развитие. Из первого закона термодинамики следует, что развитие, эволюция, подчиняется закону сохранения и превращения энергии в том смысле, что энергия переходит в процессах жизнедеятельности из одной формы в другую.

И жизнь с точки зрения физики — это есть «борьба» живого с энтропией. Конечно, надо осторожно относиться к прямому

250

применению понятий термодинамики к развитию живой природы. Тем не менее это разумный и следующий шаг по отношению к описательному биологическому пониманию эволюции. С точки зрения целостного восприятия мира и его объяснения в современном естествознании незнание второго начала термодинамики, по меткому выражению **Ч. Сноу (1905—1980)** — физика и писателя, равносильно незнанию произведений **В. Шекспира** [129].

Такие идеи высказываются не только физиками, но и биологами. Так, еще в 1935 г. Э. Бауэр [1, 158] предложил механизм биологической эволюции, основанный на представлении, что живые системы никогда не бывают в равновесии и выполняют за счет свободной энергии постоянную работу против равновесия, т.е. по существу до появления синергетики он рассматривал живой организм как открытую неравновесную систему. Неравновесное состояние живой материи и ее сохраняющаяся работоспособность обеспечиваются ее молекулярной структурой, причем эта работоспособность обусловлена свободной энергией, присущей данной молекулярной структуре. По мнению отечественного биохимика **В. А. Энгельгардта (1891—1984)**, образование сложных биологических структур происходит с уменьшением энтропии и увеличением свободной энергии [157]. Это физическое требование выступает как ведущий фактор структуризации живых систем на молекулярном уровне.

11.2.1. Устойчивое неравновесие

Э. Бауэр ввел для живого организма также понятие устойчивого термодинамического неравновесия, которое проявляется при наличии трех условий:

- *само наличие свободной энергии, проявляющееся («разряжающееся», по Бауэру) безо всякого внешнего воздействия, т.е. свойства спонтанной деятельности организма;*
- *реакция на внешние воздействия, выравнивающая градиент энергии и восстанавливающая его первоначальное значение (в биологическом понимании — это*

свойства раздражимости и возбудимости);

- *накопление свободной энергии путем работы против факторов, ведущих к равновесию, что в биологии означает свойства целесообразного поведения и приспособительной деятельности.*

251

Что с точки зрения физики означает целесообразное поведение (на языке философии — целевая функция) системы? Ответ на этот вопрос пока не является однозначным. С одной стороны, это выполнение системой основных физических законов, и прежде всего законов сохранения, условий состояния устойчивости и стабильности системы. С другой стороны, сущность целеполагания должна включать в себя формирование механизмов самосохранения (адаптации) путем реализации положительных и отрицательных обратных связей между системой и окружающей средой. Содержанием целеполагания являются информационные процессы. С общеприродной точки зрения для человека — это устойчивое стабильное состояние, существование его как вида, т.е. сохранение человеческой жизни на Земле.

Такие представления «вписывались» в физический менталитет классической физики — постоянство физических сущностей. Здоровый консерватизм физики не давал физикам воспринимать саму идею развития. С другой стороны, без развития система перестает существовать. Налицо философский постулат единства и борьбы противоположностей.

Как мы уже видели, синергетический подход позволяет снять этот парадокс через развитие сложных систем, через неустойчивости, которые могут быть и стационарными, устойчивыми («устойчивое неравновесие», по Бауэру). В этом смысле устойчивость живой системы и состоит в ее развитии, но это развитие определяется возникающими неустойчивостями. Заметим, что вдали от равновесия вещество становится более активным. По образному выражению И. Р. Пригожина [23], оно обретает новые свойства: в равновесии оно «слепо», в сильно неравновесных процессах — «прозревает».

Биологические законы эволюции Ч. Дарвина (изменчивость, наследственность, естественный отбор) и даже более общие принципы развития Универсума по этой триаде также могут быть наполнены физическим смыслом. Изменчивость (в физике — стохастичность) создает поле возможностей, путей развития той или иной системы, наследственность ограничивает это поле, а отбор реализующейся формы развития определяется некоторыми правилами или принципами. Принципы отбора — это те законы (физики, биологии, общественного развития), которые из допустимых движений развития с некоторой вероятностью отбирают при самоорганизации системы те, которые мы наблюдаем в реальности.

В классической динамике реальные движения отбираются из множества виртуальных с помощью известных законов Ньютона,

252

которые и являются простейшими принципами отбора для механики Ньютона — Галилея. К этим же правилам отбора относятся и те следствия человеческого опыта и поведения, на которые человек неосознанно опирается в своей практической деятельности, принимая то или иное решение. Тогда в целом для Универсума как самоорганизующейся системы стимулы и границы определяются понятиями, доступными для научного изучения. А физические законы сохранения — это законы сохранения количества движения, энергии и момента количества движения.

Поэтому синергетика обогащает и физику возникающего, и биологию своими представлениями. Например, наследственность можно представить как память системы. Нелинейное развитие случайных процессов через бифуркации приводит к одномоментной потере устойчивости, созданию принципиальной неопределенности, неустойчивости, когда пути эволюции в точках бифуркации становятся непредсказуемыми, и поскольку на систему действуют случайные факторы, память системы теряется. Механизмы же развития системы между бифуркациями могут быть определены, и в этом смысле теория самоорганизации выступает как универсальный эволюционизм. В целом же эволюцию обеспечивают нелинейные процессы.

11.3. Уровни организации живых систем и системный подход к эволюции живого

Недостаточное знание — опасная вещь. Пей вволю из его источника или вовсе к нему не подходи. Выпьешь мало — опьянеешь. Выпьешь много — отрезвешь.

А. Поуп

Мы находимся в положении, несколько аналогичном положению человека, держащего связку ключей и пытающегося открыть одну за другой несколько дверей. Рано или поздно ему удастся подобрать ключ к очередной двери, но сомнения относительно взаимно однозначного соответствия между ключами и дверями у него остаются.

Ю. Вигнер

11.3.1. Иерархия уровней организации живого

Представления о неравновесности живого организма развил биолог фон Берталанфи, введя термин «открытые системы», ныне широко используемый в синергетике. Он рассматривал ста-

253
ционарные состояния в неравновесной живой системе, которые, определил как «текущее равновесие». На основе обобщения физических, в частности термодинамических, представлений он разработал свою теорию биологических организмов, рассматривая организм как целостную сложную иерархическую систему.

По существу в применении к биологии он предложил и использовал метод системного анализа, активно применяемый сейчас в науке и технике. В частности, им высказана идея, что системная организация — основа точной биологии. А как метко сказал Н. В. Тимофеев-Ресовский, системный анализ — *«это когда сначала думают, а потом делают»*. Организм — пространственное целое, проявляющееся во взаимодействии частей и частных процессов. Процессы в живом организме обуславливаются целостной пространственной системой, подчиненной жесткой иерархии.

Концепция структурных уровней позволяет не только описать живые организмы по уровням их сложности и закономерностям функционирования, но и расположить в иерархическом порядке, при котором каждый предыдущий уровень входит в последующий, образуя единое целое живой системы. Тем самым представление уровней организации хорошо сочетается с целостностью организма. Критерием выделения основных уровней выступают специфичные дискретные структуры и фундаментальные биологические взаимодействия.

Различают следующие *уровни организации биологических структур: самоорганизующиеся комплексы, биомакромолекулы, клетки, многоклеточные организмы*. Н. В. Тимофеев-Ресовский приводит другую классификацию уровней: клеточный, молекулярно-генетический, организменный, популяционно-видовой и биогеоценозный [136]. Существует и такая градация: молекулярный, клеточный, тканевой, органный, онтогенетический, популяционный, видовой, биогеоценозный и биосферный. На каждом уровне выделяют *элементарную единицу* и *элементарные явления*.

Элементарная единица — это структура, закономерное изменение которой приводит к элементарному явлению. Элементарной единицей на молекулярно-генетическом уровне является *ген*, на клеточном — *клетка*, на организменном — *особь*, на популяционном — совокупность особей одного вида — *популяция*. Совокупность элементарных единиц и явлений на соответствующем уровне отражает содержание эволюционного процесса.

254
Эти уровни организации будут подробно рассмотрены в соответствующих разделах, а здесь отметим их аналогию с физической шкалой размеров и масс (см. рис. 6.8 и 6.9), дискретностью энергетических уровней в квантовой механике.

Переход от одного уровня к другому происходит скачкообразно, дискретно, в соответствии с основными принципами квантовой механики, и такие переходы в физике представляют собой неравновесные фазовые переходы, которым в синергетике соответствуют бифуркации. Механизм перехода в понятиях синергетики реализуется через хаотические состояния, и через него реализуется связь разных уровней организации. В точках бифуркации малое случайное изменение может привести к сильному возмущению системы, и возникает фазовый переход. В таком представлении гибель живого организма можно рассматривать как фазовый переход «жизнь — не жизнь».

Понятия о целом и части, используемые не только в системном анализе, но и в философии, можно применять к физике живого, поскольку живым организмам присущи гармоническая иерархичность и целевая функция¹. Действительно, рассматривая любые явления и свойства живой и неживой природы, мы обязательно касаемся проблемы

целого и части — все наблюдаемые объекты являются частями более общего понятия целого и, в свою очередь, состоят из каких-то частей. Эти представления применимы к эволюции любой сложной неравновесной системы с нелинейной динамикой ее развития в процессах самоорганизации. Гармонизация этих процессов в живых организмах и шире — во всей природе находит свое отражение в понятиях «ян» и «инь» восточной философии и в идее «золотого сечения».

11.3.2. Метод Фибоначчи как фактор гармонической самоорганизации

Математическим обоснованием гармонического соотношения частей организма, его соразмерности, порядку и необходимому организму хаосу, обусловленности пространственно-временного и функционального взаимодействия органов (например, человека и процессов в его организме) является метод Фибоначчи (см. § 7.14.) На основе большого количества эмпирических обобщений было установлено, что числа ряда Фибоначчи нужно сопоставить с параметрами жизненных процессов. Оказалось,

¹ См. сноску на с. 207.

255

что они отражают не только изменение и устойчивость живого организма, но и энергетический баланс, определяющий его развитие.

Различие в процессах самоорганизации в неживых и живых системах, как отмечали И. Пригожин и И. Стенгерс [111], заключается в том, что молекулы неорганического мира, участвующие в сложных химических реакциях, просты, а в биологической самоорганизации, наоборот, реакции просты, а молекулы укрупняются, усложняются и становятся макромолекулами. Это обусловлено тем, что структура реакций переходит в структуру элементов — молекул, т.е. процесс закрепляется в структуре. Взаимоотношение между структурой и процессами отражает известный закон единства и борьбы противоположностей, закон единства сохранения и изменения сущности, который составляет суть развития самоорганизующихся систем. И здесь третий член золотой пропорции Фибоначчи снимает противоречие между сохранением (устойчивостью) и изменением через развитие, которое включает и то и другое — состояние и процесс. Многие физиологические процессы в организме человека, гармонизируются по «золотому сечению» (методу Фибоначчи). Так, биолог В. Д. Цветков из Пущинского биологического центра установил, что оптимизация артериального давления и ритмов сердечно—сосудистой системы происходит по соотношению, «золотого сечения».

Ряд Фибоначчи становится системообразующим фактором гармонической самоорганизации живого организма. В этом смысле эволюция — не просто адаптация организма к внешним условиям, а его стремление к гармонии, соразмерности развития всего организма как целого и функционирования его внутренних органов как частей. Структурно-функциональная организация человеческого тела и его организма в процессе эволюции отражает эту гармонию по методу Фибоначчи и в опыте человечества. Рекурсивный¹ характер этого гармоничного ряда в применении к живым организмам позволяет учитывать память о предыдущих поколениях.

С гармонией развития организма, как целого, так и его частей, хорошо согласуется универсальный для всего современного естествознания принцип дополнительности Бора. Применительно к рассматриваемой проблеме он отвергает возможность

¹ Рекурсивный, т.е. возвратный: каждое последующее число ряда Фибоначчи является суммой двух предыдущих.

256

понимать жизнь и ее эволюцию путем вычленения и исследования отдельных частей организма: определяя более точно одну сторону живого объекта, мы теряем определенность в понимании другой.

Согласно этому же принципу, можно высказать и парадоксальную мысль: познание жизни и сама жизнь несовместимы! Например, при хромосомном анализе определения дозы радиации, полученной человеком давно (так называемой реконструированной дозы), лазерный луч убивает усики хромосом, тем самым убивает саму хромосому. Относительно живого организма как целостной системы В.А. Энгельгардт [157] выделял три признака, характеризующих взаимоотношения между целым и частями:

- возникновение в системе взаимодействующих связей между целым и частями;
- утрата некоторых свойств частей при вхождении их в состав целого;
- появление у возникающего целого новых свойств, определяемых свойствами

основных частей и возникновением новых связей между частями.

11.3.3. Физический и биологический методы изучения природы живого

Природу живого изучают многие науки, в том числе биология и физика (на «стыке» этих наук и возникла биофизика). Именно при исследовании живых систем или при использовании живых объектов и систем в экспериментах выяснились многие закономерности, которые стали достоянием и предметом изучения точных наук. Так, работы итальянского физика **Гальвани (1737—1798)** по исследованию свойств мышцы послужили основанием более детального изучения электричества, и его именем был назван ряд явлений. Английский химик **Д. Пристли (1733—1804)** из экспериментов на живых организмах расширил сведения об открытом им кислороде. Французский химик **А. Лавуазье (1743—1794)** исследовал процессы дыхания и горения, внося тем самым вклад и в химию, и в биологию. Один из основных законов природы — первое начало термодинамики — был сформулирован немецким врачом **Ю. Майером (1814—1878)**. Врач-офтальмолог **Г. Гельмгольц (1821—1894)** много сделал для развития физической оптики. Известно достаточно много примеров того, что можно развивать смежную науку, будучи специалистом в другой области.

257

Так, Коперник, Лавуазье, Ферма и итальянец **А. Авогадро (1776—1856)** были юристами, англичанин **Д. Джоуль (1818—**

1889) по основной для жизни профессии был пивоваром, а француз **А. Ампер (1775—1836)** и Фарадей не получили систематического образования, т.е. по современным понятиям были дилетантами. Природа сама по себе не знает деления на физические и биологические науки, она ведь целостна, едина, а это разделение делает изучающий ее человек. Тем не менее именно физика вносит в биологию приемы мышления, анализа и обобщения, свойственные представителям точных наук. Доказательством этого, по мнению В.А. Энгельгардта, является тот факт, что среди большинства ученых, получивших Нобелевские премии за исследования в области биологии и медицины, нет или почти нет собственно биологов, а есть физики, химики, кристаллографы и представители других точных наук. Это несомненно показывает, насколько сейчас биология действительно является областью науки, разрабатываемой специалистами именно точных дисциплин.

Различие логических подходов в физике и биологии затрудняет взаимодействие между этими науками и создание достаточно обоснованной физической теории биологических явлений. Для биологии очевиден вопрос «для чего?», т. е. формулировки рассматриваемых закономерностей носят финалистический характер. Физика спрашивает «почему?», «вследствие чего?», т.е. формулирует физические законы как казуальные. Понятно, что истинный научный смысл представляет именно последний подход. Физика и естествознание в целом казуальны — наука ищет причины (causa) явлений.

Однако эти разные методологические подходы могут быть объединены, поскольку в действительности нет принципиального противоречия между финализмом и казуальностью, и, следовательно, такое различие в подходах в биологии и физике является чисто внешним, а не глубинным. Любая физическая закономерность может быть выражена, как мы уже указывали, через принцип оптимальности, или вариационный принцип. Сама идея вариационного принципа, как известно, состоит в отыскании экстремума или оптимума, т.е. носит четко выраженный финалистический характер (принципы П. Мопертью в механике, Ферма — в оптике, **Ле Шателье (1850—1936)** — в термодинамике и в целом в современном естествознании, правило **Э. Ленца (1804—1865)** — в электротехнике и ряд других).

258

Поэтому физические законы и обобщения на их основе в естествознании можно формулировать как казуально, так и финалистически. Вариационный финализм сводится к казуальности. Отметим здесь еще раз глубокую роль в познании природы оптимальных принципов, которую хорошо понимали жившие до нас естествоиспытатели. *«Кто хочет познать наибольшие тайны природы, пусть рассматривает и наблюдает минимумы и максимумы противоречий и противоположностей»*, — говорил Дж. Бруно. Немецкий философ Гегель (1770—1831) отмечал, что *«именно в этих крайностях вещи умопостигаемы и объединяются в понятия»*.

Остановимся еще на одном различии биологического и физического методов познания

природы. Биология как наука о строении и функциях живых организмов устанавливает общие и частные закономерности, присущие живой природе во всех ее проявлениях и особенностях. Несмотря на сохранившийся до появления молекулярной биологии и генетики описательный характер изучения живого, биология в целом с материалистических, естественно-научных позиций объясняет эволюцию мира живой природы и место в ней человека. В то же время классической физике была чужда идея эволюции. Она действительно пыталась согласно своим представлениям ответить на вопросы, «почему» и «как» устроен реальный физический мир, но не могла объяснить, почему именно так, а не иначе. Это идет от классической ньютоновской посылки: *«...причину же этих свойств силы тяжести я до сих пор не мог вывести из явлений, гипотез же я не измышляю ... Довольно того, что тяготение на самом деле существует и действует согласно изложенным нами законом и вполне достаточно для объяснения всех небесных тел и моря»*. Хотя количественные законы движения, изменения положений реальных объектов в определенных условиях классическая механика прекрасно описывает. Но сейчас мы понимаем, что этого мало, и привлекаем в постнеклассической физике уже рассмотренный антропный принцип (АП).

11.3.4. Антропный принцип в физике живого

Антропный принцип, по мнению многих космологов, является единственной систематической попыткой научно объяснить кажущуюся таинственной структуру физического мира. Этот принцип вводит в физику некие новые ощущения, не свойственные ей как классической науке, например, роль человека как

259

наблюдателя, соучастника эксперимента становится неустранимой, становится уже фундаментальным представлением.

Более того, этот принцип затрагивает понятие целеполагания, целевую функцию процесса эволюции. В телеологическом смысле из АП вытекает, что «подгонка» фундаментальных физических констант, благоприятная для нашего человеческого возникновения и существования, обусловлена тем, что именно человек выступает целью происходящих в природе эволюционных процессов. Такая интерпретация АП в эволюции живого хорошо воспринимается в биологии, поскольку в ней идея развития — главная, она распространяется на основные законы живой природы. И эти биологические закономерности возникают вместе со становлением самой жизни.

В то же время классическая физика, начиная с Ньютона, не ставила перед собой проблемы объяснения действующих во Вселенной физических законов. Наоборот фундаментальный принцип любого физического исследования — объективная воспроизводимость эксперимента — основан, по существу, на неизменности физических законов: в различные моменты времени законы природы действуют одинаково. Получается, как отмечает В.С. Степин [23], что во времени нет выделенных точек, в которых бы менялся характер изучаемых физикой законов. Хотя даже простая логика подсказывает, что может быть как раз несоответствие существующих законов, применяемых к объяснению неизвестных, непознанных физикой явлений, и свидетельствует, что в этом изменяющемся мире должны изменяться и законы физики.

На самом деле мы в этом неоднократно убеждались: в квантовом мире и Космосе требуются свои представления о движении — свои «механики». Но в целом здесь очередной парадокс между биологическими и физическими подходами к изучению единой природы и необходимость правильного истолкования АП. Мы же не можем применить к настоящей науке богословский аргумент Божьего замысла. Как и со «стрелой времени», этот парадокс в настоящее время преодолевается путем использования синергетического понимания эволюции неравновесных самоорганизующихся открытых систем, формирования, по И. Р. Пригожину, физики возникающего. Понимание физики возникающего на основе современных представлений теории самоорганизации и может стать физикой живого.

260

Сейчас можно считать общепринятым положение, что живые организмы являются открытыми неравновесными системами, и, естественно, поэтому хочется применить к ним те же физические законы, которые используются для объяснения физико-химических процессов в объектах неживой природы и даже управления ими. В этом направлении на базе синергетики были получены некоторые конкретные результаты, однако построить окончательную физическую модель живого не удалось, хотя такое желание, конечно,

есть. Синергетический подход пока очень хорошо вписывается в холистическое восприятие и объяснение мира и позволяет в какой-то мере с общих позиций описывать и живую, и неживую природу и говорить об их единстве. Антропный принцип может быть использован как универсальный инструмент в исследовании сложных систем любой природы. Он оказывается принципом существования сложного в нашем мире: чтобы на макроуровне было возможно образование сложных систем, элементарные процессы на микроуровне должны проходить очень избирательно, т.е. в соответствии с «подгонкой» фундаментальных констант (см. гл. 6) по антропному принципу, в том числе и констант — параметров, определяющих жизнедеятельность организма.

Пределы изменения этих параметров очень узки (вспомним, например, диапазон температур, давлений и других условий, в которых может существовать человек): достаточно небольшого изменения, их и жизнь становится невозможной.

Используя принцип дополнительности Бора, можно считать, что нельзя судить о содержании общих биологических закономерностей, оставаясь только в рамках чисто биологических воззрений, тем более что биология сообщает множество интересных и важных подробностей о человеке, упуская, тем не менее, нечто принципиальное. Нужно, по Бору, дополнение в лице физики! Бор считал, что познание живого организма в виде атомно-молекулярной системы принципиально дополнительно к изучению этого организма как целостной системы и ни один результат биологического исследования не может быть однозначно трактован, если не использовать представления физики и химии. Именно в этом смысле следует понимать, что лишь одними законами биологии или физики невозможно объяснить феномен живого.

261

11.3.5. Физическая эволюция Л. Больцмана и биологическая эволюция Ч. Дарвина

Мы уже обсуждали ранее, что имелось противоречие между моделью эволюции Больцмана для неупорядоченных, но стремящихся к равновесию изолированных систем неживой природы и эволюцией Дарвина для высокоупорядоченных структур живого организма. В общем смысле под эволюцией понимается процесс длительных, постепенных, в основном медленных изменений, но которые в конце концов создают качественно новые изменения, приводящие к образованию уже других структур, форм, организмов и их видов.

В 1859 г. английский естествоиспытатель **Ч. Дарвин (1809—1882)** и английский натуралист **А. Уоллес (1823—1913)** представили в лондонское Линнеевское общество совместный доклад о механизме, обеспечивающем направленность эволюции. В докладе была высказана главная идея этого механизма — естественный отбор, согласно которому живые организмы могут самосовершенствоваться, эволюционировать в сторону все большей приспособленности к среде обитания и таким образом виды живых организмов могут изменяться. На большом фактическом материале ими было показано, что в целом развитие организмов в историческом плане идет от простых одноклеточных до многоклеточных млекопитающих, т.е. по восходящей линии — от простого к сложному, упорядоченному.

Более того, Ч. Дарвина и А. Уоллеса можно считать в известном смысле предтечами биологической синергетики, поскольку из этих идей вытекало, что порядок и целесообразность могут спонтанно возникать из беспорядка. Механизмом такой эволюции является естественный отбор, а материалом для отбора — наследственная изменчивость. Отметим, что заслугой Дарвина является не сама идея эволюции, этим вопросом занимались и Аристотель, шведский натуралист **К. Линней (1707—1778)**, французский биолог **Ж. Ламарк (1774—1829)**, и другие ученые, а то, что он первым увидел в природе принцип естественного отбора.

Заметим, однако, что к идее естественного отбора практически одновременно с Ч. Дарвином пришел и малоизвестный натуралист (ставший впоследствии основателем зоогеографии) А. Уоллес, который использовал в своих предположениях работу английского экономиста **Мальтуса (1776—1834)** «Опыт о законе населения». Свои результаты в виде небольшой брошюры в 20 страниц он и отослал Дарвину в 1858 г., результатом чего явился их совместный доклад. Однако когда в 1859 г. появилась книга «Происхождение

262

видов путем естественного отбора», то автором ее **был** только **Ч. Дарвин [55]**. И мы теперь связываем эту теорию именно с Ч. Дарвином. Книга вышла 24 ноября 1859

г., и все 1250 экземпляров были распроданы в первый же день. Как говорили современники Дарвина, по своему воздействию на человеческое мышление она уступала только Библии.

Физическая эволюция Больцмана для изолированных систем в рамках равновесной термодинамики, как мы уже знаем, вела именно к установлению равновесия, к равновесному распределению хаотических состояний. Может быть, поэтому классическая физика не интересовалась развитием систем. Классические физические представления, в том числе и квантовая механика, могли объяснить, как устроена природа на атомно-молекулярном уровне, но не отвечали на вопросы, каким образом она получилась именно такой и как правильно определить, в каком направлении должно развиваться живое. Таким образом, согласно Ч. Дарвину, имеется высокая упорядоченность живой материи и имеется полная разупорядоченность, в конечном итоге, в неживой природе по физической модели Больцмана.

В природе, в том числе и живой, присутствуют одновременно процессы, приводящие и к хаосу, и к порядку, более того, их взаимодействие происходит гармонично, что позволяет использовать принципы и идеи синергетики к эволюции и снимает кажущееся противоречие между моделями развития Больцмана и Дарвина в синтетической теории эволюции. Второй закон термодинамики в современном представлении отражает необратимость всех реальных процессов в живой и неживой природе и тем самым может являться всеобщим законом развития материи.

Физический же смысл эволюции состоит во все большем удалении живого от равновесия, от состояния той первичной среды, в которой оно возникло. При этом необходимым элементом эволюции является хаотичность системы, которая подтверждает вероятность поведения природных систем. Условия возникновения хаотичности в эволюции существуют для абсолютного большинства физических, химических, биологических структур. Заметим также, что биоэнергетическая направленность эволюции определяет повышение в целом энергии жизнедеятельности живого, перераспределение которой в организме происходит в соответствии с законами неравновесной термодинамики и увеличивает преимущество организма в борьбе за существование и приспособление к окружающей среде

263

11.4. Физическая интерпретация биологических законов

Скорее ураган, проносящийся по кладбищу стрых самолетов, соберет новехонький суперлайнер из кусков лома, чем в результате случайных процессов возникает из своих компонентов жизнь.

Викрамасингхе

Неудивительно, что случай имеет над нами такую огромную власть, ведь то, что мы живем, - тоже случайность.

Сенека

Я обещал вам говорить правду, но никогда не обещал говорить всю правду.

У.Черчилль

Что может еще привнести физика возникающего в современные представления о живом? На основе каких физических моделей можно объяснить те или иные особенности живых организмов? Рассмотрим эти вопросы сначала в макроскопическом представлении. Прежде всего отметим, что мир живого необходимо представлять как целостную систему, мир растений и животных един и поэтому должны существовать общие законы развития живой природы. В то же время живая природа является неоднородной целостной системой, которой свойственна иерархическая организация.

Эту реальную иерархию живой природы классифицировал еще К. Линней и затем развил Дарвин. Причем само возникновение иерархии, завершившееся в живой природе видообразованием, определяется естественным отбором и наследственностью. Несмотря на статистический характер взаимодействия биологических объектов, в живой природе системы формируются не случайно, а в определенном порядке, который может быть описан с помощью системного анализа иерархии сложных систем. В этом смысле возникновение жизни — системный процесс. А обмен веществом, энергией и информацией является основным интегрирующим фактором, создающим и

поддерживающим органическую целостность жизни. Один из главных признаков живого состоит в приспособлении (адаптации) организмов к внешней среде при взаимодействии с ней. Специфическими формами адаптации можно считать организацию жизни и ее эволюцию.

Организация живого организма связана с упорядочением его элементов, частей, целевой функцией которого является достижение полезного результата и сохранение системы. В этом и есть смысл целеполагания самоорганизующихся систем и живых организмов. Самоорганизация реализуется через адаптацию, и,

264

следовательно, приспособляемость является причиной изменения живого. Для существования и развития жизни необходимо целесообразное, т.е. способствующее сохранению системы, реагирование на воздействие внешней среды, и адаптация здесь выступает в качестве основного системообразующего фактора живых систем. Можно считать, что саму жизнедеятельность любого организма следует рассматривать как приспособляемость в условиях эволюции. В этом смысле адаптация — общебиологический принцип [160].

11.4.1. Физические модели в биологии

Имеются физические модели, рассматривающие живой организм как целостную макроскопическую квантовую систему. Тогда устойчивость живого (различие и устойчивость видов и отдельных особей) может быть объяснена на основе имеющихся принципов квантовой механики, в том числе — тождественности и дискретности. Можно дать физическое обоснование многообразной дифференциальной устойчивости на других уровнях квантовой организации природы — атомном, молекулярном и ядерном. Условием применимости квантово-механического подхода к макроскопической системе как целому является наличие в ней нелокального самосогласованного потенциала [126].

Правила отбора позволяют превратить квазинепрерывный спектр переходов между уровнями в дискретный. Конечно, нельзя однозначно и «впрямую» переносить законы и положения квантовой механики микромира на макроскопические объекты живой природы. Однако методологически можно ожидать успеха, как это мы видели на примере космофизики. Кроме того, хотелось бы, чтобы законы, объясняющие природу, были бы одинаковы для всех ее элементов. Квантово-механический подход к живому позволяет использовать для описания процессов в организме такие понятия, как «состояния» и «вектор развития» этих состояний, а также статистически построить базис пространства этих векторов.

Представление фазового пространства в нелинейной динамике также дает возможность анализировать процессы жизнедеятельности организма. В диссипативных структурах за порогом неравновесного фазового перехода в среде возникают когерентные взаимодействия. Как нам уже известно (см. гл. 7), используя нелинейные дифференциальные уравнения и понятия аттракторов, можно классифицировать возникающие структуры и описывать траектории движения вокруг особых точек. Поведение

265

точек фазового пространства в таком случае будет определять развитие и изменение состояния системы. Поэтому эволюционный процесс математически может быть описан векторным полем в фазовом пространстве. Понимание странного аттрактора как особого состояния хаоса, из которого может возникнуть упорядоченная иерархическая структура живого организма, подтверждает борьбу организма за отрицательную энтропию.

Известно, что хаотическое состояние для замкнутых систем характеризуется возрастанием энтропии системы, которая зависит от фазового пространства, занимаемого системой. Поэтому, если траектории системы будут равномерно заполнять некоторый объем в этом пространстве, эффективный объем, занимаемый системой в случае странного аттрактора, будет существенно больше, чем в случае обычного. Поскольку обычный аттрактор связывается с порядком, то появление странного аттрактора означает увеличение фазового пространства и энтропии и тем самым переход к хаосу.

Следовательно, упорядоченное состояние живого организма обладает меньшей энтропией, чем окружающая неструктурированная хаотическая внешняя среда. Заметим также, что аттракторы определяют устойчивое состояние, и если система попадает в поле его притяжения, то она обязательно эволюционирует к этому устойчивому состоянию (структуре). Будущее состояние системы (среды) как бы «притягивает», организует,

формирует, изменяет ее настоящее состояние. В этом смысле можно сказать: будущее влияет на настоящее! Странные аттракторы определяют границы неустойчивости, в рамках которых происходят флуктуации и бифуркации. Получается, что обычный аттрактор описывает устойчивое равновесие порядка, а странный — неустойчивое равновесие детерминированного хаоса.

Их динамическое (а может быть, и гармоническое) сочетание характеризует эволюционный процесс развития живой системы. Спектр структур-аттракторов представляет собой поле путей развития, бифуркационное дерево возможных ветвящихся направлений разветвляющихся событий. Он может определяться воздействиями управляющих параметров и внутренними свойствами среды и включает в себе тем самым план эволюции. Этот план потенциален и зависит от нелинейных свойств среды. Воздействие управляющих параметров в точках бифуркации приводит к тому, что система начинает осуществлять свой потенциальный план развития.

Может быть, в этом и заключается физический смысл памяти. Превышение управляющих параметров некоторых пороговых

значений качественно изменяет состояние системы и характер ее развития. Качественное же изменение состояния организма означает новые пути эволюционного процесса. Заметим, что всякое развитие сложной системы, выражающееся в появлении нового качества, возможно только при наличии в системе флуктуаций, склонных к разрастанию.

Сочетание синергетического и квантово-механического подходов позволяет в рамках модели физики живого рассматривать организм как диссипативную структуру, динамическая устойчивость которой определяется устойчивостью макроскопического квантового объекта. Для возникновения диссипативных структур, в которых устойчивы упорядоченные неравновесные состояния, требуется большое количество энергии. Обмен энергией с окружающей средой приводит к тому, что свободная энергия «забирается» из нее, а «обесцененная» (с положительной энтропией) отдается окружающей среде — рассеивается в ней (диссипатируется). Поэтому диссипативная структура живого организма обладает более дифференцированными и организованными уровнями упорядоченности, требующими для своей жизнедеятельности больше энергии, чем для поддержания функционирования простых структур. Энергия как бы «творит» более высокие уровни организации. Естественно, что дифференциация ведет к усложнению системы, пределом которого может быть достижение неравновесного состояния («устойчивого неравновесия», по Э. Бауэру), характерного для живых организмов.

Такие представления согласуются с принципом минимума диссипации энергии по Н.Н. Моисееву, т.е. накопления свободной энергии в организме, и принципами Розена: оптимальной конструкции в биологии, оптимальной структуризации, минимизации траты энергии и «строительного материала». Действительно, из 111 химических элементов природы организм использует только 22, причем он состоит на 99% из легких элементов: H_2 , O_2 , C и N_2 , соответственно 60, 25, 10 и 2%. Принцип оптимальной конструкции живого выступает здесь как частный случай всеобщих физических принципов оптимальности и наименьшего действия. Чем выше организация, тем эффективнее использует живой организм энергию, получаемую из внешней среды в процессе обмена веществом. Эффективность использования энергии проявляется как в необходимом поддержании и сохранении своей организации, так и в минимизации расхода энергии. Поэтому принцип минимума диссипации энергии мож-

но рассматривать как частный случай общего принципа экономии энергии и минимума производства энтропии.

Согласно И.Р. Пригожину, если имеющиеся граничные условия мешают системе достичь термодинамического равновесия, а это означает нулевое производство энтропии, то такая система переходит в состояние с наименьшей диссипацией. Тем не менее любая работа, совершаемая живым организмом, при сохранении собственной внутренней энергии (если она будет уменьшаться, организм погибнет) должна компенсироваться притоком энергии извне. В целом наименьшая «трата» энергии, т.е. максимальная ее экономия, характерна для функционирования живых систем и свидетельствует об их высокой организации. Например, энергия, требуемая для функционирования клетки, составляет менее 10^5 эВ, а энергия лазера, обеспечивающая его работу, — около 10^{12} эВ. Для живых организмов энергетически выгодно сокращение поверхности организма, которая находится в контакте с внешней средой. У высокоорганизованных

Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

многоклеточных структур эта поверхность меньше. Таким образом, одними из главных факторов развития живого являются энергетический и организационный и их можно рассматривать во взаимном единстве.

11.4.2. Физические факторы развития живого

Организация живых систем обуславливает их эволюцию, а основным критерием их организации является эффективность использования энергии, причем эволюция должна идти как по сложности и организованности, так и по степени их функциональности, и эта функциональность играет более активную роль в эволюции, чем структура. Поэтому, организация включает в себя не только структуру, но и связи между элементами и их взаимодействие.

Так как эволюция живого идет через развитие его организации, то ее можно связать с общим законом самоорганизации материи: процесс развития характеризуется непрерывным усложнением и ростом разнообразия организационных форм материи. Это биологический закон дивергенции (его можно сравнить с физическим законом дивергенции — расходимостью), который понимают как «расходимость» видов. На это указывал В.А. Энгельгардт, подчеркивая, что энергетика биологических систем характеризуется двумя как будто противоположными чертами — наличием элементов *многообразия*, с одной стороны, и наличием элементов *унификации*, с другой.

268

Многообразие состоит в том, что во всех биологических процессах всегда и везде происходит преобразование энергии: превращение квантов света в потенциальную, химическую энергию органических молекул при фотосинтезе, превращение химической энергии в механическую работу при сокращении мышцы, выделение теплоты при процессах дыхания, возникновение электрических потенциалов при возбуждении нервной клетки, организация потоков движения вещества, кинетика электронов и многое другое. Унификация заключается в том, что непосредственным источником энергии, обеспечивающим все эти процессы и проявления жизнедеятельности, во всех случаях является универсальное вещество, которым является, как мы увидим, химическое соединение аденозинтрифосфат (АТФ).

На рост разнообразия как одну из существенных характеристик живого обращал внимание и Н.В. Тимофеев-Ресовский: *«...одно из проявлений живого состоит не в том, что нарастает масса живого, а в том, что множится число элементарных индивидуумов и особей»*. Разнообразие по своему существу — это гарантия устойчивого существования, отбора наиболее приспособленных организмов и нужного для развития взаимодействия с окружающей средой. Распространяя принцип биологического разнообразия на социальную и духовную сферы жизни, известный российский литературовед Ю.М. Лотман предложил простую, но глубокую формулу жизни: *«...мы живем, потому что мы разные»*. Иначе, в условиях полной одинаковости (тождественности — в физике), попросту не было бы развития и нас самих. В методическом плане идея необходимости разнообразия означает признание безграничности способов познания действительности, физических моделей ее представления, которые должны соответствовать неисчерпаемости самой природы.

Структура живого организма тесно связана с его функциональностью, что коррелирует и с упомянутыми в § 2.7 принципами оптимальности.

Живой объект реально выступает как

- *неразрывное единство структуры и функции вещества и действия.*

В этом смысле клетка как элементарная частица биологии на клеточном уровне организации живого, по мнению Э. Хилла, *«не столько вещество, сколько процесс, непрерывная цепь удивительным образом связанных между собой событий»*. Образно говоря, она сама «живет», так же, как «живут» и хаос, и самоорганизующаяся система в любых сложных объектах живой и неживой

269

природы (например, в пламени факела, огня, в неустойчивом потоке воды, газа и т.д.).

Поэтому высокоорганизованная живая система выстраивает иерархию своей структуры, создает и контролирует функциональные действия и процессы в ней. Упорядоченность живого организма отличается от упорядоченности объектов неживой природы, например кристаллов, где она характеризуется минимумом свободной энергии. Там это — упорядоченность «кладбища», в то время как упорядоченность структуры живого организма в процессе жизнедеятельности есть, по образному выражению Б.М.

Медникова [14], «упорядоченность автомобильного конвейера», т.е. упорядоченность процесса. Это может быть и процесс обмена веществ, и самоорганизации структуры, и передача сигналов и т.д. Живой организм — это поток, в котором непрерывно изменяется энергия и движения вещества — элементы для создания структуры и поддержания жизнедеятельности.

11.5. Пространство и время для живых организмов

Овладеть пространством – таково первое желание всего живого.

Ле Корбузье

Мы никогда не живем настоящим, все только предвкушаем будущее и торопим его, словно оно опаздывает. Покопайтесь в своих мыслях и вы найдете только прошлое и будущее. Вот и получается, что мы никогда не живем, а лишь располагаем жить, упоая на счастье, так никогда его не обречем.

Б. Паскаль

*Коль можешь, не тужи о времени бегущем,
Не отягчай души ни прошлым, ни грядущим,
Сокровища свои потрать, пока ты жив,
Ведь всеравно в тот мир предстанешь неимущим.*

Омар Хайям

Все люди бояться времени, а время боиться пирамид.

Народная мудрость

Это почти неподвижная мука –

Мчаться куда-то со скоростью света,

Зная при этом, что есть еще где-то

Некто, летящий со скоростью света.

Л. Мартынов

Рассмотрим представления пространства и времени применительно к жизни организмов. Роль пространства для живого организма не ограничивается только желанием живого завоевать его,

270

расширить свои возможности, получить дополнительную энергию. С точки зрения статистической физики расширение объема занимаемого системой пространства связано с увеличением числа возможных состояний, т.е. увеличением энергии системы для своего развития. Для жизни нужна энергия! В биологии это называется поисковой активностью живых организмов и свойственно человеку с его желанием реализовать свои способности в пространстве и времени. Как мы увидим дальше, в мире молекулярной биологии для молекул ДНК и РНК очень важно изменение пространственной конфигурации. Цепи этих молекул трехмерны, и это позволяет им выполнять свои функции. В этом смысле пространство оказывается важным участником действия, в том числе и на молекулярной «сцене» жизни.

Важным моментом развития живых организмов на определенном этапе эволюции явилось отделение их от окружающей среды, создание границы, поверхности раздела между живой и внешней неорганической средой. Эту обособленность можно рассматривать как один из признаков самоорганизации, приводящей к определенной устойчивости живых организмов, выделяя их из окружающей среды. Тем самым возникли дискретности биологических образований и процессов, происходящих на границе поверхности, для решения которых можно использовать физические представления. Напомним, что в квантовой физике дискретность связана с принципом неопределенности соотношения $\Delta p \cdot \Delta x \geq h$.

Влияние поверхностных явлений на процессы в живом организме будет рассмотрено дальше, а здесь отметим, что в процессы, происходящие на поверхности или, в общем смысле, на границах, идут с большей интенсивностью, чем внутри системы. Это можно связать с «экспансией» живого в пространстве — развитие его идет быстрее на границах. Наверное, неслучайно человек селился на опушке леса, берегу моря, реки, около обрывов в горах и т.д., там, где были природные границы биогеоценозов. В социуме это проявляется в ускоренных темпах развития на периферии (освоение новых земель, завоевание Сибири, возрождение России из регионов и т.д.).

11.5.1. Связь пространства и энергии для живого

С энергетической точки зрения подтверждается биологический принцип: живое борется за реальное пространство — стремится расширить власть своего существования. Есть ли здесь противоречие? По-видимому, нет, поскольку живое «борется» в

271

целом за энергию, структурируя ее затем на полезную для себя, свободную энергию и ненужную, связанную энергию — положительную энтропию. В этом суть биоэнергетической направленности эволюции живых организмов, в ходе которой должно происходить повышение энергии жизнедеятельности, в частности животных, что значительно увеличивает преимущество более энергетичных особей в борьбе за жизнь, в освоении новых территорий и приспособлении к разнообразной окружающей среде. В биологии, как уже отмечалось, такой процесс называется поисковой активностью, и относится и к человеку, расширяющему свои возможности. Живое стремится получить энергию и за счет этого сохранить себя. В этом проявляется его целевая функция и в этом же направленность его развития.

Для живой природы характерна также специфика пространства, связанная с асимметрией вещества организма. Мы уже касались в § 8.6 хиральности «живых» молекул и более подробно в §12.5 рассмотрим влияние нарушения симметрии на возникновение развития жизни. Пока же отметим, что асимметрия приводит к резкому неравенству направлений в пространстве, выделению в пространстве того направления, которое энергетически выгодно или целесообразно. Но поскольку применительно ко многим явлениям мы говорим о едином пространстве—времени, то применительно к живому организму, по-видимому, в связи с асимметричностью пространства можно считать, что и время в живом течет по-другому, чем «объективное» время вне него. Еще В.И. Вернадский говорил [5], что *«в живой природе пространство имеет одну особенность, необратимость, зависящую от времени»*.

11.5.2. Биологическое время живой системы

На возможность возникновения для сложной системы внутреннего времени обращал внимание и И.Р. Пригожин: в случае самоорганизации каждая такая система координирует свои внутренние процессы в соответствии с собственным временем. Пригожин назвал это релятивизмом системного времени и отмечал, что, как только формируется диссипативная структура, однородность пространства и времени нарушается [23]. Более того, он считал, что живые системы наделены способностью ощущать направление времени. Эту направленность времени отмечает также психология. Мы помним прошлое, но не помним будущего!

272

Биологические пространство и время характеризуют особенности пространственно—временных параметров организации материи: биологического бытия человеческого индивидуума, смену видов растительности и животных, фазы их развития. Еще Аристотель различал две сущности времени: одну — как параметр, фиксирующий различные состояния движения тел, и другую — как рождение и гибель, т.е. как характеристику возраста системы и, следовательно, направленности его от прошлого к будущему.

Наряду с линейным восприятием времени у человека возникает психологическое ощущение хода времени, обусловленное в том числе его внутренней организацией. Такое представление называют биологическим временем, или биологическими часами. Биологические часы отражают ритмический характер процессов в живом организме в виде его реакции на ритмы природы и в целом всей Вселенной. Появление биологического времени, своего для каждой живой системы, обусловлено синхронизацией биохимических процессов в организме.

Поскольку живой организм является иерархической системой, то он должен соразмерять ее функционирование с синхронизацией всех подуровней и подсистем не только во времени, но и в биологическом пространстве. Такая синхронизация связана с наличием биоритмов в системе. Чем сложнее система, тем больше у нее биоритмов. Американский кибернетик **Н. Винер (1894—1964)** считал, что *«именно ритмы головного мозга объясняют нашу способность чувствовать время»*.

Большинство физиологических процессов роста, развития, движения и обмена веществ в клетках подвержено ритмическим изменениям, обусловленным суточным (циркадным) ритмом внешней среды. Так, у растений хорошо известны ритмические

Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

циклы закрытия цветков и опускания листьев в ночное время и раскрытия их в дневное время. Однако это не всегда связано только с внешним воздействием света. Российский биофизик С.Э. Шноль приводит любопытный пример с фасолью Мэрана, листья которой опускались и поднимались вечером и утром, даже если она находилась в полностью темной комнате. Листья как бы «чувствовали» время и определяли его своими внутренними физиологическими часами. Обычно растения определяют длительность дня по переходу пигмента фитохрома из одной формы в другую при изменении спектрального состава солнечного света. «Закатное» солнце «красное» из-за того, что длинноволновый красный свет рассеивается меньше, чем синий. В этом

273

закатном или сумеречном свете много красного и инфракрасного излучений, и растения (а может быть, и животные) это чувствуют.

Человек, изучающий мир, сам является структурой, изменяющейся во времени, и для него представления о прошлом и будущем существенно разные. В прошлом время выступает как обобщенная координата, а в будущем оно обладает свойствами, зависящими от того, как мы и другие объекты ведем себя в настоящем. Если прошлое определено, то будущее сложных систем известно не полностью. Как сказал социолог И.В. Бестужев-Лада, *«прошлое можно знать, но нельзя изменить, а будущее можно изменить, но нельзя знать»*. Чем сложнее структура, тем большее число возможных состояний она может принимать в будущие моменты времени. В этом неоднозначность времени. Кроме того, время для индивидуальной особи, для ее вида, рода, класса и т.д. различно (масштаб времени). Для человека оно меньше, для человечества — больше. «Чувство времени» для живого организма всегда субъективно: быстро, когда человек увлечен, медленно — в безделье.

Эти различные формы времени и его воздействия на особенности жизни и поведения человека должны проявляться в его облике и остальных его свойствах и качествах. Во многих психологических исследованиях однозначно было показано, что в зависимости от функционального состояния человека его собственное субъективное время течет по-разному. Известный летчик—испытатель М. Галлай описывает случай исследования явления флаттера во время полета самолета. Летчик оценил продолжительность своих действий до разрушения самолета и катапультирования в 50—55 с. Однако когда был расшифрован «черный ящик», оказалось, что прошло всего 7 секунд, т.е. для самого пилота время замедлилось в 7 раз! Отметим, что для отдельного человека время выступает не в качестве независимой объективной переменной (астрономическое время), а наоборот, в роли параметра, зависящего от состояния человека. Человеку трудно воспринимать (и ощущать!) время как таковое (в некотором смысле оно для него абстрактное понятие). Для живых организмов течение абсолютного времени лишено реальности. Мы воспринимаем не время, а происходящие в течение его процессы и изменения, в том числе оцениваем и последовательность событий.

274

Эталоном времени для человека часто служит его собственное внутреннее время. Собственное время ощущают, например, буддийские монахи, длительно пребывающие в темных пещерах, в одиночестве, без астрономических и обычных земных датчиков времени. Исследования психологов показывают, что в таких случаях люди начинают жить именно в своем времени, и если бы это продолжалось достаточно долго, они могли бы создать свою собственную историческую хронологию.

Исследование и моделирование физиологического времени должно быть, вероятно, связано со становлением новой событийно ориентированной биоритмологии, где учитываются физиологическая сущность того, что является событием для живого организма, и его собственные ритмические закономерности. Наш физиологический возраст не зависит от того, сколько восходов и заходов Солнца мы видели на протяжении своей жизни. Интенсивность жизненных процессов связана с внутренним временем, биологическими часами. Ими управляют также такие процессы, как объем клеточного ядра, частота делений клеток, интенсивность фотосинтеза и клеточного дыхания, активность биохимических процессов и т.д. Предполагается, что это биологическое время может течь по-разному, неравномерно, если его сравнивать с физическим (астрономическим) временем. Однако заметим, что до настоящего времени экспериментально такая неравномерность времени в целом во Вселенной не обнаружена.

Синхронизированный общий биоритм организма может не совпадать с ритмом астрономического времени. В молодом возрасте у организма циклы чаще, и психологически кажется, что астрономическое время тянется медленнее, а в старости

биологическое время идет медленнее и поэтому кажется, что астрономическое время идет быстрее. Теперь понятно, почему время для ребенка и старого человека течет по-разному. У первого оно медленнее, у второго — быстрее. Ощущение человеком времени связано с эмоциональной окраской событий, в нем происходящих. Поэтому-то в детстве, когда эмоции сильнее, события кажутся более длительными. Боль удлиняет время, счастье — укорачивает («счастливые часов не наблюдают»). Возникает некий конфликт между физическим и биологическим временем. Говорят же, что женщине столько лет, на сколько она выглядит; а для здорового человека не важно, сколько ему лет, важно — как и на сколько лет он себя чувствует. Все — индивидуально!

275

В целом здоровье организма определяется состоянием и количеством его элементарных «атомов» — клеток. Скорость эволюции клеток, их рост и отмирание будут определять время жизни организма. В молодости скорость возобновления клеток высокая; в старости она замедляется, производная по времени от числа новых клеток меньше нуля, как говорят физики. Жизнь характеризуется интенсивностью обновления клеток, а при старении замедляется биологическое время, запрограммированное самой эволюцией жизни. Продолжительность жизни клеток определяется числом их делений, специфичным для каждого вида. Для живых организмов имеются экспериментальные подтверждения, что скорость деления клетки, задаваемая биоритмами, вначале растет, по мере развития организма достигает максимального значения и затем уменьшается, вплоть до нуля при естественной смерти организма. Клетки и органы ведут отсчет времени, согласуясь с программой, заложенной в геноме.

И *«если жизнь прошла интенсивно, то она кажется полезной и интересной»* (русский биолог **И. И. Мечников (1845—1916)**). Подобную мысль высказывал французский писатель и философ **А. Камю (1913—1966)**: *«Годы в молодости стремительно бегут, потому что они полны событий, а в старости тянутся медленно из-за того, что эти события предопределены»*. Видимо, это позволило Л. Ландау обоснованно перед смертью сказать: *«Кажется, я неплохо прожил жизнь»*. А для автора всегда программным был девиз: *«Только интенсивный обмен энергией с окружающей средой позволяет мне оставаться творческой личностью»*. Русский биолог **И. И. Аршавский** отмечал, что чем активней и с большими энергозатратами живет организм, тем больше длительность его жизни.

Заметим также, что случайные процессы, роль которых в квантовой статистике и биологии велика, могут полностью реализовываться лишь в бесконечно большом времени, а само время ограничено существованием мира [23].

11.5.3. Психологическое время живых организмов

При становлении человеческой психики возникает психологическое пространство — время, которое связано со зрительными, слуховыми и другими ощущениями человека и его восприятиями. Выявлены неоднородности пространства ощущений, его асимметрия, а также эффект обратимости времени в бессознательных и транспсихических процессах. Например, может иметь

276

место такая синхронизация психических процессов, при которой одновременно проявляются одинаковые ощущения и переживания у нескольких людей.

В этом психологическом пространстве — времени отражается не только внешнее физическое пространство, но и собственная телесная биомеханика и собственное личностное пространство, в котором топология преобладает над метрикой. Переходя на новую ступень ощущения пространства, живой организм приобретает новые мышление, логику, математические представления, формы познания, действия и даже мораль. В свою очередь, приобретение нового знания, логики, морали неизбежно приводит к новому ощущению и чувству пространства. Пространство для человека естественно связано с его психологическими ощущениями и влияет на его восприятие действительности и общение с окружающим миром. Так, разделяющее пространство между президиумом собрания и залом, кафедрой преподавателя в аудитории и студентами создает совсем другой человеческий контакт, чем общение внутри коллектива, например доверительная беседа на близком расстоянии за столом. Часто психологическое время — пространство проявляется в бессознательном и во сне. Человек ориентируется (и живет!) в таком пространстве — времени не хуже, чем в физическом, и хорошо ощущает ход времени.

Имеются различия между физиологическим и психологическим временем организма человека. Оказывается, для психики, здоровья и долголетия значительно лучше жить в психологически ускоренном времени и в информационно насыщенной обстановке. Этим, наряду с медико-биологической ситуацией прежних времен, объясняется тот факт, что тогда человек жил гораздо меньше. Известны антропологические данные о том, что не только в каменном веке, но и в средние века люди, которые дотягивали до естественной смерти, редко доживали до 35—40 лет. Может быть, и потому, что в условиях информационной ненасыщенности жизнь объективно становится короткой.

В наше время «порог старости» заметно отодвинулся. Объяснить этот эффект успехами только одной медицины нельзя, поскольку достижения современной медицины в целом увеличивают среднюю продолжительность жизни, но не могут кардинально отодвинуть границу старости. Замедление старения, возможно, и объясняется ускорением психологического времени современного человека, которое стимулируется высоким интеллектом, познавательной деятельностью и устремленностью в бу-

277

дущее. Как остроумно заметил известный российский цитолог В. Я. Александров (1906—1995), *«в борьбе со старостью можно одерживать лишь тактические победы»*.

Примером активного долголетия являются те люди, в профессии которых реализуется плодотворная старость. Это лесоводы, путешественники, селекционеры, садоводы, воспитатели, архитекторы, ученые, результаты труда которых отсрочены, устремлены в будущее. Также бодры, энергичны и жизнеспособны люди старшего поколения, которые не разучились удивляться, а значит, так информационно насыщать свою жизнь, что она не тянется, а несется. Таким людям часто не хватает времени для реализации своих целей, но жизнь их интересна и ярка! Как сказал английский писатель Д. Свифт (1667—1745), *«все хотят жить долго, но никто не хочет быть старым»*.

Реально переживаемое человеком психологическое время во многом зависит от того, как он понимает свою жизнь и свой жизненный путь. Восприятие им хода течения времени связано с обращением к будущему, и, чем выше психологический тип личности, тем оно острее. Возникает как бы «стрела психологического времени». Поэтому роль будущего для человека психологически очень важна — повышается социальная активность и ценностная ориентация человека. С другой стороны, бессмысленные и бесцельные разговоры или «пустая» информация («мыльные» оперы и сериалы, бессодержательные детективы, воздействие масс-культуры — все это «подпольная» (и не ощущаемая) кража собственного свободного психологического времени.

Так же, как цикличность различных процессов проявляется во внешнем астрономическом времени, так и у человека приливы вдохновения и наибольшая работоспособность наступают через каждые 1,5—2 часа. Пик творческого подъема у каждого человека свой — в зависимости от числа и года рождения, он отражает проявление космических ритмов. В целом же при восприятии окружающего мира время для человека всегда ощущается подвижным.

Интересный пример психологического восприятия времени приводит М.Н. Кондратьев: *«Если физическое время разделяет прошлое и будущее, как один миг, т.е. является точкой на оси времени, то настоящее удерживается в психике от 1 до 5 секунд. Если бы мы настоящее также ощущали как миг, то не могли бы воспринимать мелодию, а воспринимали бы музыку как отдельно звучащие ноты»*.

278

Понятие времени мы употребляем в самых разных смыслах. Время доступно нашему сознанию, поскольку связано с обычной, повседневной жизнью. В житейском понимании течение времени воспринимается как его поток, переход из прошлого в будущее. Учеными и философами понятие времени часто трактуется по-разному. Христианский теолог Августин (354—430) писал: *«Если меня об этом никто не спрашивает, я знаю, что такое время. Если бы я захотел объяснить спрашивающему, нет, не знаю»*. В Древнем Египте время отсчитывалось от хаоса к порядку, направление времени не определялось — оно понималось как выделение нового из старого. Считалось, что одна из задач Сфинкса — определить движение, а когда люди узнают это, то Сфинкс улыбнется и мир исчезнет.

Прокл (410—485) приводит по поводу времени геометрические рассуждения: *«Время не подобно прямой линии, безгранично продолжающейся в обоих направлениях. Оно ограничено и описывает окружность. Движение времени соединяет конец с началом, и это происходит бесчисленное число раз. Благодаря этому время бесконечно»*.

Платон течение времени, его причину и происхождение связывал со Вселенной: Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

«Поскольку день и ночь, круговороты месяцев и лет, равноденствия и солнцестояния зримы, глаза открыли нам число. Дали понятие о времени и побудили исследовать природу Вселенной».

Архимед (287—212 до н.э.) считал, что спираль как геометрическая фигура соединяет цикличность с поступательным движением. По его мнению, может быть, спираль подойдет для наглядного образа времени, соединив поток времени и окружность.

В проявлении свойств времени для живых организмов отражается та же таинственная непознанность пока сущности времени вообще. Приведем высказывания ученых, так или иначе касавшихся этой проблемы. *«Время — всего иллюзия»*, — отмечал И.Р. Пригожин вслед за А. Эйнштейном. А. Эддингтон писал, что *«в любой попытке навести мост между областями опыта, принадлежащими к духовной и физической стороне нашей природы, время всегда занимало ключевую позицию»*, а французский философ А. Бергсон (1859—1941) считал, что *«время — либо изобретение, либо вообще ничто»*. В физике становления И. Р. Пригожина время является «возникающим» свойством. Но «кто не знает цену времени, тот не рожден для славы» (народная мудрость). *«Ес-*

ли нет души, которая отсчитывает время, оно пропадает», — отмечал Н. Н. Молчанов, а Ф. М. Достоевский определял время как отношение бытия к небытию.

Современная физика, описывающая сущность строения материи, развивается в направлении, начатом А. Эйнштейном, и пытается объяснить, что природа всех физических взаимодействий едина. Весьма вероятно, что в основе свойств физической материи, в том числе и живой, лежат сложные геометрические особенности пространства—времени. Установление корреляций между индивидуальным развитием человека в пространстве и времени, его геометрическим строением и физиологическими и психическими качествами является одной из задач физики живого.

В заключение приведем отрывок из повести российского писателя Ф. Искандера «Думающий о России и американец». О времени и пространстве он рассуждает так: *«Думающие о России додумались до великой планетарной мысли, которая повернет ход мировых событий. Получилось так, что евреи захватили время. Но, увлекшись захватом времени, евреи потеряли пространство. А мы, русские, увлеклись захватом пространства, выпали из времени. Величайшая задача самой природы — соединить еврейское время с русским пространством. Это создаст между русскими и евреями новый закон всемирного тяготения. Значит, в руках евреев время. У нас в руках пространство. А что такое время? Кстати, американское научное открытие: время — деньги. Время тянется к пространству или пространство тоскует по времени. Это факт, хотя и метафизический. В результате соединения времени с пространством инвестиции посыпятся на Россию, строго и равномерно оплодотворяя ее пространство. Время ищет свое пространство, пространство ищет свое время».*

11.6. Энтропия и информация в живых системах

Нехаотическая система столь же типична, как курица с зубами.

Форд

Жизнь на Земле - это островки информации в безбрежном море энтропии окружающего мира.

И. Вигнер

Информация для живого организма, является важным фактором его эволюции. Русский биолог И.И. Шмальгаузен [153] был одним из первых, кто обратил внимание на связь информации с

энтропией и развил информационный подход к теоретической биологии. Он же установил, что процесс получения, передачи и обработки информации в живых организмах должен подчиняться известному принципу оптимальности. Применительно к живым организмам можно считать, что *«информация — это запомненный выбор возможных состояний»*. Такой подход к информации означает, что возникновение и передача ее живой системе — это процесс организации этих состояний, и, следовательно, в ней может происходить и процесс самоорганизации. Мы знаем, что эти процессы для живой системы могут приводить к ее упорядочению и, значит, к уменьшению энтропии. Система стремится уменьшить внутреннюю энтропию, отдавая ее во внешнюю среду.

Напомним, что энтропия также может считаться биологическим критерием

оптимальности и служит мерой свободы системы:

чем больше состояний доступно системе, тем больше энтропия.

Если состояния имеют разные вероятности, то энтропия

$$S = - \sum_{i=1}^w P_i \lg P_i,$$

где P_i — вероятность i -го состояния, w — число состояний. Если же все состояния одинаковы, то $P_i = 1/w$ и тогда

$$S = \sum_{i=1}^w \frac{1}{w} \lg w = \lg w,$$

что совпадает с формулой, приведенной в гл. 7.

Энтропия максимальна именно при равномерном распределении вероятности, которое тем самым уже не может привести к дальнейшему развитию. Всякое отклонение от равномерности восприятия приводит к уменьшению энтропии. В соответствии с приведенными выражениями системы энтропию определяют как *логарифм фазового пространства*. Заметим, что экстремальный принцип энтропии позволяет находить устойчивое состояние системы.

Чем больше у живой системы информации о внутренних и внешних изменениях, тем больше у нее возможностей изменить свое состояние за счет обмена веществ, поведенческих реакций или адаптации к полученному сигналу, например, резкий вы-

281

брос адреналина в кровь в стрессовых ситуациях, покраснение лица у человека, повышение температуры тела и т.д. Полученная организмом информация так же, как энтропия, влияет на процессы ее организации. Общее состояние системы, ее устойчивость (гомеостаз в биологии как постоянство структуры и функций) будут зависеть от соотношения между энтропией и информацией. Для идеальных закрытых систем с учетом закона сохранения субстанций установлено эмпирическое обобщение:

количество информации I и энтропии S постоянно, т.е.

$$S + I = \text{const},$$

откуда следует, что если возрастает количество информации в системе, то уменьшается ее энтропия, и наоборот.

Количество информации, необходимой для реализации состояния, можно также согласно одному из создателей теории информации американскому ученому К. Шенону выразить через вероятность. *Мерой информации* является соотношение

$$I = -\lg w = \lg P,$$

где w — число возможных состояний, P — вероятность состояния.

11.6.1. Ценность информации

По мере развития кибернетики как науки об управлении процессами в неживой и живой природе выяснилось, что имеет смысл не просто количество информации, а ее *ценность*. Полезный информативный сигнал должен выделиться из информационного шума, а шум — это максимальное количество равновесных состояний, т.е. максимум энтропии, а минимум энтропии соответствует максимуму информации, и отбор информации из шума — это процесс рождения порядка из хаоса. Поэтому уменьшение однообразия (появление белой вороны в стае черных) будет означать уменьшение энтропии, но повышение информативности о такой системе (стае). За получение информации нужно «платить» увеличением энтропии, ее нельзя получить бесплатно! Заметим, что закон необходимого разнообразия, присущий живой природе, вытекает из теорем К. Шенона. Этот закон был сформулирован **У. Эшби (1915—1985): «...информацию невозможно передать в большем количестве, чем это позволяет сделать количество разнообразия».**

Примером соотношения информации и энтропии является возникновение в неживой природе упорядоченного кристалла из

282

расплава. При этом энтропия выросшего кристалла уменьшается, но возрастает информация о расположении атомов в узлах кристаллической решетки. Заметим, что объем информации комплементарен объему энтропии, так как они обратно пропорциональны, и поэтому информационный подход к объяснению живого не дает нам больше понимания, чем термодинамический.

Необходимо учитывать кинетику образования диссипативных структур и ценность информации. *Ценность информации* как ее качество определяют из соотношения

$$V = \lg (P/P_0),$$

где P_0 и P — вероятности достижения какой-то цели до и после получения информации.

Ценность информации может быть положительной, когда $P > P_0$, и отрицательной, если $P_0 > P$. В последнем случае она является дезинформацией. Д. С. Чернявский [149] приводит такой пример практического смысла ценности информации. Допустим, нам необходимо успеть на поезд. Если пользоваться расписанием движения поездов, то вероятность достижения цели (успеть на поезд) сильно повышается, $P \approx 1$. В этом случае ценность информации (расписания) положительна. Однако если расписание устарело или по какой-то причине нарушено, то вероятность достижения цели понижается и $P < P_0$. В этом случае ценность информации отрицательна. Может быть и случай, когда информация вообще не может стать ценной: например, когда наборщик в тексте переставил буквы так, что текст потерял всякий смысл. Количество информации сохранилось, но ценность ее для читателя стала равной нулю.

Информация обычно измеряется в битах; *бит* — единица измерения в двоичной системе счисления. Для простейшего случая, например — выбора между двумя вариантами $w = 2$ и $p = 1/2$

имеем $I = \lg_2 2 = 1$ бит. Оказалось, что живой организм по информативности значительно превосходит современные ЭВМ ($I \approx 10^2 — 10^4$ бит), клетка — 10^9 бит, а в целом живой организм может содержать до 10^{19} мегабит информации. Для примера, наш алфавит, состоящий из $32 = 2^5$ букв, в упорядоченном тексте содержит информацию всего $I = \lg_2 2^5 = 5$ бит.

Одна стандартная страница информации содержит сотни бит. Человек способен воспринимать 25 бит в секунду, центральная нервная система ~ 30—40 бит в секунду. Однако по некоторым

283

каналам эта способность значительно выше: по зрительному каналу $10^7 — 10^8$, по слуховому — $10^3 — 10^4$ бит в секунду.

Сложность кибернетической системы, по фон Нейману, — это число компонент, образующих систему. В многокомпонентных системах эту сложность в ряде случаев труднее описать, чем изготовить саму систему. Сложность в битах определяется как минимальное число двоичных знаков, которые содержат всю информацию об объекте, достаточную для его воспроизведения. Однако понятие ценности информации шире понятия сложности и для живых организмов играет большую роль, чем усложнение системы, поскольку для них важнее не принцип возрастания сложности, а принцип возрастания ценности информации.

Одной из существенных особенностей живой системы является способность создавать новую информацию и отбирать наиболее ценную для него в процессе жизнедеятельности. Чем более ценная информация создается в системе и чем выше критерий ее отбора, тем выше эта система находится на лестнице биологической эволюции.

Ценность информации, особенно для живых организмов, зависит от цели, с которой она используется. Мы уже отмечали (п. 11.2.1), что стремление выжить как главная цель живых объектов лежит в основе всей эволюции биосферы. Это относится как к высшим, так и к простейшим организмам. Целью в живой природе можно считать совокупность поведенческих реакций, способствующих выживанию и сохранению организмов в борьбе за существование. У высших организмов это может быть осознанно, но это не означает, что цель отсутствует. Поэтому для описания живой природы ценность информации — понятие содержательное и связано это понятие с важным свойством живой природы — способностью живых организмов к целеполаганию.

Согласно Д. С. Чернявскому, для неживых объектов целью можно было считать стремление системы к аттрактору как к неустойчивому конечному состоянию. Однако в условиях неустойчивого развития аттракторов может быть много, и это позволяет считать, что ценной информации для таких объектов неживой природы нет. Может быть, поэтому в классической физике понятие информации для описания процессов в неживой природе не использовалось: она развивалась в соответствии с законами природы, и этого было достаточно для описания процессов на языке физике. Можно даже сказать, что в неживой природе если есть цель, то нет информации, а если есть информация, то нет цели. Вероятно, на этом основании можно провести разграниче-

ние неживых объектов от живых, для которых понятия цели, информации и ее ценности являются конструктивными и содержательными. Поэтому наряду с другими рассмотренными признаками развития самоорганизующихся систем критерием биологической эволюции является возрастание ценности информации, рождающейся в системе и передаваемой затем живым организмом генетически следующим поколениям.

Необходимая для развития живой системы информация возникает и приобретает ценность путем отбора, согласно которому благоприятные индивидуальные изменения сохраняются, а вредные уничтожаются. В этом смысле ценность информации — это перевод на язык синергетики дарвиновской триады наследственности, изменчивости и естественного отбора. Происходит как бы самоорганизация необходимой информации. Это позволит через это понятие связать дарвиновскую теорию эволюции, классическую теорию информации и молекулярную биологию.

Закономерности биологической эволюции в свете теории информации будут определяться тем, как реализуется в процессе развития живого принцип максимума информации и ее ценности. Следует заметить, что «эффект границы», привлекающий все живое, о котором мы уже говорили, подтверждается тем, что граница более информативна.

11.6.2. Кибернетический подход к описанию живого

Выделение живым организмом полезной информации и экономичность ее хранения в виде отдельных признаков связаны с дискретностью получаемой информации, что помогает рационально ее отбирать и хранить. Такой кибернетический подход позволяет представить память как многоуровневую структуру блоков информации, дает возможность живому организму экономно перерабатывать информацию и самосовершенствоваться.

Кроме того, кибернетика позволяет применить общие принципы воздействия одной системы на другую через отрицательные и положительные связи. Это обусловлено с тем, что независимо от иерархического уровня принципы управления для живых и неживых объектов одни и те же: управляющий субъект, управляемый объект и система обратных связей. *Принцип обратности связи* широко используется в науке и технике, и мы уже обсуждали отрицательную обратную связь, ослабляющую внешнее воздействие на систему, и положительную, увеличивающую это воздействие, первая стабилизирует систему, вторая — развивает ее.

Применительно к живому это реализуется в признаке доминанты советского физиолога **А. А. Ухтомского (1875—1942)**: всякая деятельность организма имеет определенную устойчивость, он обладает инерционностью — на слабый аномальный для него стимул организм отвечает компенсирующей реакцией, усиливающей его основную деятельность. Организм сопротивляется внешнему воздействию. Можно провести аналогию с известным принципом Ле Шателье, который для рассматриваемых самоорганизующихся систем состоит в том, что система, выведенная внешним воздействием из состояния с минимальным производством энтропии, стимулирует развитие процессов, направленных на ослабление внешнего воздействия.

Но сильный стимул для организма вызывает срыв регуляции и переключает его на новую деятельность. В синергетике и физике такой переход на новый энергетический уровень наблюдается в лазерах при создании инверсной заселенности, при возникновении неустойчивости, переходе в новое неустойчивое равновесие и т.д. В биологии можно привести такой пример: лакающая молоко кошка; если ее слабо потянуть за хвост, то лакание только усилится, а если сильно, то она бросит свое занятие, мяукнет, да еще и цапнет. Этот же пример иллюстрирует и физиологический закон — все или ничего: возбудимый субъект или не реагирует, или реагирует с максимальной интенсивностью.

Поскольку информация и энтропия противоположны по смыслу, то можно считать, что отрицательная энтропия (негэнтропия) и есть питательная для живого организма информация. Поэтому можно считать, что живое «питается» не отрицательной энтропией, а информацией. Пока мы получаем информацию и нуждаемся в ней — мы живем! Человек путем использования информации противостоит энтропийно-дезинтегрирующим факторам воздействия внешней среды и тем самым сохраняет свою структуру и равновесие. Можно сказать, что упорядоченность свойств живого

достигается повышением получаемой информации. Для человека — путем повышения его знаний, образования и культуры. Более того, подпитка информацией, дающая ему саморазвитие, самообразование и самоорганизацию, «удлиняет» его жизнь. Личность достигает гармонического развития, когда, нравственно и образовательно совершенствуясь, она минимизирует энтропию.

Бесполезная же информация ничего не меняет в усвоенной нами с детства некоей картине мироустройства. Более того, широко распространенные, даже модные сейчас компьютерные игры, достаточно тем не менее примитивные и плоские по своей

286

логической структуре, формируют навыки неглубокого и нерефлектующего восприятия реальности. Больше информации — меньше энтропии!

Без выделения конкретной информации из общего бесполезного шума не будет ни возможности управления собой, ни развития самого человека. Для того чтобы уменьшить вероятность разрушения полезной информации бесполезным шумом, нужна некоторая избыточность информации. Но так же, как и в случае слишком большой внешней энергии, большой уровень информации может привести к срыву регуляции организма, его структуры и функций. Как и во всем, нужна гармония.

Отметим также, что, по-видимому, существует такая степень сложности живой системы, критическое значение параметров ее жизнедеятельности, при которых она порождает собственное информационное поле. Возможно, это позволяет провести некую границу, за которой система и становится живой. Таким образом, обмен живого организма энергией, веществом и информацией с окружающей средой приводит к внутренним структурным и функциональным изменениям, переходу из одного качественного состояния в другое. Функционирование организма в этом новом состоянии и определяет его развитие как самоорганизующейся системы.

11.6.3. Роль физических законов в понимании живого

Применение физических моделей и представлений для понимания процессов в развивающихся системах обусловлено, по Э. Шрёдингеру, тем, что *«работа живого организма требует соблюдения точных физических законов»* [25].

В настоящее время есть все основания считать, что современная физика *не встречается с границами своей применимости при изучении биологических явлений*. Как справедливо указывал М.В. Волькенштейн [45], *«развитие биофизики как части современной физики свидетельствует о ее неограниченных возможностях. Приходится, конечно, вводить новые физические представления, но не новые принципы и законы»*. Понимание основных принципов эволюции как самоорганизации живых систем не требует новой физики. Необходимы лишь новые представления и подходы, связывающие теорию самоорганизации, неравновесную термодинамику и теорию информации, которые могут служить количественной основой молекулярной биологии и современной синтетической теории эволюции или универсального эволюционизма.

В физике живого можно объединить и синергетические, и квантово-механические принципы, можно также использовать пред-

287

ставления о стационарности, стабильности, характерные для описания объектов классической и неклассической физики как физики бытия. А физика становления, физика возникающего применяет представления динамической устойчивости и стационарных неустойчивостей, принципов воспроизведения живых систем в процессе самоорганизации. Такой подход оказывается весьма эффективным при разработке физики живого. Он расширяет рамки описания и понимания живого, переходя от консервативных систем к диссипативным, от линейной динамики — к нелинейной, от равновесных состояний — к сильно неравновесным, от устойчивости как неизменности и неизбежности — к неустойчивостям и динамической устойчивости и т.д. Этим она и отличается от физики бытия. Тем самым снимаются жесткие разграничения в естественно-научном описании живой и неживой природы, что свидетельствует о более адекватном понимании нами существующей реальности мира.

Следует, однако, заметить, что сама концепция изменчивости в природе вступает в противоречие с современными представлениями. Жизненный опыт говорит нам о том, что все законы природы, например в классической механике законы сохранения при движении тел, являются неизменными. Американский физик Дж. Шредер [27] отмечает, в какой кошмар превратилась бы наша жизнь, если бы нам приходилось проверять

неизменность закона тяготения каждый раз перед тем, как поставить на стол стакан с водой, или постоянство скорости течения времени в ньютоновской системе каждый раз, когда у нас должна состояться какая-либо встреча.

Пространственная и временная одинаковость спектральных свойств также говорит об универсальности и неизменности законов физики и масштабе Вселенной. Неизменность законов природы является интегральной частью нашей жизни, как мы ее воспринимаем. Фактически весь наш образ жизни мы основываем на допущении, что действие законов неизменно и предсказуемо. В то же время даже в данном курсе мы неоднократно сталкивались с тем, что одни и те же законы движения «работают» в одних условиях и не выполняются в других (например, в классической, квантовой и релятивистской механике). Есть предположения, что и время — основное понятие при количественном описании неживой и живой природы — течет неравномерно и является различным для разных систем. Это является очередным парадоксом современного естествознания и свидетельствует о том, что на нынешнем этапе наших представлений о природе мы чего-то не понимаем и не учитываем.

288

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие понятия и представления синергетики можно применить к описанию жизненных процессов?
2. Каковы термодинамические особенности живого?
3. Какую роль играет энтропия для живого?
4. Что такое физическая и биологическая эволюции?
5. В чем заключается энергетический подход к живому?
6. Какова целевая функция живого организма?
7. Какие уровни организации живого Вы знаете?
8. В каком смысле используется системный подход при описании живых систем?
9. В чем состоят принципы Пригожина — Гленсдорфа и Моисеева?
10. Опишите взаимосвязь энтропии и информации.

ЛИТЕРАТУРА:

[2](#), [3](#), [4](#), [5](#), [6](#), [8](#), [12](#), [20](#), [23](#), [25](#), [26](#), [36](#), [37](#), [38](#), [39](#), [40](#), [41](#), [42](#), [44](#), [45](#), [40](#), [41](#), [42](#), [44](#), [45](#), [64](#), [85](#), [107](#), [111](#), [119](#), [126](#), [128](#), [143](#), [152](#), [156](#), [157](#), [159](#).

Глава 12. ФИЗИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ПРИНЦИПЫ БИОЛОГИИ

Прогресс в биологии — это переход от ложного знания к истинному незнанию.

В.Я. Александров

Что там за ветхой занавеской тьмы?

В гаданиях запутались умы.

Когда же с треском рухнет занавеска, Увидим все, как ошибались мы.

О. Хайям

12.1. От атомов к протожизни

Omne vivum ex vivo.

(Все живое от живого.)

Ф. Реди

*Жизнь — это плесень на
поверхности небесных тел.*

Джинс

12.1.1. Гипотезы происхождения жизни

Возникновение жизни на Земле и ее биосферы является одной из основных проблем современного естествознания, философии и религии. На протяжении всего развития человечества этот вопрос волновал и волнует нас до сих пор. Остановимся кратко на главных гипотезах возникновения жизни: креациониз-

289

стекой, теории самопроизвольного зарождения, существования жизни вечно, занесения элементов жизни из Космоса и биохимической эволюции.

Согласно *креационистской гипотезе* сотворения жизни на основе толкования Библии предполагают, что животный, растительный мир и Человек создан **Богом** сразу по его желанию, как говорится, во всей своей красе и всем разнообразии. При этом все эти творения Бога созданы в совершенной гармонии и не требуют своего дальнейшего развития. Любопытно, что в рамках этой гипотезы на основе анализа возрастов и

родственных связей лиц, упоминаемых в Библии, это произошло в 9 часов утра 23 октября 4004 г. до н.э.! Очевидно, это умозрительная гипотеза, не находящая своего подтверждения в современной науке. Это понимают и сами теологи. Еврейский философ **Маймонид (1135—1204)** в своей книге «Наставник колеблющихся» говорит: *«Конфликт между наукой и религией проистекает из-за неверной интерпретации Библии»*. И там же: *«Если хочешь постичь взаимосвязь между миром и тем, как Бог управляет им, изучай астрономию и физику»*.

В противоположность этой гипотезе еще в древности в Китае и Египте была выдвинута идея *самопроизвольного непрерывного зарождения живого из неживого*. Эти представления поддерживали древнегреческие мыслители (Аристотель, Платон) и более поздние ученые (Галилей, Бэкон, Декарт, Гегель, Ламарк). Согласно Аристотелю, частицы вещества содержат «активное начало», дающее возможность зародиться живому, например, лягушки и насекомые при определенных условиях заводятся в сырой почве, в стоячей воде — черви и водоросли, в протухшем мясе при гниении — личинки мух.

Первый ощутимый удар по этой теории нанес итальянский естествоиспытатель и врач **Ф. Реди (1626—1698)**, который в 1688 г. проделал опыт с закрытыми и открытыми сосудами, где были помещены мертвые змеи. В открытом сосуде мухи откладывали свои яйца и из них развивались личинки мух. В закрытом сосуде этого не происходило — отложенные на закрывающую банку кисею яйца не давали личинок. Из этих опытов и возник известный принцип Ф. Реди — *«все живое от живого»*. В дальнейшем французский микробиолог **Л. Пастер (1822—1895)** и английский физик **Тиндаль (1820—1893)** показали, что при определенных условиях (стерилизация, а в дальнейшем возник и термин «пастеризация») живые организмы — вирусы — не могут возникать. Однако это еще не является доказательством невозможности возникновения живого из неживого.

290

Согласно современным представлениям жизнь возникла из неживой материи, но только в условиях, сильно отличающихся от современных, и за длительный промежуток времени — в течение сотен миллионов лет. Можно также предположить, что возникновение жизни является обязательным этапом эволюции материи, и такое событие могло происходить неоднократно и в разных частях Вселенной.

Теория *панспермии* о занесении «зародышей жизни» из Космоса является гипотезой о внеземном происхождении жизни. Известно, что в мировом пространстве имеются частицы вещества, пылинки, на которых могут находиться живые споры микроорганизмов. Попадая на планету с подходящими для микроорганизмов условиями, они и создают жизнь на этой планете. В настоящее время получены космохимические данные, указывающие на возможность возникновения органических веществ, характерных для живых организмов, химическим путем в космических условиях. При изучении состава метеоритов (главным образом хондритов) и комет были обнаружены спирты, карбонильные соединения, вода, синильная кислота, формальдегиды и т.д. Большая часть молекул, обнаруженных в межзвездных облаках, относится к простейшим соединениям углерода, в том числе к аминокислотам. Предшественники аминокислот в 1975 г. были найдены и в лунном грунте.

Поскольку метеориты типа углистого хондрита довольно часто падают на Землю из Космоса, можно предположить, что образование органических соединений в Космосе — не такое уже редкое событие, скорее типичное и довольно распространенное. Несмотря на то, что о существовании жизни вне Солнечной системы сказать пока однозначно и определенно достаточно сложно, существует гипотеза о возникновении жизни на Земле практически одновременно с моментом образования самой Земли около 4,6 млрд лет назад. И тогда условно можно считать, что жизнь зародилась в момент создания Солнечной системы, в том числе и Земли, т.е. в Космосе. В качестве аргументов в пользу этой гипотезы любители экстравагантных доказательств приводят такие факты, как прилеты инопланетян на Землю, неопознанных летательных объектов (НЛО), наскальные, топографические рисунки на поверхности Земли (об этих рисунках рассказывал фильм Деникена «Воспоминания о будущем»!) и т.д. Однако эта гипотеза не дает ответа на вопрос о механизме изначального возникновения жизни, а просто переносит эту проблему в другое место во Вселенной.

291

По данным ядерной геохронологии длительность геологической эволюции Земли и жизни на ней близки друг к другу, что привлекает сторонников другой гипотезы

происхождения жизни на Земле — *вечного ее существования*. Эта модель близка к теории вечного существования жизни во всей Вселенной. Логичная идея всеобщей эволюции должна приводить к пониманию того, что жизнь возникла где-то на этапе перехода от космохимической эволюции к геохимической и затем биохимической эволюции. Остается «только» найти время и место возникновения живого в этой цепочке! В эволюционном процессе изменения условий для возникновения жизни можно предположить, что жизнь на Земле может совпадать с образованием и существованием материи. Такой точки зрения придерживался известный глобалист естествоиспытатель В.И. Вернадский: жизнь и материя неразрывны, взаимосвязаны, и между ними нет временной последовательности. Эту мысль подтверждает палеонтолог В.С. Соколов: *«...даже на «сумасшедший вопрос» — что древнее — Земля или жизнь на ней, мы не можем дать определенного ответа. Возможно, они почти ровесники и поэтому предпочтительнее говорить о появлении жизни на нашей планете, а не о ее происхождении»*.

В современном естествознании идея эволюции нашего мира находит свое применение и к возможности появления жизни из неживого на этапах развития материи от неорганического мира к органическому и далее к биологическому. Как указывал в 1912 г. русский естествоиспытатель К. А. Тимирязев, *«...мы вынуждены допустить, что живая материя осуществлялась так же, как и все остальные процессы, путем эволюции... Процесс этот, вероятно, имел место и при переходе из неорганического мира в органический»*. В более широком смысле эволюцию мира, в течение которой происходит и появление жизни как феномена нового состояния материи, необходимо увязывать с космологической эволюцией в целом. Ее этапы можно представить себе следующим образом:

БВ —> излучение + вещество —>
—> Галактики, Вселенная —>
—> планеты —> первичная атмосфера —>
—> вторичная атмосфера, гидросфера —>
—> образование органических веществ, аминокислот —>
—> коацерватные капли — естественный отбор, мутация —>
—> ДНК — РНК —> белок.

292

12.1.2. Необходимые факторы возникновения жизни

Что же надо, чтобы объяснить возникновение жизни с позиций физики и химии, какие нужны условия для появления живого из неживого? Считается, что требуются четыре основных условия:

- наличие определенных химических веществ,
- наличие источника энергии,
- отсутствие газообразного кислорода O_2 ,
- длительное время.

Из необходимых химических веществ вода имеется в изобилии на Земле, а неорганические соединения присутствуют в горных породах, в газообразных продуктах извержений вулканов и в атмосфере. Необходимой энергией всегда обеспечивало в первую очередь Солнце, ультрафиолетовое и другие виды излучений, затем тепло от вулканов, горячей лавы, гейзеров и от радиоактивного распада элементов земных пород, молнии.

Предполагают, что жизнь могла возникнуть, когда атмосфера Земли не содержала кислорода. Дело в том, что кислород, взаимодействуя с органическими веществами, разрушает, окисляет их и лишает тех свойств, которые делали бы их полезными для предбиологических систем. Поэтому если бы органические молекулы на ранней Земле вступали в реакцию с O_2 , то они существовали бы недолго, препятствовали химической эволюции, т.е. не образовывали бы более сложных структур. В наличии атмосферного кислорода кроется одна из причин невозможности самопроизвольного зарождения жизни из органических веществ в наше время.

Из геологических данных известно, что древнейшие породы Земли образовывались в то время, когда ее атмосфера не содержала O_2 , а состояла к моменту предполагаемого зарождения жизни из водяных паров, диоксида углерода и азота. В древних породах Земли находят железо в двухвалентной восстановленной форме Fe^{2+} , а в более молодых породах — в трехвалентной Fe^{3+} , т.е. в окисленной, которые приводили к образованию H_2 , O , CH_4 , NH_3 , HCN , а затем и CO , CO_2 , создавая восстановительную атмосферу.

Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

Атмосферы других, самых больших планет Солнечной системы, Юпитера и Сатурна, по современным данным состоят в основном из газообразного и металлического водорода и гелия. При этом Земля не могла удержать легкий водород, он

293

рассеивался в космическом пространстве, так же как и тот водород, который получался при разложении аммиака NH_3 под действием солнечного излучения.

Химические реакции, приводящие к образованию новых веществ, могут протекать с разными скоростями. Такие превращения первородной атмосферы Земли требовали миллионы лет. Однако с учетом предполагаемого времени образования Земли в 4,6 млрд лет простые подсчеты показывают, что даже если вероятность события, от которого зависело возникновение хотя бы однажды простейших форм жизни, составляет 0,001, то за 10000 лет оно обязательно произойдет. Поэтому как бы ни казалось маловероятным появление живых систем, времени для этого было настолько много, что на самом деле это событие стало неизбежным. Например, первые известные остатки прокариотических клеток были обнаружены в горных породах, сформировавшихся всего (!) на 1,1 млрд лет позднее образования Земли.

12.1.3. Теория абиогенного происхождения жизни А.И. Опарина

О том, как произошла жизнь, знают лишь А.И. Опарин и Раиса Львовна Берг, а я маленький, я не помню.

Н.В. Тимофеев-Ресовский

В современном естествознании наиболее обоснованной выглядит теория *абиогенного* происхождения жизни, выдвинутая в 1923 г. российским биохимиком **А.И. Опариным (1894 — 1980)**. Она основывается на физико-химических представлениях об условиях, имевшихся на ранней Земле, связывая их с геологической эволюцией, эволюцией химических элементов Солнечной системы, а также активностью Солнца, и удовлетворяет упомянутым выше условиям возникновения жизни. Основной идеей этой теории было обоснование того, что зарождение жизни — это длительный процесс зарождения живой материи в недрах неживой. Опарин предположил, что сложные органические соединения возникли в океане из более простых соединений. Разнообразие этих простых соединений в атмосфере и протоокеане, обилие солнечной энергии, действовавшей длительное время, привели к образованию «первичного бульона», в котором стали возникать более сложные органические соединения и конгломераты их в виде так называемых *коацерватных капель*.

294

Причем это был процесс самопроизвольного превращения неорганических соединений в «кирпичики жизни» — биомолекулы: аминокислоты, нуклеотиды, полисахариды и т.д., которые мы более подробно рассмотрим дальше. «Коацерватная» идея А.И. Опарина об абиогенном, т.е. небиологическом, происхождении преджизненных форм материи, возникновении под действием электрических разрядов и коротковолнового излучения органических молекул без участия живых организмов была экспериментально доказана американским ученым С. Миллером в 1953 г. Удалось создать сходные условия при наличии электрических разрядов в атмосфере смеси метана, аммиака и воды. В результате реакции появились некоторые вещества, которые входят в состав живых организмов: аминокислоты, глутаминовые кислоты и простые сахара, а впоследствии и нуклеиновые кислоты. Появилась «жизнь в пробирке»! Органические соединения должны были возникать в этих восстановительных условиях при наличии энергии и вдали от равновесия.

Процесс биохимической эволюции по Опарину можно представить в виде нескольких этапов:

- Переход воды в процессе охлаждения Земли из парообразного состояния в жидкое, образование отдельных атмосферы и гидросферы и последующая их эволюция. При этом шел синтез простейших неорганических соединений.
- Образование из неорганических соединений (H_2 , O_2 , CO_2 , NH_3 и CH_4) органических и накопление их в первичном океане в результате энергетического воздействия Солнца, электрических разрядов, космического излучения.
- Постепенное усложнение органических соединений и образование белковых структур.
- Выделение белковых структур из среды, образование гидрофильных комплексов и

создание вокруг белков водной оболочки. Эти комплексы, согласно терминологии Опарина, и образуют коацерваты, составные части которых (полипептиды, полинуклеотиды) выработали способность обмениваться энергией и веществом с отделенной от них окружающей средой и резко увеличивать скорость биохимических реакций. Это в дальнейшем привело к ускорению темпов в целом всей эволюции живого во времени. Так, от протобионтов до появления аэробов (организмов, существующих в кислородной среде, «питающихся» кислородом O_2) потребовалось 3 млрд лет, до образования растений и

295

животных ~500 млн лет, птиц, млекопитающих и первых позвоночных — около 100 млн лет, приматов — 12—15 млн лет, человека — 3 млн лет. Здесь свою роль сыграли и многие другие факторы, в частности законы естественного отбора и приспособляемости живых организмов к изменяющимся условиям внешней среды, а на уровне «химии жизни» — появление ферментов и автокаталитических реакций.

- В результате образования гидрофобных липидных границ между коацерватами и внешней средой создание полупроницаемых мембран, обеспечивающих стабильность функционирования коацервата.

- Связывание друг с другом нуклеотида коацерватов по принципу дополненности с образованием цепи молекул. Обеспечение эволюции сложных соединений путем саморегуляции.

- Появление возможности самовоспроизводства при возникновении генетического кода. Предполагают, что таким образом образовалось живое вещество. Согласно концепции В.И. Вернадского [4], в образовавшейся биосфере есть косное вещество, которое остается неизменным, и живое вещество, изменяющееся в процессе эволюции. Живое вещество влияет на ход эволюции. Современные условия жизни на Земле в значительной степени созданы жизнедеятельностью организмов. Так, практически весь кислород, содержащийся в атмосфере Земли в настоящее время, — это продукт фотосинтеза, происходящего в живых организмах — растениях.

В.И. Вернадский связывал возникновение жизни с гигантским скачком (бифуркацией — в рамках синергетики), который прервал безжизненную эволюцию земной коры и внес в нее столько противоречий, что они смогли породить жизнь, «не *как возникновение какого-то отдельного живого организма, а именно их совокупности, отвечающей геохимическим требованиям жизни*». Коацерваты как предвестники в дальнейшем клетки живого организма смогли уже «жить сами по себе»: увеличиваться в размерах, делиться на части, обмениваться энергией и веществом с окружающей средой, участвовать в химических реакциях и т.д.

В результате этого возник первичный круговорот веществ в природе, связанный со взаимным адиабатическим обменом органических веществ в процессах их синтеза и распада. При этом уже можно считать, что шел процесс естественного отбора и на этом уровне более устойчивые соединения сохранялись, а малоустойчивые распадались. В процессе отбора оставались такие ко-

296

ацерваты, которые не теряли структуры даже при своем делении, что характеризует самоорганизацию и самопроизводство. Если при этом в коацерват попадала молекула, также способная к воспроизведению, и происходила перестройка оболочки коацервата, то могла образоваться простейшая живая клетка, а из нее при получении энергии и вещества из первичного бульона — развиваться и простейший организм.

А. И. Опарин считал, что когда в процессе этого обмена и химических реакций появились нуклеиновые кислоты, процесс химической эволюции как борьбы протобионтов заканчивался. Переход к живому осуществлялся, когда на «*смену соревнованию в скорости роста приходила борьба за существование*» [9]. При появлении надежного механизма воспроизведения генетической информации процесс непосредственного возникновения жизни завершился, эра химической эволюции закончилась, началась эра биологической эволюции, время естественного отбора. В этих условиях уже недостаточно было просто выжить, нужно было быть способным получать энергию наиболее эффективно и оптимально ее использовать для своего развития.

12.1.4. Гетеротрофы и автотрофы

В течение длительного времени организмы были *гетеротрофными*, т.е. питающимися органическими молекулами из окружающего бульона или другими организмами.

Гетеротрофное питание осуществлялось за счет расщепления с помощью ферментов органических веществ и усвоения продуктов этого расщепления. Грибы, некоторые растения, животные и человек являются гетеротрофными организмами. Следующим шагом эволюции живого стало появление *автотрофных* организмов, которые способны синтезировать питательные вещества из неорганических соединений: живой мир перестал зависеть только от органических веществ, которые в целом медленнее образовывались на Земле по сравнению с неорганическими, и Земля могла дать возможность существовать гораздо большему числу живых существ. Автотрофы — это первичная биотическая основа. Автотрофные растения и организмы являются пищей для гетеротрофов — животных, грибов, бактерий, т.е. таких живых организмов, которые непосредственно не могут усваивать энергию извне.

Другим важным моментом в эволюции жизни стало появление *аэробных* организмов, в основном эукариотов, обладавших

297

кислородным дыханием и возникших в окислительной среде. Аэробные клетки, активно питавшиеся кислородом, усваивали энергию в 10 раз большую, чем *анаэробные*, и поэтому эукариоты в десятки раз более эффективно использовали энергию Солнца. Первоначальной формой были (живые) прокариотические, анаэробные организмы, возникшие и существующие в неокислородной первородной атмосфере Земли и не потребляющие кислорода.

Примитивная атмосфера Земли, состоящая из водорода H_2 , метана CH_4 , аммиака NH_3 , воды H_2O , была восстановительной, и автотрофы должны были возникнуть именно в таких условиях, т.е. анаэробно. И если бы клетки живого организма не достигли своей высокой организованности и защищенного состояния (оболочка), то кислород (O_2) не дал бы возможности развиваться жизни, окисляя химические соединения, из которых должны были образовываться биологически функциональные молекулы.

Само существование и развитие жизни подтверждает биогенное происхождение современной окислительной атмосферы Земли. По геологическим данным следы прокариотов анаэробов были обнаружены в осадочных породах в Австралии, возраст которых составляет около 3,9 млрд лет. Этим же возрастом можно датировать возникновение анаэробной жизни и прокариотической биосферы. Прокариоты освоили реакцию фотосинтеза и произвели смертельный для них кислород. Постепенное накопление кислорода в атмосфере и океане препятствовало эволюции прокариотов, вело к их гибели и появлению эукариотов с их кислородным питанием. Дальнейший рост концентрации кислорода привел к образованию озонового слоя в атмосфере и позволил жизни выйти из океана на сушу, что значительно ускорило процесс эволюции живого.

Первичной биотической основой жизни следует считать автотрофов. Автотрофные растения и животные являются пищей для гетеротрофов — таких живых организмов, которые не могут усвоить энергию непосредственно извне. Поэтому автотрофы, прежде всего растения, осуществляющие процесс фотосинтеза, имеют для гетеротрофной жизни на Земле космическое значение. Фиксируя в продуктах фотосинтеза солнечную энергию, они выполняют для нас роль как бы космического очага. Ежегодно растения образуют до 150 млрд тонн органических ве-

298

ществ и запасают до 10^{16} кДж энергии Солнца. При этом они усваивают из атмосферы до 300 млрд тонн углекислого газа и разлагают до 130 млрд тонн воды, выделяя около 130 млрд тонн кислорода. Практически жизнь на Земле целиком зависит от фотосинтеза автотрофов. В настоящее время анаэробы существуют лишь там, где недостаточно кислорода для поддержания аэробной жизни.

Описанные процессы перехода к фотосинтезу и автотрофному питанию можно рассматривать как очередную бифуркацию в эволюции живого. Взаимодействие гетеротрофов и автотрофов в процессе их жизнедеятельности приводило к изменению внешних условий для живых организмов, которое вынудило эти организмы приспосабливаться к новой среде и еще больше изменить ее. Поэтому в ходе эволюции жизни на Земле среда формировала организмы, а живые организмы формировали среду.

Современное естествознание в целом исходит из абиогенного происхождения жизни по модели Опарина.

12.2. Химические процессы и молекулярная самоорганизация

Быть может, эти электроны –

Миры, где пять материков,
Искусства, знания, войны, троны
И память сорока веков!

Еще, быть может, каждый атом -
Вселенная, где сто планет;
Там все, что здесь, в объеме сжато,
Но также то, чего здесь нет.

Их меры малы, но все та же
Их бесконечность, как и здесь;
Там скорбь и страсть, как здесь
и даже
Там та же мировая спесь.

В. Брюсов.

Мир электрона

В этом параграфе приведены краткие сведения из химии, которые будут полезны для развития представлений о физике процессов в живой природе. Поскольку в основе жизнедеятельности любого живого организма лежат биохимические процессы, напомним физический смысл тех терминов и понятий, которые описывают химические процессы и реакции. Все материальные тела неживой природы состоят из атомов и молекул, что позволяет говорить об общности строения различных видов материи, в том числе молекул веществ, состоящих из одних и тех же химических элементов, атомов и элементарных частиц.

299

12.2.1. Химические понятия и определения

Под *атомом* понимают электронейтральную квантово-механическую частицу, состоящую из положительно заряженного ядра и отрицательно заряженных электронов, распределенных по оболочкам. *Химический элемент* — это совокупность определенных видов атомов с одинаковым зарядом ядра. В основе Периодической системы элементов Д.И. Менделеева лежит представление, что свойства химического элемента зависят от заряда атома, и это определяет место элемента в таблице.

В природе атомы в своем индивидуальном виде встречаются достаточно редко, для большинства химических элементов атомы обладают способностью отдавать или присоединять электроны, что обусловлено особенностью строения их электронных оболочек. Если атом имеет незаполненные внешние электронные оболочки, он нестабилен и легче вступает в химические реакции, отдавая или приобретая электроны на свою внешнюю оболочку в зависимости от *валентности* — способности атома к образованию химической связи. Поэтому реакционная способность элемента, его активность в химических реакциях определяется количеством электронов на внешних оболочках атома.

Вещество, которое состоит из атомов в определенном соотношении и объединенных определенной химической связью, является *химическим соединением*. Под химической связью понимается определенное взаимодействие атомов через их электроны и приводящее к заданной конфигурации атомов, по которой одни молекулы отличаются от других. *Молекула* — это наименьшая частичка вещества, обладающая его химическими свойствами. При образовании химических связей электроны переходят от одной молекулы к другой и уже не принадлежат какому-то отдельному атому, а обобщены (гибридизованы); при этом атомы теряют свою индивидуальность и свойства соединений отличаются от свойств составляющих их элементов.

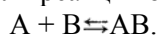
Понятие «молекула» было введено французским химиком П. Гассенди (1592—1655) именно как «соединение атомов». Структура молекулы определяется пространственной и энергетической упорядоченностью квантово-механической системы, образованной электронами и атомными зарядами. Напомним, что поскольку электроны подчиняются законам квантовой механики, то при химических взаимодействиях надо представлять не определенные траектории электронов, соединяющих атомы и молекулы между собой, а некие «электронные облака»,

300

вероятность нахождения которых в пространстве определяется, как нам известно, квадратом модуля волновой функции $|\psi|^2$.

Химические реакции — это превращение одного или нескольких исходных веществ в отличающиеся от них по химическому составу и строению другие вещества. Химические реакции не меняют ни общего числа атомов, ни изотопного состава. Характеристиками химических реакций являются равновесная степень превращения, скорость реакции и глубина протекания. На языке физики все химические реакции — не что иное, как перестройка электронов в атомах электронов, участвующих в реакциях, в то время как ядра атомов в процессе этой реакции остаются незатронутыми.

Молекулы и атомы находятся в непрерывном тепловом движении, сталкиваясь друг с другом. Этот процесс происходит как самопроизвольно, так и под действием температуры, ионизирующих излучений, электрического тока, механических воздействий, катализаторов, и им можно управлять. При соударениях молекул выделяется достаточное количество энергии для разрыва связей, их перестройки, формирования нового набора атомов, изменения их числа, т.е. образования новых соединений. Это и есть физическое понимание химических реакций, которые могут быть *обратимыми* и *необратимыми* в зависимости от энергии реакции. Самопроизвольно реакция идет в сторону уменьшения энергии веществ и увеличения энтропии в ходе реакции. Обычно это отмечается стрелкой в химическом уравнении, направленной в сторону более низкой суммарной энергии связи в полном соответствии с принципами термодинамики: реакция идет, если в ходе ее свободная энергия системы уменьшается. Если реакция обратима, то стрелки направлены в обе стороны:



Зная энтропии веществ, участвующих в реакции, можно определить условия, при которых возможно ее протекание. Если реакция сопровождается выделением тепла, ее называют *экзотермической*, если с поглощением, то — *эндотермической*. В зависимости от характера химической связи и энергии реакции наиболее зависимыми от условий протекания реакции являются соединения переменного состава, в которых связи между элементами ослаблены. На направление химических процессов влияет термодинамика, а скорость их протекания определяется кинетикой процесса. Физически же причина и ход всех химиче-

301

ских реакций объясняются двумя условиями: возрастанием энтропии в ходе самопроизвольной реакции и стремлением к уменьшению свободной энергии.

Представления о химических связях и реакциях тесно связаны с понятиями о *химической системе* и *химическом процессе*. Химические системы могут быть равновесными и неравновесными. В равновесных системах идут обратимые химические реакции, а в неравновесных протекают необратимые процессы, как правило, цепные и разветвленные реакции. В этих реакциях возникают флуктуации, неустойчивости и развитие процессов подчиняется законам нелинейной динамики.

Химический процесс представляет собой последовательную смену состояний химической системы, в ходе которой образуется новое химическое вещество. Взаимодействие электронов и молекул приводит к изменению состава или структуры нового вещества. Важную роль здесь играет энергетика: стабильность соединения и возможность его перестройки и участия в химическом процессе будет зависеть от устойчивости электронных оболочек его атомов. Менее устойчивое соединение обладает большей свободной энергией, стабильное (упорядоченное, более организованное) — меньшей. Чтобы заставить вступить в реакцию разные соединения, надо сообщить устойчивому соединению дополнительную энергию, которую шведский химик **С. Аррениус (1859—1927)** назвал *энергией активации* $E_{\text{акт}}$. Она определяет скорость протекания реакции K :

$$K = K_0 e^{-\frac{E_{\text{акт}}}{RT}},$$

где R — молярная газовая постоянная, T — термодинамическая температура, K_0 — скорость реакции при $T = 0$ К. Это выражение близко по форме и физическому смыслу распределению Л. Больцмана, хорошо описывающего хаотический характер взаимодействия участвующих в реакции частиц вещества.

Чтобы снизить порог начала реакции, обычно требуется уменьшить энергию активации, например путем *катализа*. Катализ — это процесс изменения скорости реакции под действием или при участии особых веществ — катализаторов, которые участвуют в реакции, но не входят в состав ее конечных продуктов. Катализаторы не сдвигают равновесий в химической системе: они ускоряют и прямую, и обратную реакции. Закономерности катализа были открыты русским химиком **К. Кирхгофом**

Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

(1764—1833). Су-

302

ществуют также вещества, замедляющие процесс реакции, они называются *ингибиторами*. В биологии ингибиторами являются молекулы, которые, связываясь с биокатализаторами — ферментами, блокируют какую-то стадию ферментативной, т.е. ускоряющейся, реакции.

В настоящее время технология получения до 80% различных химических веществ основана на каталитических процессах. Каталитическими являются и многие биохимические процессы в живой клетке, в которой роль катализаторов играют ферменты. Например, природным биокатализатором является хлорофилл, представляющий собой комплексное металлоорганическое соединение в живой ткани зеленых листов растений. Ферменты — белковые катализаторы — дают возможность быстро осуществлять химические реакции при низких температурах живого организма. Несмотря на то что ферменты обладают общими свойствами, присущими всем катализаторам, они отличаются от них тем, что функционируют в рамках живых систем. Катализаторы были известны давно, их широко использовали в древности, применяют и в настоящее время в виноделии, хлебопечении, сыроварении, выделке кожи в других технологических химических процессах.

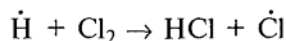
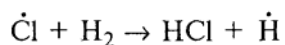
Роль катализатора может играть не только конкретное химическое вещество, но и сам химический процесс. Достаточно давно известны автокаталитические химические реакции, в которых конечный продукт ускоряет процесс, т.е. он сам становится катализатором. Они имеют большое значение для живых организмов, так как биохимические процессы в них носят преимущественно автокаталитический характер. Рассмотренная ранее реакция Белоусова—Жаботинского также является автокаталитической. Таким образом, понимание существа химических процессов и самих свойств соединений основано на представлениях о строении атомов и молекул, их квантово-механическом взаимодействии при химических превращениях.

В химических превращениях помимо атомов и молекул участвуют также кинетически независимые частицы, которые получили название *свободных радикалов*. Они имеют неспаренные электроны, их обозначают точкой сверху над символом элемента, например, Н. Они получаются из обычных молекул при отрыве от них отдельных атомов или даже групп атомов и содержат атомы элементов в ненасыщенном состоянии. *Насыщаемость* есть характеристика валентности связи, и она определяет

303

способность атомов вступать в химическую реакцию за счет оборванных химических связей, «свободных» мест для присоединения других электронов и образования новой связи. Этим объясняется сильная химическая активность свободных радикалов.

Радикалы участвуют в промежуточных стадиях реакции, и при этом энергия активации каждой последующей стадии реакции может понижаться. Если при этом промежуточные продукты реакции содержат ненасыщенные валентности, то это понижение особенно заметно. Примером реакции через промежуточные стадии служит образование хлористого водорода:



Первая ненасыщенная связь образуется при внешнем воздействии. Например, при поглощении света происходит расщепление молекулы хлора на два атома и отрыв электронов от молекулы. Затем реакция за счет появления свободных радикалов идет самопроизвольно, очень быстро и эффективно: один фотон способен образовать около 100 тысяч молекул хлористого водорода. Каждый раз согласно схеме приведенной реакции вместо ненасыщенной валентности одного атома (Н) возникает свободный радикал другого (Сl), и этот процесс идет поочередно.

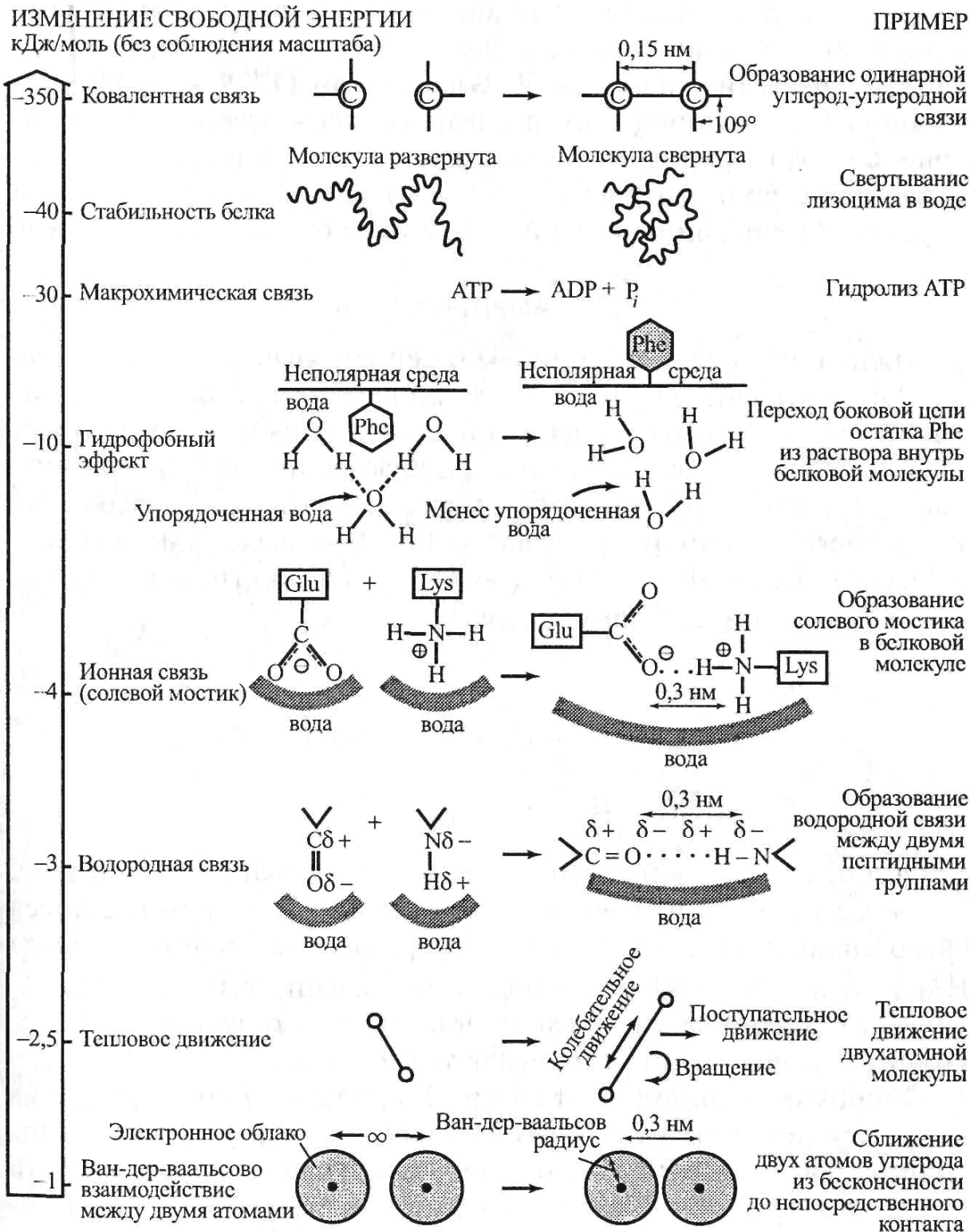
Это так называемая *цепная реакция*, которая может происходить не только в виде рассмотренной выше фотохимической реакции. В работах известного российского ученого, Нобелевского лауреата по химии за 1956 г. **Н.Н. Семенова (1896 — 1986)** и его научной школы были развиты представления о разветвленных цепных реакциях, которые выходят за рамки чисто химических процессов. Эти реакции могут быть использованы в других моделях живой природы, социуме, технологиях (например, для описания реакций деления ядер урана) и лежат в основе ядерных технологий. На рис. 12.1 показано изменение свободной энергии при образовании химических связей в биоорганических молекулах живых организмов.

К особым видам химических соединений относятся также и макромолекулы. Они могут состоять из большого числа атомов, до нескольких тысяч, и обладают в отличие от обычной молекулы качественно новыми свойствами, как это имеет место в соотношении целого и его частей. *Органическими* молекулами являются те, которые содержат углерод, образованные из него веще-

304

ства также относят к органическим. Их насчитывается более 1700 тысяч. Одним из химических процессов органической химии является *полимеризация* — синтез макромолекул полимеров. Для образования каждой новой химической связи, а следова-

Рис. 12.1. Схема изменения свободной энергии и химической связи в молекулах живых организмов.



305

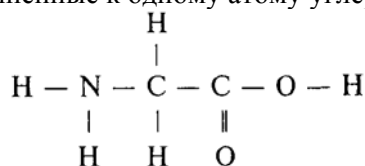
тельно, и полимера, требуется энергия (8—12 Дж/моль), так как все биологические

полимеры находятся в водной среде, где весьма вероятен их гидролиз.

Полимеры не имеют кристаллической структуры и состоят из большого числа повторяющихся звеньев — органических макромолекул. Каталитические реакции и процессы играют особую роль в образовании макромолекул. Термин «полимер» введен в 1833 г. шведским химиком **Й. Берцелиусом (1779 — 1848)**. Наряду с полимеризацией могут идти и процессы *деструкции* — разрушение полимеров, распад их до мономеров. Оба процесса происходят как самопроизвольно, так и направленно в зависимости от условий протекания реакции и возможного воздействия на нее.

12.2.2. Аминокислоты

Важнейшим для биохимии соединением является *аминокислота*. Аминокислоты — это такие органические соединения, которые служат основным элементом построения растительных и животных белков и поэтому играют особую роль в жизни организмов, участвуя в обмене азотсодержащих веществ. Свободные аминокислоты, например, моноаминокарбоновые (глицин), содержат карбоксильную группу ($-\text{COOH}$) и аминогруппу ($-\text{NH}_2$), присоединенные к одному атому углерода C:



Они обладают свойствами и кислот, и оснований. Напомним, что *кислоты* — химические соединения, характеризующиеся диссоциацией в водном растворе с образованием ионов водорода H^+ , а *основания* — диссоциацией с образованием иона OH^- . Замена атома водорода в кислоте металлами образует *соли*, а растворимые в воде основания являются *щелочами*.

Природных аминокислот свыше 170, однако только 20 из них служат мономерными звеньями цепей, из которых построены полимерные молекулы всех белков. Образующиеся при удалении атома водорода от аминокислоты, аминокислотные остатки соединяются с ней *пептидной связью* ($-\text{CO}-\text{NH}-$), которая соединяет аминогруппу одной кислоты (или остатка) с карбоксильной группой другой. Полипептидная цепь образуется в ре-

306

зультате повторения актов пептидной связи. На одном конце этой цепочки (N-конце) свободная NH_2 группа, на другом (C-конце) — COOH карбоксильная группа.

Поэтому аминокислотные остатки являются полимерами полипептидов. Если заменить хотя бы один атом или одну аминокислоту в полипептиде, то возникает новая молекула с другими свойствами и структурой. Каждый остаток имеет постоянную часть и переменные концевые или боковые части, через которые осуществляется пептидная связь таким образом, что формируется непрерывная основная цепь белковой молекулы. Каждая аминокислота имеет свое значение — отрицательный логарифм концентрации H^+ , характеризующий кислотность pH, при котором аминокислота электрически нейтральна. При увеличении pH водного раствора аминокислоты выступают как доноры положительных ионов водорода H^+ , а при уменьшении — как их акцепторы. Химические связи в цепях полипептида могут иметь разный характер. Между положительно и отрицательно заряженными боковыми группами аминокислот или их остатками возникает ионная связь, могут образоваться также водородные и ковалентные связи, что и определяет многофункциональность и значение аминокислот при построении белков живого организма. Аминокислоты входят также в состав других макромолекул — нуклеиновых кислот.

12.2.3. Теория химической эволюции в биогенезе

Проблема самоорганизации сложных макромолекулярных структур имеет общие корни с проблемой самосборки белков живых организмов: за очень короткое время полимерная цепочка из определенных аминокислотных звеньев точно складывается в определенную молекулярную конструкцию, формируя именно данный конкретный белок. Таким образом, процессы химической самоорганизации органических молекул играют важнейшую роль в предбиологической эволюции живых организмов. В настоящее время в химических науках сформировалось новое направление — эволюционная химия — наука о самоорганизации и саморазвитии химических систем, в

основе которой лежат представления о решающей роли катализа при переходе от химических систем к биологическим.

В 1964 г. А.П. Руденко была предложена теория химической эволюции и биогенеза, где было показано, что эволюционирую-

307

щими элементами в развитии предбиологических химических систем являются те структуры и органические соединения, которые усиливали активность и селективность действия катализаторов. Таким образом, и на этой стадии эволюции природы происходил отбор наиболее «нужных» ей веществ для создания живых организмов. Самопроизвольная автокаталитическая реакция в природе «служит» делу эволюции, является как бы «орудием» отбора наиболее прогрессивных эволюционных изменений катализаторов. В этом смысле биокатализ с участием ферментов связан с проблемами биогенеза и происхождения жизни.

В биологии роль таких катализаторов выполняют специфические белковые протеины — ферменты. Эти макромолекулы ферментов обладают такой пространственной конфигурацией, которая дает возможность изменить скорость реакции. Молекулы веществ, участвующих в реакциях, стремятся присоединиться к активным участкам молекул фермента, повышая вероятность их столкновения и, следовательно, начала химической реакции. Самоуправлением в химических процессах как раз и занимается автокаталитическая реакция: продукт этой реакции начинает управлять ее скоростью и даже самой возможностью протекания.

12.2.4. Теория молекулярной самоорганизации М. Эйгена

Другой моделью добиологической фазы образования макромолекул и их эволюции является теория молекулярной самоорганизации **М. Эйгена (р. 1927)**, которая позволяет применить физические представления теории информации, кибернетики и термодинамики к эволюции живых организмов. В этой модели организм рассматривают как открытую термодинамическую систему, которая обменивается веществом, энергией и информацией с окружающей средой. Эти условия наряду с обеспечением за счет такого обмена стационарного неравновесного состояния системы являются причиной процесса ее самоорганизации. Живая открытая система пытается получить от окружающей среды именно свободную энергию и отдать ей «омертвленную» для него связанную энергию — энтропию, которую нельзя превратить в работу для процессов, происходящих в живом организме.

Обмен веществом (в биологии это называется *метаболизмом*) и информация связаны между собой. Метаболизм можно также рассматривать как совокупность всех химических реакций в живой клетке, приводящих к необходимому для нее обмену веществ. Молекулы-мономеры, переходя из внешней среды в орга-

308

низм, несут информацию, которая внутри организма перерабатывается и закрепляется при процессах полимеризации и деструкции, т.е. первоначальная информация об окружающем мире для живого организма закодирована химическим путем. Например, «память» макромолекул — это фиксированная последовательность химических связей. Полимеризация идет путем самоинструктируемой репродукции (воспроизведения) образованных макромолекул. Если скорость репродукции больше скорости распада биополимеров, то макромолекулы растут, в противном случае — распадаются.

При этом необходимо учитывать потоки поступающих мономеров от внешней среды в организм и самовоспроизведение в нем макромолекул. Такие процессы описывают нелинейными кинетическими уравнениями переноса и взаимодействия молекул. Внешние ограничения и потоки создают в системе отбор, что позволяет рассматривать селекционную ценность информации для физики эволюции живого. По Волькенштейну, «вымирают» те макромолекулы, которые не обладают максимальной селекционной ценностью.

Физическое понимание количественного представления принципа естественного отбора Дарвина и будет определяться ценностью информации, которую И.И. Шмальгаузен [153] сравнивал со степенью ее незаменимости для живого организма. Заметим, что естественный отбор имеет место и в неживой природе. Более сложные органические молекулы являются более стойкими к излучению, чем простые, поэтому в природе происходило накопление молекул более сложных конфигураций.

Такой подход вносит физический смысл в дарвиновское определение «наиболее

приспособленный». Информация в теории Эйгена оценивается по способности макромолекул к саморепродукции. В теории молекулярной самоорганизации Эйгена сделана попытка установить взаимосвязь этой «ценной для выживания» информации с физическими свойствами системы — параметрами действующих статистических сил и динамическим воздействием молекул. Таким образом, предшественниками живых систем могут быть не любые макромолекулы, а лишь те, которые обладают необходимыми информационными свойствами, и тем самым дарвиновская эволюция в форме селекции и отбора реализуется уже на добиологической стадии развития.

Для самоорганизации перехода от макромолекулы неживой природы к биомacroмолекулам живой необходимы еще два ус-

309 ловия: самовоспроизведение нужных организму молекул и способность генов — элементов, отвечающих за наследственность, — к рекомбинации или образованию при случайных изменениях новых признаков, т.е. к созданию новой информации. Под *самоорганизацией* в этой теории понимается не только накопление информации при оттоке энтропии при упорядочении организма, но и построение в условиях теплового хаотического движения молекул некоторой структурной копии этой информации, как бы передачи ей плана строения и функционирования исходной структуры в создаваемых макромолекулярных комбинациях.

Однако тепловые флуктуации не дают возможности точного воспроизведения информации, что приводит к возникновению ошибок или, как их обозначают в биологии, *мутаций*. Согласно Г. Кастлеру, запоминание случайного выбора — это возникновение новой информации для развития организма. Матричное копирование¹ биополимера с позиции химии означает автокаталитический процесс, приводящий к убыстряющемуся самовоспроизведению. Поэтому химическая система, способная к эволюции, должна быть автокаталитической, т.е. способной к самовоспроизведению.

Накопленная генетическая информация в молекулах нуклеиновых кислот передается через синтез. Взаимодействие нуклеиновых кислот и белков в живой клетке приводит к образованию макроскопических функциональных структур, способных к самовоспроизведению, отбору и эволюции. Важную роль играет цикличность процессов образования белков.

12.2.5. Циклическая организация химических реакций и гиперциклы

Химические реакции самоорганизуются таким образом, что циклическая организация химических реакций одного уровня становится элементом цикла другого, более высокого уровня. По Эйгену, возникают *гиперциклы*, определяющие репродукцию последующих белков, и осуществляют роль самовоспроизводящейся системы реакций. Реальный гиперцикл, построенный из нуклеиновых кислот и синтезируемых ими с помощью ферментов белков, обеспечивает отбор макромолекул с объемом информа-

¹ В п. 13.4.2 подробно рассмотрено, как матричное копирование осуществляется молекулами нуклеиновых кислот ДНК и РНК.

310 ции и ее ценностью, достаточными для возникновения живого организма.

Необходимой информации можно добиться, если максимально разнообразить множество этих реакций, увеличить их скорости и диапазон действий. Это дает организму те представления, на основе которых он действует. Цикл, повторяясь многократно в процессе эволюции, приводит как бы к надстраиванию управляющей системы и ведет к образованию новых, уже более совершенных механизмов управления. Развитие обеспечивает каждому поколению организмов все большую свободу по отношению к окружающей среде, увеличивает дальнейшее разнообразие их реакций. В этом смысл гиперцикла, который, возможно, отражает имеющуюся в целом цикличность явлений и процессов на Земле и в Космосе. Одновременно происходит усложнение структур, повышение уровня их организации и уменьшение энтропии внутренних состояний. В физическом понимании гиперцикл может быть представлен периодической во времени волновой структурой, возникновением предельного цикла — аттрактора.

Когерентное взаимодействие объектов обеспечивает условия для возникновения и существования открытой устойчивой неравновесной макроскопической системы живого организма, который может быть проанализирован в представлениях синергетики. Когерентность процессов в самоорганизующихся системах через малые, но правильно пространственно организованные управляющие параметры (сигналы возникшей

информации) приводит к селекции необходимой для организма «инструктирующей» информации.

Система самоорганизуется так, что на создание и переработку этой информации уходит большая часть поступающей извне энергии, в результате чего из информационного шума выделяется полезная часть информации. Переход от одного уровня организации к другому идет через хаотические состояния при конкуренции с другими структурами. Хаотичность возможных состояний означает, что самоорганизующаяся система, прежде чем выбрать какое-то определенное состояние, должна находиться в целом наборе других. Это означает, что живой организм участвует в отборе и передаче необходимой ему для развития информации и в целом в управлении своей жизнедеятельностью. В ходе эволюции появление новой информации определяется запоминанием мутаций и генетических рекомбинаций при изменении

311

вида и закреплением этой информации в генах. Генная информация передается из поколения в поколение только после ее преобразования в биогеоценозе, частью которого является популяция особей. В этом смысл самовоспроизводства и саморегуляции живых саморазвивающихся систем.

Можно предположить, что появление гиперцикла связано с переходом от молекул неживой природы к биомакромолекулам живой, с преодолением барьера между живым и неживым. Модель Эйгена молекулярной самоорганизации материи хорошо согласуется с представлениями нелинейной динамики и термодинамики неравновесных процессов Пригожина для открытых систем и с уменьшением энтропии при самоорганизации. Гиперцикл проявляет себя как открытая система с нелинейной динамикой роста процессов. Физическая модель Эйгена самоорганизации молекул дает количественную основу для возможного объяснения естественно-научным путем возникновения живого, но не может объяснить реальный исторический путь эволюции, поскольку процессы перехода от простых молекул к «молекулам жизни» имеют стохастическую природу при большом разнообразии выбора.

Основу любой самоорганизации физической, химической или биологической системы изначально характеризуют случайность, флуктуация или мутация. Понимание основных принципов эволюции как самоорганизации на молекулярном еще уровне не требует пока привлечения новых физических законов. Единые законы управляют физическими процессами в живой и неживой природе на основе общих закономерностей, характеризующих строение и природу материи, вещества и поля. Отличие состоит лишь в конкретных механизмах проявления этих законов.

Имеющиеся в теории гиперциклов представления о метаболизме, самовоспроизведении, мутабельности и селекционной ценности информации позволяют связать дарвиновский эволюционный принцип, теорию информации, нелинейную динамику и термодинамику неравновесных процессов в рамках биологии и новой синтетической теории эволюции. Можно предположить, что селекционные и эволюционные свойства нуклеиново-белковых гиперциклов более предпочтительны по сравнению с другими механизмами, объясняющими возникновение живой природы из неживой.

312

12.3. Биохимические составляющие живого вещества

*Так, как истина вечно уходит из рук — Не пытайся понять непонятное, друг.
Чашу в руки бери, оставайся невеждой, Нету смысла, поверь, в изучении наук.*

Омар Хайям

12.3.1. Молекулы живой природы

Известно, что нет никаких различий в строении молекул элементов, образующих живую и неживую природу. Однако из известных к настоящему времени 111 химических элементов, встречающихся на Земле, в живых организмах встречается не так много — всего 16, причем четыре из них — водород, углерод, кислород и азот — составляют 99% массы живого вещества. Это связано с их физическими и химическими свойствами: валентностью и способностью образовывать прочные ковалентные связи между атомами. В живом организме происходят всевозможнейшие превращения разнообразных крупных молекул и их соединений, главным элементом которых является углерод. В основе клеточной химии лежат углеродные соединения, в которых атомы углерода связываются

между собой наиболее прочной из всех химических связей — ковалентной, обеспечивающей стабильность химического соединения (а значит, и стабильность живого организма).

Атомы углерода могут образовывать разветвленные длинные цепочки не только друг с другом, но и с атомами кислорода. Учитывая антропный принцип, можно не по распространенности, а по значению углерода для жизни) даже сказать, что мы живем в углеродной Вселенной. Поскольку ранее предполагалось, что молекулы углерода присущи только живому, соединения с углеродом получили название органических. Развитие химии и особенно работы русского химика Бутлерова по структурной химии привели к созданию органической химии, которая занимается изучением углерода и синтезом *его* соединений.

Напомним, что ядро углерода, по его положению в таблице Менделеева, содержит 6 протонов и 6 нейтронов, вокруг ядра вращается 6 электронов, масса атома равна 12. При различных химических реакциях углерод присоединяет 4 электрона и образует устойчивую оболочку из 8 электронов, т.е. обладает валент-

ностью, равной 4. В настоящее время соединений углерода известно гораздо больше, чем соединений всех остальных элементов Периодической таблицы Менделеева. Большая их часть не встречается в живых организмах.

Любопытно, что в неживой природе по распространению элементов на Земле углерод занимает лишь 16-е место. В атмосфере Земли углерод составляет менее 0,01 массового процента, в гидросфере — около 0,002, в литосфере — около 0,1, причем в литосфере углерод распространен в 276 раз меньше, чем кремний. Вероятно, определяющим фактором того, что углерод стал главным строительным материалом живых организмов, является его функциональность в высокоорганизованных структурах. Кроме прочных ковалентных связей углерод образует с другими атомами и многоэлектронные связи, в том числе и гибкие лабильные связи, с различными энергиями их образования и способностью возникновения новых разнообразных связей, образуя длинные линейные и разветвленные цепи с очень большим их разнообразием. Атомы углерода могут выступать и как доноры, и как акцепторы, способствуя перемещению электронов в химических связях.

К другим важным для жизни макроэлементам относятся также сера S, фосфор P, ионы натрия Na, кальция Ca, магния Mg, хлора Cl, калия K, железа Fe. Эти элементы, так или иначе участвующие в жизнедеятельности, получили название *органогенов*. К микроэлементам относятся также медь Cu, марганец Mn, цинк Zn, кобальт Co, бор B, алюминий Al, кремний Si, молибден Mo, ванадий V, иод I. Они имеют важное функциональное значение — например, йод регулирует процессы обмена, атомы магния участвуют в образовании хлорофилла, железо входит в состав гемоглобина. В живом организме могут присутствовать также неорганические растворенные в воде организма соединения в виде минеральных веществ.

Напомним, что возникновение соединений обусловлено свободной энергией Гиббса — энергией образования молекул ΔG^0 . По определению, ΔG^0 образования наиболее стабильной формы каждого элемента при стандартных условиях ($T = 298\text{ K}$ и $p = 1\text{ МПа}$) равна нулю. Если $\Delta G^0 > 0$, то образуемая форма не стабильна. При термодинамическом равновесии наиболее стабильному соединению соответствует отрицательное и наибольшее по абсолютному значению ΔG^0 . Для воды (H_2O) оно равно -224 Дж/моль , для кварца (SiO_2), основного компонента земной

314

коры, $\Delta G^0 = -768\text{ Дж/моль}$. Установлено, что все важнейшие молекулы аминокислот, углеводов и фосфатов при условиях, оптимальных для жизни, являются термостабильными. Этим и объясняется их широкое распространение не только на Земле, но и в Космосе.

Кроме углерода большое значение для жизненных процессов имеет фосфор, входящий в их соли — фосфаты, при расщеплении которых выделяется необходимая организму энергия. Поэтому, видимо, количество фосфора в живых организмах превышает его количество в любых других средах, исключая лишь литосферу.

12.3.2. Мономеры и макромолекулы

Живые организмы образуются из всевозможных малых органических молекул — мономеров, которые при объединении создают макромолекулы; в биохимии их называют также *биологическими молекулами*, представляющими собой полимерные цепочки.

Процесс строительства биомолекул из мономеров обратим: макромолекулы могут разлагаться до мономеров, что происходит, например, в желудочно-кишечном тракте животных. Биомолекулы пищи распадаются до молекул-мономеров, которые затем всасываются в кровь и используются живым организмом для создания тех макромолекул, которые нужны именно этому организму.

В биохимии особую роль играют три класса малых молекул-мономеров: аминокислоты, нуклеотиды и моносахариды. Они служат теми «кирпичиками», из которых затем строятся полимерные биологические макромолекулы — белки, нуклеиновые кислоты и полисахариды. Размер мономеров 0,5 — 1 нм, в то время как макромолекулы достигают размеров от 3 до 300 нм. Диаметр атомов углерода, кислорода, азота и водорода, из которых в основном и состоят биологические молекулы, составляет около 0,4 нм; диаметр молекулы аминокислоты — 0,5 нм; диаметр небольшого белкового образования — 4 нм, хромосомы ~ 1 нм. Однако атомы в 100000 раз меньше клетки, а диаметр клетки в 100000 раз меньше человеческого роста. Английский ученый **Дж. Кендрию** [64] приводит такое сравнение: если увеличить дождевую каплю до размеров земного шара, то атом будет размером с человека, а его ядро — размером с бактерию.

В дополнение к рис. 6.8 и 6.9 по масштабам макро- и микромира можно привести для сравнения характерные размеры и других объектов. Толщина человеческого волоса 0,1 мм, расстояние до линии горизонта на уровне моря 4 км, окружность эква-

тора Земли 40000 км, расстояние до Луны всего в 10 раз больше экватора — 400000 км, до Солнца $1,5 \cdot 10^8$ км. Радиус Вселенной предполагают равным от $8 \cdot 10^9$ до $2 \cdot 10^{10}$ световых лет.

Исходя из атомных характеристик можно объяснить поведение и малых, и больших макромолекул. Органеллы, клетки и живые организмы являются просто совокупностями макромолекул. Применяя методы статистического описания элементарных единиц жизни на квантовом уровне, можно попробовать описать жизненные процессы как поведение атомов в рамках синергетического подхода. В этом смысле жизнь определяет квантово-механическая динамика атомной структуры вещества живого организма.

Все живые организмы содержат четыре основных класса органических веществ — белки, нуклеиновые кислоты, углеводы и липиды. Рассмотрим кратко эти классы биополимеров.

12.3.3. Белки

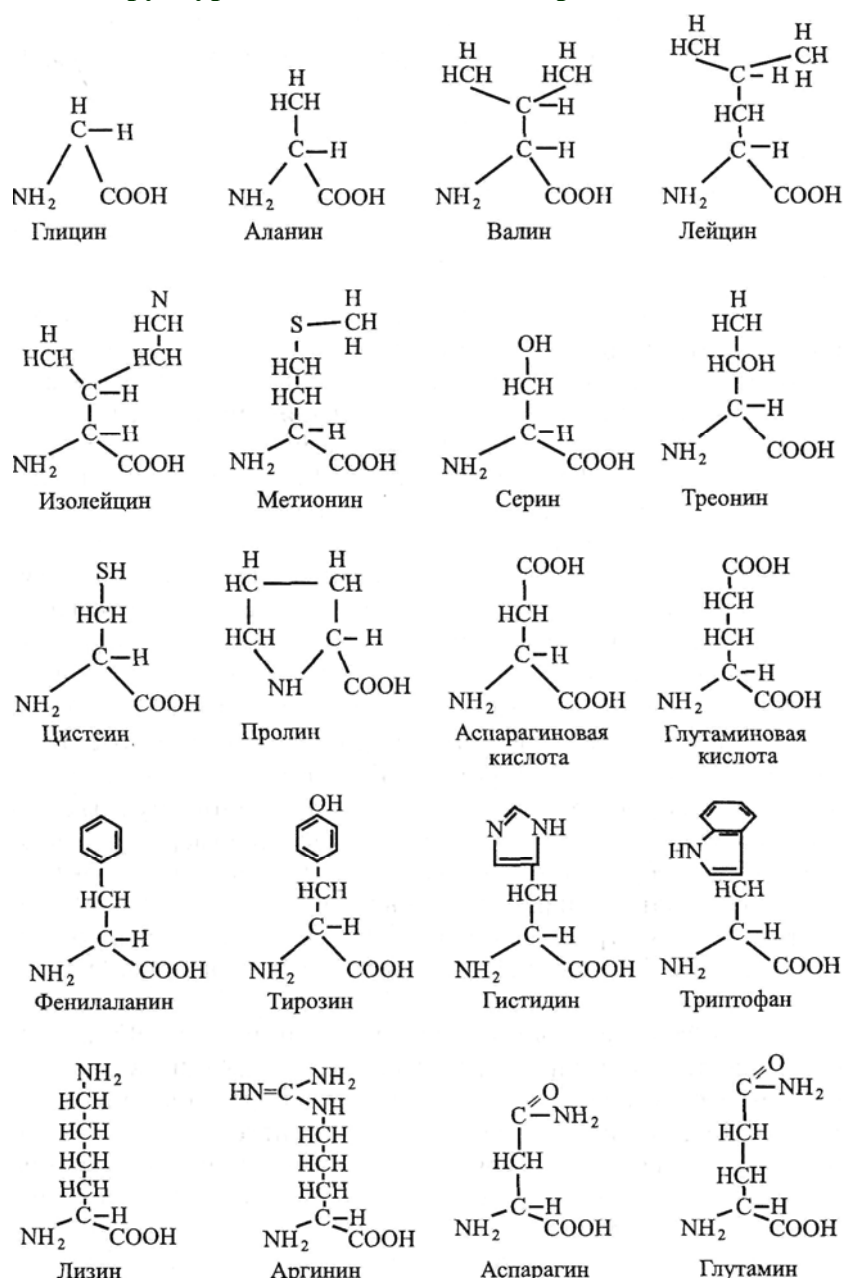
Широкий диапазон выполняемых белками функций находит свое отражение в разнообразии их химических структур и пространственных форм. На рис. 12.2 показана структура белка — миоглобина, который содержится в мышцах животных и человека. Белковая цепь миоглобина свернута таким образом, что несколько отдельных ее участков оказываются сближенными в пространстве и формируют центр для образования гема (он на рисунке показан черным) — железосодержащую группу, способную присоединить кислород. Следует особенно подчеркнуть роль белков в организации живого вещества. Белки представляют собой полипептидные последовательности 20 стандартных аминокислот. Синтез белка осуществляется путем последовательной

поликонденсации отдельных аминокислотных остатков, от amino (N) конца полипептидной цепи к ее карбоксильному (C) концу.

Карбоксильная группа ($-\text{COOH}$) и amino-группа ($-\text{NH}_2$) каждой из аминокислот присоединяется к одному и тому же атому углерода C. К этому же атому C присоединится и одна из многих возможных боковых групп, образуя ту или иную аминокислоту (рис. 12.3). Из этого рисун-

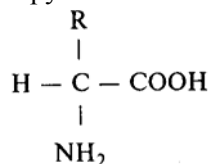
Рис. 12.2. Структура белка-миоглобина.



Рис. 12.3. Структуры 20 аминокислот, встречающихся в белках.

317

ка видно, что все они, за исключением пролина, имеют одинаковую основу и отличаются только строением боковой группы R:



Все используемые организмом в белках 20 аминокислот различаются этими присоединенными атомами или соединениями. В организме человека синтезируется 12 аминокислот, 8 должны поступать с пищей. Всего в клетках и тканях может содержаться до 170 аминокислот. Таким образом, аминокислоты являются для макромолекулы белка мономерами. Белок, содержащий тысячи аминокислот, синтезируется в живой клетке за 5 — 6 мин.

Свойства белков определяются пространственной трехмерной структурой их цепей. Такая пространственная форма очень чувствительна к температуре окружающей среды. При повышении температуры белок денатурируется — теряет свою пространственную конфигурацию, а вместе с ней и биологические свойства. У живых организмов это происходит при температуре около 60 °С. Эти белковые цепи могут самопроизвольно свертываться в строго определенные структуры, геометрия и динамика которых

определяется составом и порядком аминокислотных остатков в цепи. Поскольку синтезирующиеся полимеры находятся в водном растворе организма в виде статистического клубка, то они не образуют стабильных и идентичных для всех макромолекул трехмерных структур. Функциональность и специфичность белка зависит от генетического кода ДНК и исполнения его в РНК.

Белки — строительный материал в живой природе. В них преобразуется тепловая энергия хаотического движения в энергию более высокого порядка — механическую и энергию стереоспецифических внутримолекулярных взаимодействий. Если в неживой природе тепловая энергия рассеивается при установлении равновесия, то роль белков в живой природе заключается в преобразовании тепловой энергии хаоса в нужные для развития и функционирования живого организма виды энергии. Поэтому белки обладают способностью взаимопревращения всех необходимых для жизни энергий (тепловой, механической, химиче-

318

ской, световой), а также уникальной способностью зарождения из хаоса упорядоченной структуры молекул живого организма.

Эта способность и обусловлена их пространственной химической структурой. Причем белок может иметь первичную, вторичную, третичную и четвертичную структуры. Под первичной понимают химическую, структурную формулу белка, представленную в виде линейной последовательности аминокислотных остатков и определяющую порядок их чередования. Остальные структуры — это различные уровни этой линейной последовательности в пространстве. Вторичная структура представляет собой спираль, в которой отдельные аминокислоты соединены водородной связью, третичная образует клубок (глобулу) из белка одной природы, а четвертичная — клубок из белковых глобул, различных по своей природе и структуре.

Взаимодействие между отдельными участками цепи определяется характером химической связи (водородной, ковалентной, ионной) и ранее рассмотренной последовательностью расположения аминокислот в полипептидной цепи. После соединения аминокислот в определенной последовательности цепь автоматически закручивается, образует петли и свертывается в присущую ей правильную структуру, т.е. происходит самосборка белковых молекул в трехмерном пространстве. Если многократно растягивать полипептидную связь и затем отпускать, то она всегда будет восстанавливаться в присущую для каждого вида цепи структуру.

Изменяя в цепи лишь одну аминокислоту, можно получить молекулу с совершенно другой структурой и иными свойствами. Цепь длиной уже в 1000 звеньев открывает безграничные возможности формирования таких свойств белка, которые полностью отсутствуют в каждой отдельной молекуле. Огромное разнообразие живых организмов на Земле в основном определяется различиями в составе и пространственной форме составляющих их белков. Например, глобулярные белки принимают участие в катализе, транспорте, регуляции, а фибриллярные белки (коллаген, кератин и фиброин шелка) играют структурную роль. Коллаген — наиболее распространенный белок у млекопитающих — образует основу сухожилий, костей, кожи и хрящей. Структурной единицей коллагенового волокна является тропо-коллагеновая молекула, состоящая из трех полипептидных цепей, каждая из которых содержит около 1000 аминокислотных остатков. Белки-глобины участвуют в переносе кислорода.

319

Глобулярный белок — гемоглобин — входит в состав красных клеток крови — эритроцитов, обуславливает красный цвет крови и обладает способностью связывать молекулярный кислород. Одна его молекула присоединяет к себе одновременно четыре молекулы кислорода. При этом в легких, где давление кислорода более высокое, происходит присоединение кислорода к гемоглобину, в тканях, где давление более низкое, кислород освобождается и происходит его диффузия в клетки. В клетке кислород взаимодействует с белком — миоглобином, который тоже может связывать кислород, но только одну его молекулу. Таким образом, молекулы кислорода переходят от гемоглобина к миоглобину и хранятся там до тех пор, пока они не потребуются. Миоглобин тоже красного цвета и придает красный цвет мясу.

Все биосистемы содержат белки, которые отвечают за фундаментальные свойства живого: разнообразие его органического мира, избирательность и эффективность процессов жизнедеятельности, целесообразность форм организмов, самоорганизацию живой материи; они — активное начало жизни. В чистом виде белок является веществом белого цвета или бесцветным, что и определяет его название.

Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

$$\text{H}_2\text{N}-\text{CO}-\text{NH}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{NH}_3$$

мочевина вода диоксид углерода аммиак

320

12.3.4. Нуклеиновые кислоты

В качестве мономеров нуклеиновые кислоты содержат элементы аминокислот. Мономерные звенья цепи нуклеиновых кислот называются *нуклеотидами*. Каждый нуклеотид состоит из трех частей: азотсодержащего основания, пятиуглеродного сахара (пентозы) и одной или нескольких фосфатных групп, соединенных ковалентными связями с пентозой, которая также ковалентно связана с одним из возможных азотсодержащих оснований (рис. 12.4). Такими основаниями являются цитонин (Ц), тимин (Т), аденин (А) и гуанин (Г). В любой молекуле ДНК образуются звенья, в

Рис. 12.4. Строение нуклеотида — мономера нуклеиновых кислот.

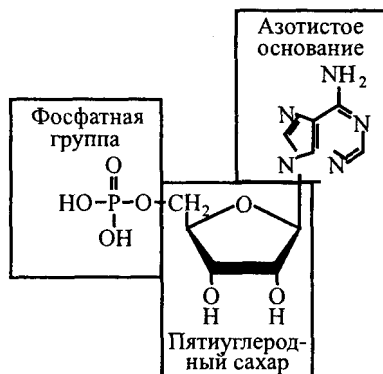
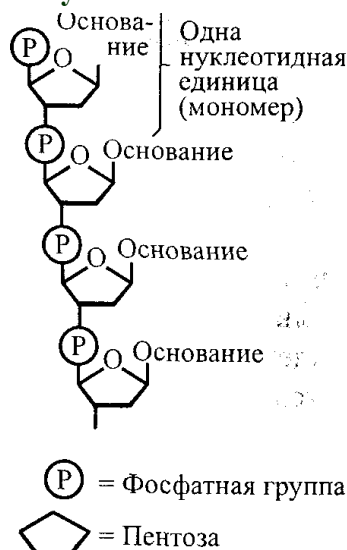


Рис. 12.5. Двойная спираль молекулы ДНК.

которых молекулы азотистых оснований состоят из пар Ц — Г и А — Т и образуют как бы закрученную «винтовую лестницу со ступеньками» из пар перечисленных нуклеотидов. Сами нуклеотиды содержат атомы кислорода, углерода, азота и фосфора. Пары цитонин — гуанин и аденин — тимин являются термодинамически более стабильными, чем другие основания, что важно для стабильности жизни. Такая структура образует знаменитую двойную спираль ДНК, расшифрованную американским биохимиком **Дж. Уотсоном (р. 1928)** и английским физиком **Ф. Криком (р. 1916)** в 1953 г. Спираль ДНК состоит из двух цепей, закрученных одна вокруг другой (рис. 12.5). Расположение этих четырех типов пар в молекуле ДНК дает указание молекуле РНК, как надо строить белок. Установлено, что в живом организме эти цепи могут состоять из миллионов пар в ряду и свернуты в клубки, подобно белковым молекулам. Подсчитано, что число возможных вариантов комбинаций пар огромно: из четырех звеньев количество вариантов составляет около 100 миллионов. Такое разнообразие строения молекул ДНК обеспечивает и разнообразие живых организмов. Моносахарид в виде пентозы или гексозы (6-атомный сахар) может входить в состав нуклеотида в виде β -D-рибозы и β -D-дезоксирибозы. Поэтому нуклеотиды, содержащие рибозу, называются рибонуклеотидами и являются мономерными звеньями в молекуле РНК, а содержащие дезоксирибозу, — дезоксирибонуклеотидами и образуют молекулы ДНК.

Нуклеотиды, полимеризуясь в молекулу нуклеиновых кислот, присоединяются друг к другу так, что фосфатная группа каждого следующего нуклеотида связана с сахаром предыдущего нуклеотида, в результате чего образуется длинная цепь, называемая сахаро-фосфатным остовом молекулы (рис. 12.6). Основания располагаются по одну сторону от этого остатка. Поскольку молекула ДНК состоит из двух цепей, ее можно сравнить также

с

Рис. 12.6. Построение нуклеиновой кислоты из нуклеотидов.

веревочной лестницей, где роль «веревочек» играют сахаро-фосфатные остовы, а «перекладины» — основания, расположенные перпендикулярно оси спирали.

Молекулы РНК бывают трех типов: матричная или информационная (мРНК), транспортная (тРНК) и рибосомная (рРНК). Молекула мРНК является копией {транскриптом} соответствующей ДНК. Этот транскрипт служит матрицей для синтеза белка. Каждые три пары последовательных оснований мРНК (они называются *кодоном*) дают один аминокислотный остаток. Молекулы тРНК в процессе синтеза белка переносят специфичные аминокислотные остатки к определенному участку мРНК. рРНК образует рибосому. Порядок расположения нуклеотидов в молекулах ДНК и РНК определяет порядок расположения аминокислот и их воспроизведение в первичных структурах белков. Таким образом, через молекулы ДНК и РНК передается информация о наследственных свойствах биологических структур и реализуется механизм наследственности.

12.3.5. Углеводы

Углеводы (состоящие из углерода и воды) — это большая группа природных органических соединений $C_m(H_2O)_n$, где m и n могут быть разными. Химические свойства углеводов определяются гидроксильной группой OH , они первичные продукты фотосинтеза и основные исходные продукты биосинтеза других веществ в растениях. Роль мономеров в углеводах играют *моносахариды*: глюкоза и фруктоза. В состав простых сахаров входят атомы углерода, водорода и кислорода в соотношении 1:2:1 (например, $C_6H_{12}O_6$):

Моносахариды обеспечивают организм необходимой энергией, причем сахара — это источник быстро получаемой энергии, потому что они легко переходят в форму, пригодную для удовлетворения энергетических потребностей организма. Простые

323

сахара могут соединяться с образованием более крупных молекул дисахаридов и полисахаридов. Дисахариды подразделяются на тростниковый сахар (сахароза), солодовый сахар (мальтоза) и молочный сахар (лактоза); они образуются соответственно в растениях тростника, свеклы, солода или в молоке. Извлеченная из тростника или свеклы сахароза называется сахаром.

Из моносахаридных звеньев образуются разветвленные полимерные цепи, не растворимые в воде и не сладкие на вкус. Они называются *полисахаридами*. Так, полисахарид животного происхождения гликоген является полимером глюкозы, которая запасается в печени организма. В растениях глюкоза хранится в виде крахмала, например в картофеле. Растения синтезируют также другой полимер глюкозы — целлюлозу. Гликоген, крахмал и глюкоза построены из мономеров глюкозы, но с разными химическими связями. Волокна из целлюлозы желудок человека не переваривает, но они играют важную роль в рационе нашей пищи, так как придают ей объемность и грубую консистенцию, стимулирующие перистальтику желудка.

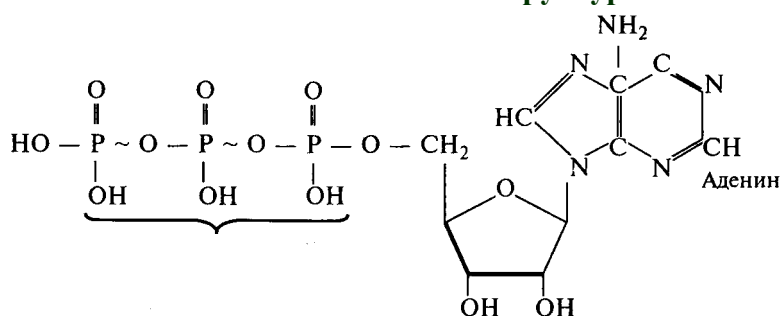
Крахмал и гликоген для растений и животных являются пищей и играют роль поставщика и резерва энергии. Целлюлозу наряду с пищей для бактерий, грибов и некоторых видов жвачных животных используют в природе и технике как строительный материал: из нее состоят бумага и хлопчатобумажные ткани и до 40% клеточных стенок растений. Каждый из углеводов имеет определенный химический состав и структуру.

В живых клетках простые сахара расщепляются до диоксида углерода (CO_2) и воды с выделением энергии, запасенной в молекулах сахара, которую клетки используют для самых разнообразных своих потребностей: синтеза белка, активного транспорта белков, выведения отходов, процессов клеточного дыхания и обмена, сокращения мышц, деления клеток, различных биохимических реакций и др. Источником энергии для всех этих видов биологической активности служат органические молекулы, в которых запасена химическая энергия, выделяемая при разрыве химических связей.

Во всех организмах содержится нуклеотид аденозинтрифосфат (АТФ), который образуется, в частности, при расщеплении сахара (рис. 12.7). АТФ состоит из трех фосфатных групп и остатков азотистого основания (аденина) и остатка сахара (рибозы). При разрыве каждой из двух химических связей, обозначенной

324

Рис. 12.7. Структура АТФ.



волнистой линией на рисунке, выделяется много энергии. Каждая из фосфатных групп может быть отщеплена путем растворения в воде, образования ортофосфата или неорганического фосфата F_H и аденозиндифосфата АДФ:

$\text{АТФ} \rightarrow \text{АДФ} + \text{F}_\text{H} + \text{энергия}$.

Процесс идет поэтапно с выделением свободной энергии:

$\text{АТФ} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{АДФ} + \text{F}_\text{H} + \text{H}^+$, $\Delta G = -30$ кДж/моль;

$\text{АДФ} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{АМФ} + \text{F}_\text{H} + \text{H}^+$, $\Delta G = -30$ кДж/моль;

$\text{АМФ} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{аденозин} + \text{F}_\text{H} + \text{H}^+$, $\Delta G = -13$ кДж/моль,

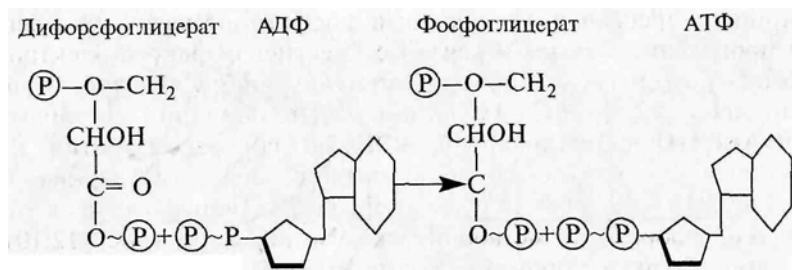
где H^+ — положительный ион водорода, ΔG — изменение свободной энергии, выделяемой при отрыве концевой фосфатной группы. Обычно клетки извлекают энергию из АТФ во время клеточного дыхания, отщепляя от его молекулы только одну фосфатную группу. Процесс получения свободной энергии схематически показан на рис. 12.8, а процесс образования самой молекулы АТФ —

Рис. 12.8. Схема получения свободной энергии с участием АТФ.



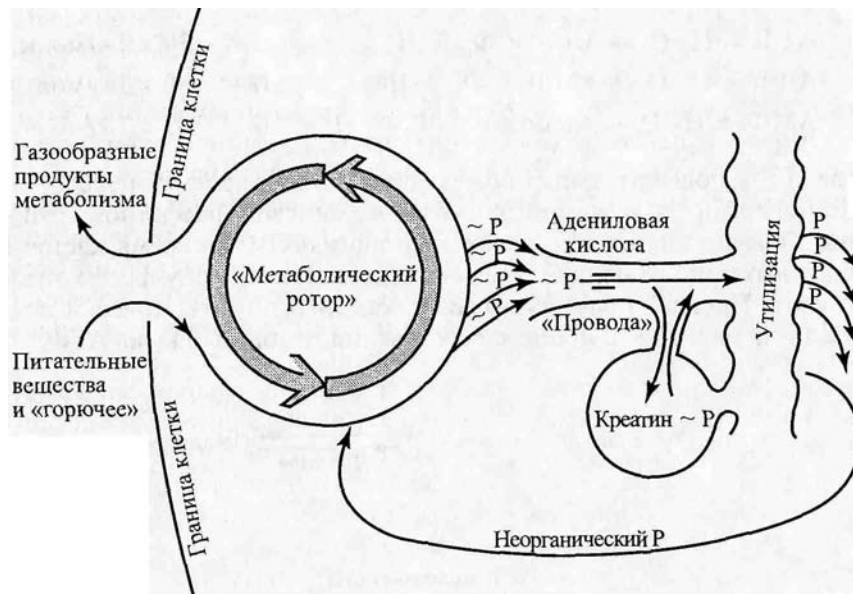
325

Рис. 12.9. Схема образования молекулы АТФ.



на рис. 12.9. В работе [12] П. Кемп и К. Армс роль АТФ в получении и обмене энергии в клетке сравнивают с ролью денег в нашей жизни. Клетка нуждается в АТФ так же, как и мы в наличных деньгах для платы за наши покупки и удовольствия, клетка с избыточным количеством АТФ может синтезировать питательные вещества (например, те же сахара), вкладывая эти «сбережения» энергии в банк, т.е. в АТФ, которые затем можно пустить в дело в виде «живых» денег для удовлетворения своих нужд.

Рис. 12.10. Схема цикла Липмана по участию молекул фосфора в энергетических процессах живого организма.



326

Процесс превращения энергии в фосфатной связи определяется процессами осмоса и связан с энергией переноса электронов, а фосфагены — молекулы, аккумулирующие энергию, были обнаружены во всех живых организмах, от бактерий до животных. Американский биохимик Ф. Липман рассматривал их функции также как некую универсальную энергетическую «валюту» в биологических системах и сравнивал роль фосфора с током в своеобразном метаболическом генераторе (рис. 12.10). Фосфагены, как и гликогены, отличаются от других возможных аккумуляторов энергии тем, что они способны быстро удовлетворять энергетические потребности организма.

12.3.6. Липиды

Липиды — водонерастворимые органические углеводородные вещества, или содержащие их — присутствуют во всех живых клетках и тканях. Они очень разнообразны по составу и структуре, но обладают одним общим свойством: их молекулы неполярны. Поэтому они растворимы в неполярных жидкостях, например в эфире, но нерастворимы в воде. Нерастворимость в воде делает липиды важнейшим компонентом мембран, разделяющих в живых организмах, и в частности в клетках, отсеки, заполненные водным раствором. Кроме АТФ сахаров — липиды — главная форма хранения энергии в животном организме, так как липиды, в отличие от углеводов в виде сахаров, могут сохраняться в концентрированном виде без воды.

Любое избыточное количество сахара, съеденное человеком и не израсходованное им сразу же на энергетические потребности, быстро превращается в жир. Чтобы иметь оптимальные размеры тела, надо тратить энергию, двигаться, работать, а не накапливать свой жир про запас! А бегунам на длинные дистанции (марафонцам), наоборот, для пополнения запаса энергии во время бега дают глюкозу. На представлениях об углеводах

По своим функциональным качествам липиды разделяются на три группы:

- структурные и рецепторные элементы мембран и клеточных поверхностей;
- «депо» энергии;
- передатчики биологических сигналов.

327

Рис. 12.11. Структура ненасыщенных (а) и насыщенных (б) жирных кислот.

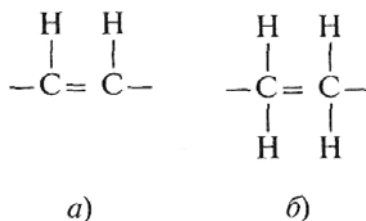
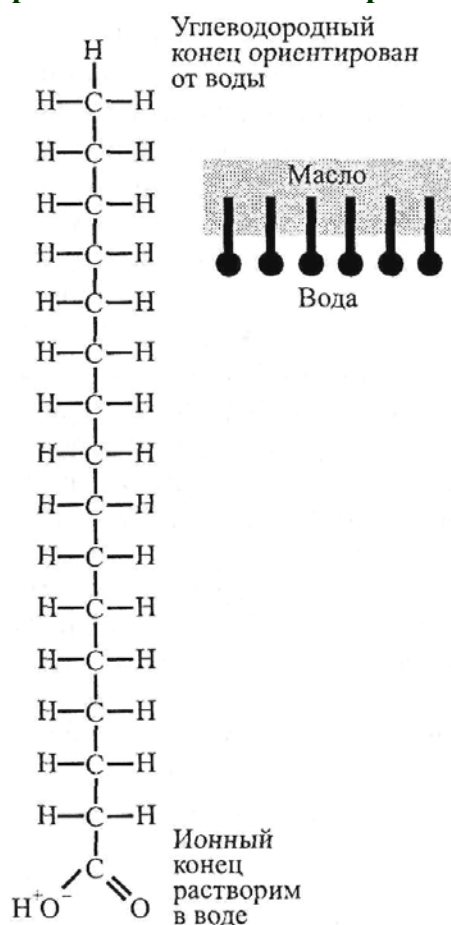


Рис. 12.12. Растворение ионного конца жирной кислоты в воде.



Жирные кислоты содержат молекулы с длинной цепью из атомов углерода и водорода с карбоксильной группой (—COOH) на одном из концов. В насыщенной жирной кислоте нет ненасыщенных связей между атомами углерода, а в ненасыщенной они есть (рис. 12.11), т.е. ненасыщенные кислоты содержат двойные и (реже) тройные связи. Карбоксильный конец любой молекулы жирной кислоты полярен и поэтому растворим в воде. Это связано с тем, что карбоксильная группа (ионный конец) диссоциирует, а сама длинная углеводородная цепь нерастворима в воде. Благодаря этой особенности молекулы жирных кислот располагаются на поверхностях раздела между водой и неполярными органическими веществами, например маслом, и ориентируются так, что их ионные концы обращены к воде (рис. 12.12). Известный всем эффект действия мыла на жир состоит в том, что мыло, содержащее модифицированные жирные кислоты,

очищает загрязненные поверхности, удаляя с них капельки масла или жира. Молекулы мыла окружают такую капельку, и их углеводородные цепи растворяются в

328

Рис. 12.13. Растворение углеводородных цепей мыла в масле.



масле (рис. 12.13). Водорастворимые карбоксильные группы выходят наружу, т.е. находятся в воде. В результате этого процесса капля растворяется в воде, отделяется от загрязненной поверхности и всплывает.

Триацилглицеролы содержат молекулы, которые образованы в результате присоединения трех остатков жирных кислот к одной молекуле трехатомного спирта. К этой группе относятся масла (жидкие) и жиры (твердые). В маслах больше ненасыщенных жирных кислот, чем в жирах. В организмах животных, обитающих в холодном климате, например рыб арктических морей, содержится больше ненасыщенных триацилглицеролов, чем у обитателей теплого климата. Биологи отмечают, что благодаря этому тело этих рыб остается более гибким и при низких температурах. Согласно биохимии это связано со стойкостью к расщеплению насыщенных жирных кислот. К двойной связи атомов углерода ненасыщенной кислоты может присоединиться дополнительная пара атомов водорода.

Кроме того, что жиры обеспечивают до 30% энергопотребности организма, они играют важную роль в организме. Накапливаясь в жировых тканях, окружающих внутренние органы, жиры обеспечивают механическую защиту и теплоизоляцию организма, а также образуют мягкую упругую подкладку в тех местах, которые подвергаются механическому воздействию. С жирами в организм человека поступают вещества, обладающие высокой биологической активностью, — витамины А, D, Е, К, лецитин и другие стеринны, регулирующие жировой и холестериновый обмен.

В молекулах *фосфолипидов* один или два остатка жирных кислот заменены группами, содержащими фосфор, иногда азот. Фосфолипиды являются важными компонентами многих мембран. *Стероиды* — это липиды, состоящие из четырех колец, к которым присоединены различные боковые группы. К ним относится ряд гормонов. *Гормоны* — вещества, производимые специальными тканями высших живых организмов и передающие специфические химические сигналы. Их функция состоит в передаче информации от клеток-датчиков, находящихся в непосредственном контакте с окружающей средой. Гормоны легко рас-

329

пространяются по всему организму и когда освобождаются вырабатывающей их тканью, то все органы и ткани, способные реагировать на них, делают это почти одновременно. Благодаря такой согласованной реакции все части организма приходят в состояние, наиболее соответствующее условиям внешней среды.

К стероидам относится также *холестерол* — важный компонент клеточных мембран. Представителем группы стериннов является холестерин. Кроме регулирования проницаемости мембран он участвует в образовании желчных кислот, гормонов половых желез и коры надпочечников, витамина D в коже. Холестерин содержится только в животных продуктах и присутствует в крови в виде двух фракций: более твердой, плохо растворимой (высокой плотности) и жидкой (низкой плотности). Избыток его первой фракции в организме приводит к образованию камней и холестериновых «бляшек» в сердечно-сосудистой системе. Витамины — это малые органические молекулы. Они имеют высокую биологическую активность даже в небольшой концентрации, разделяются на жирорастворимые (А, D, Е, К) и водорастворимые (В, С, Н, Р).

Обобщая обзор биохимических элементов, принимающих активное участие в процессах жизнедеятельности биологических объектов, отметим, что «азбука» живого — это 20 аминокислот, пять оснований, два углевода и один фосфат. Существование небольшого числа одних и тех же молекул во всех живых организмах показывает, что все

живое должно, по-видимому, иметь единое происхождение.

12.3.7. Роль воды для живых организмов

В заключение параграфа 12.3 о биохимии живого вещества рассмотрим роль воды в жизни, поскольку из нее в основном состоят почти все живые существа, да и сама жизнь, по гипотезе Опарина, зародилась в теплом первобытном океане. Вода является одним из наиболее распространенных веществ на Земле и покрывает большую часть поверхности нашей планеты. Как заметил Антуан де Сент-Экзюпери (1900—1944), «нельзя сказать, что вода необходима для жизни — она и есть жизнь».

Всеобъемлющая роль воды для жизни обусловлена ее уникальными свойствами. Молекулы воды связываются друг с другом водородной связью и обладают полярными свойствами. Это позволяет воде быть очень хорошим растворителем, в котором происходит диссоциация, и ионы растворенного вещества легче

330 перемещаются в растворе. Активность биохимических реакций в водной среде клетки значительно возрастает. Молекулы воды при диссоциации «растаскивают» ионы полярных молекул. Например, растворение в воде поваренной соли NaCl : отрицательные ионы гидроксида OH^- притягивают положительные ионы Na^+ , а положительные протоны H^+ или ионы гидроксония H_2O^+ — отрицательные ионы Cl^- . В этом проявляются *гидрофильные свойства* веществ с полярными молекулами.

Неполярные соединения, например липиды, в воде не растворяются и образуют с водой поверхности раздела, которые «работают», как мембраны. Именно на этих поверхностях протекают многие химические реакции, и физика процессов не только перемещений ионов и электронов в клетке, но и потоков воды во многом зависит от поверхностных свойств. Молекулы воды могут слипаться друг с другом (*когезия*) и с другими веществами (*адгезия*), в частности, сильное поверхностное натяжение воды обусловлено адгезией. Кроме того, полярные молекулы воды сильно притягиваются любой электрически заряженной поверхностью. Вещества с неполярными молекулами обладают *гидрофобными* свойствами.

Поэтому вода является не только средой, где протекают биохимические реакции, но и активным участником различных кинетических процессов переноса веществ в организме. Вода имеет высокие теплопроводность и теплоемкость. Благодаря первому свойству тепло от происходящих химических реакций равномерно распределяется по объему и устраняется перегрев организма. В силу высокой теплоемкости даже для незначительного повышения температуры организма требуется большее количество энергии. Высокие теплофизические свойства воды обеспечивают стабильность среды организма и постоянство протекания биохимических процессов при низких температурах, имеющих место в нормальном живом организме теплокровных животных. Высокая теплоемкость воды позволяет океанам поглощать и отдавать огромные количества тепла без значительного изменения температуры воды и воздуха, что обеспечивает относительное постоянство температуры окружающей среды, необходимое для протекания биологических процессов. Тепловые свойства воды наиболее подходят для функционирования организма, например, высокая температура кипения воды, обусловленная большой скрытой теплотой кипения и парообразования, с одной стороны, обеспечивает жизнедеятельность организма при низких температурах (в газообразном состоянии молекулы веществ просто раз-

331 летались бы!), а с другой, — означает, что поскольку на испарение требуется энергия, то при процессе испарения происходит охлаждение организма (это мы неоднократно ощущаем на себе: перегрев тела устраняется потоотделением).

Вода по сравнению с другими жидкостями имеет высокую температуру замерзания и при образовании льда выделяет значительную теплоту кристаллизации, что уменьшает вероятность замерзания воды в клетках организма. Максимальная плотность воды наблюдается при $4\text{ }^\circ\text{C}$, т.е. выше температуры замерзания. Поэтому при охлаждении от $4\text{ }^\circ\text{C}$ до $0\text{ }^\circ\text{C}$ плотность воды в жидком состоянии больше, чем в твердом, и лед образуется сначала у поверхности воды и только затем нарастает до дна (например, водоема или реки). С позиции сохранения жизнедеятельности в водной среде это очень важно, так как наружный лед изолирует водоем от внешнего холода, а вода со дна при температурах выше $4\text{ }^\circ\text{C}$, поднимаясь вверх, способствует переносу питательных веществ по всему объему воды и сохранению жизни. Что касается внутренней водной среды организма, то

образование льда, проходящее с увеличением объема, разрушает тонкие структуры клеток и вызывает их гибель, как и гибель всего организма в целом.

Удивительным фактом можно считать, что вода, являясь основой жизни на Земле, до сих пор не слишком хорошо исследована на молекулярном уровне и во многом остается субстанцией с таинственными свойствами, выделяющими ее из всех остальных веществ. Так, недавно в воде были обнаружены кластеры молекул воды, которые образуются в результате самосборки. Они изменяют структуру воды и могут играть роль ячеек памяти.

12.4. Клетка как элементарная частица молекулярной биологии

Onnis cellula ex cellula. (Каждая клетка из клетки.)

Вирхов

Все живое состоит из клеток. Поэтому, чтобы ответить на кардинальный вопрос: «Что такое жизнь?», надо понять, в том числе, как работает живая клетка, из чего она состоит и как устроены отдельные ее элементы. Конечно, в нашем курсе это будет беглое знакомство в рамках представлений концепции совре-

332

менного естествознания. (Более глубокие и подробные сведения можно получить из учебников по биологии и книг, рекомендованных в конце учебника.)

Надежно установлено, что все живое состоит из клеток как дискретных единиц, подобно тому как неживое вещество — из дискретных атомов и молекул и развивается из клеток, которые можно считать мельчайшими единицами живой природы. Правда, жизнь может существовать и во внеклеточной форме — в виде *вирусов*. Вирусы — это совокупность макромолекул размером 20—300 нм, они состоят из нуклеиновой кислоты и белковой оболочки, называемой *капсидом*. Вирусы видеоспецифичны, размножаются только в живых клетках-«хозяевах», значительно меньше самых мелких клеток и не способны к самовоспроизведению. Поэтому именно клетка является структурной и функциональной единицей любого живого организма. Каждая клетка является микроносителем жизни, поскольку в ней заключена такая генетическая информация, которая достаточна для воспроизведения всего организма, причем этот носитель жизни *«подчинил свою собственную свободу деятельности организма в целом»*. Элементарные явления на этом уровне организации биологических структур обусловлены процессами обмена веществ. Благодаря деятельности клеток поступающие из окружающей среды вещества превращаются в субстраты, энергию и информацию, которые усваиваются в процессе биосинтеза белков в соответствии с генной программой ДНК.

На клеточном уровне сочетаются процессы передачи и переработки информации и превращения веществ и энергии, поэтому элементарные явления на клеточном уровне создают энергетическую и вещественную основу жизни на других уровнях. Целевой функцией клетки является сохранение ее под воздействием внешней среды, ее устойчивость как «единицы жизни», стремление поддержать стабильность протекающих в ней процессов. В настоящее время на Земле насчитывается свыше четырех миллионов видов клеточных организмов. Средний размер животной соматической клетки 10—20 мкм в диаметре, растительной — 30—50 мкм, масса клетки около — 10^{-8} — 10^{-9} г. Количество клеток у примитивных беспозвоночных достигает 10^2 — 10^4 , у высокоорганизованных животных — до 10^{15} — 10^{17} .

На протяжении всей жизни идет непрерывная замена старых клеточных структур на вновь образующиеся. Минимальный срок жизнедеятельности клеток человека — один-два дня. Ежедневно

333

погибает до 70 млрд клеток кишечного эпителия и 2 млрд эритроцитов. Клетки крови полностью заменяются через четыре месяца. Мы знаем почти поговорку: «Берегите нервы — нервные клетки (нейроны) не восстанавливаются». Да, они не размножаются, но на протяжении всей жизни непрерывно перестраиваются. И этот процесс можно сравнить на бытовом уровне с нашей жизнью в течение долгого времени в одном доме, но мы многократно изменяем в нем обстановку.

Клетке присущи все признаки живого: обмен веществ и энергии, реагирование на внешнюю среду (саморегуляция), рост, размножение путем деления (самовоспроизведение), передача наследственных признаков, способность двигаться и в целом самоорганизация. Клетка обладает как бы полнотой свойств жизни, что позволяет ей как самостоятельной единице живого существовать и отдельно: изолированные клетки

многоклеточных организмов могут жить и размножаться в питательной среде. Могут быть простейшие одноклеточные организмы (бактерии, некоторые водоросли и грибы) и многоклеточные (большинство животных и растений). Клетки всех живых организмов имеют похожий химический состав и сходное строение. Известно, что нет никаких особых атомов, характерных для живого.

Многоклеточные организмы содержат до несколько тысяч клеток и являются организованными совокупностями клеток, различных по форме, структуре и функциям, т.е. дифференцированными и дискретными системами. Однако организация клеток в организме построена по единому структурному признаку.

12.4.1. Строение клетки

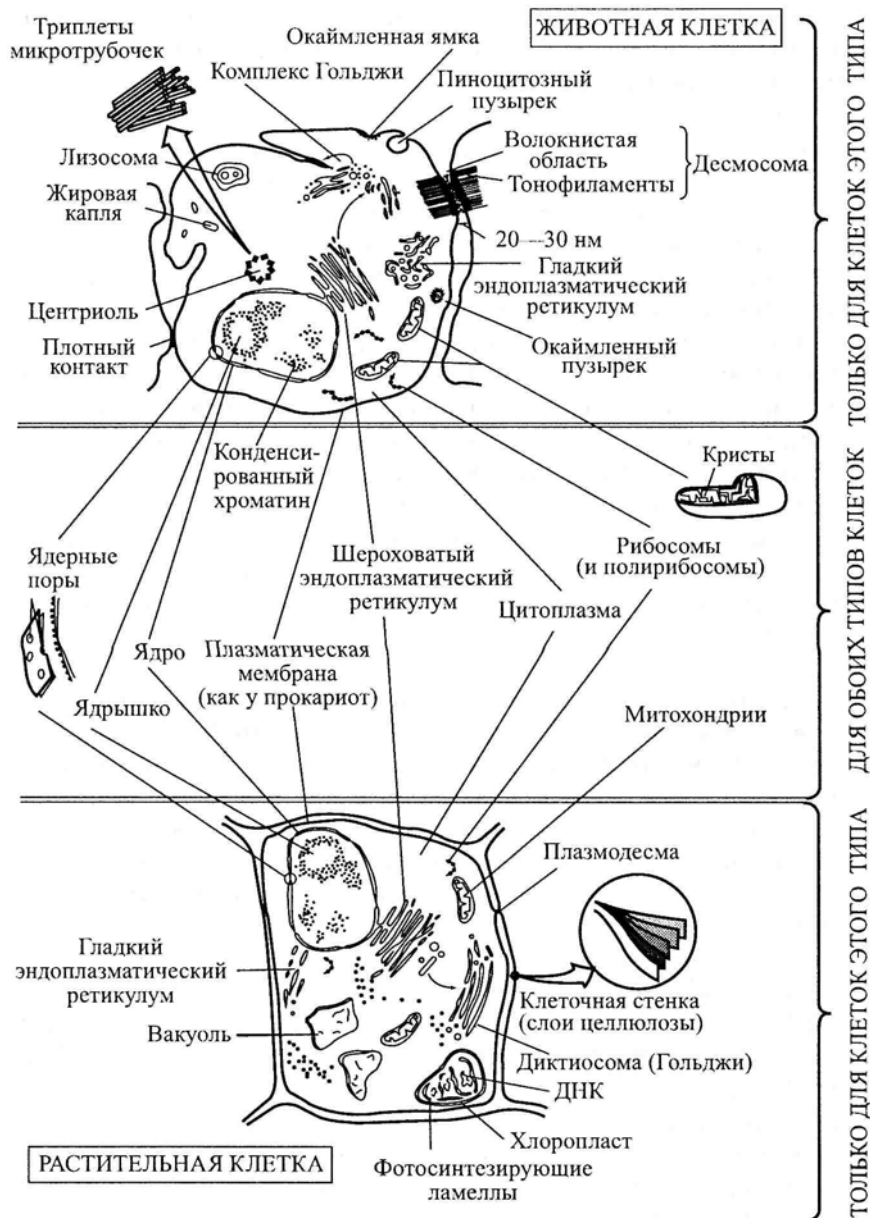
Клетки животных и растений различаются, но для них можно выделить три главные общие части:

- цитоплазму,
- клеточную, или плазматическую, мембрану, отделяющую цитоплазму от окружающей среды,
- клеточное ядро (рис. 12.14).

Живое вещество клетки (протоплазма) представляет собой студнеобразную массу и содержит множество структурных элементов меньшего размера, чем сама клетка, которые называются *органеллами*. Наружная часть протоплазмы называется клеточной мембраной, а внутренняя часть — цитоплазмой, состоящей из воды (80%), белка и аминокислоты (10%), углеводов (5%).

334

Рис. 12.14. Строение клетки.



335

Цитоплазму и протоплазму, как ее живую субстанцию, можно считать тем живительным микроокеаном, где процессы диссимиляции и ассимиляции обеспечивают переход от неживого к живому. В них и происходит обмен веществ. Задача протоплазмы состоит в обеспечении структурной основы обмена веществ, пространственного размещения молекулярных компонентов клетки, связанных с их движением и обеспечением процессов жизнедеятельности. По существу, протоплазма является совокупностью не только материальных компонентов, содержащихся в ней, но и процессов, обеспечивающих метаболизм. Поскольку протоплазма заполнена разными органеллами, внутриклеточными белковыми молекулами, составляющими *цитоскелет*, или *клеточный матрикс*, то можно ее считать упорядоченной структурой.

Органеллы — это рабочие субстанции клетки, выполняющие те или иные функции: производят энергию или приводят клетку в движение, служат для разделения клетки на области (или для выделения внутри нее областей) с разными условиями и содержат разные наборы молекул. К органеллам относятся ядра, эндоплазматический ретикулум, рибосомы, лизосомы, митохондрии, жгутики, комплексы Гольджи, хлоропласты.

Ядро содержит полимерные молекулы дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК), в которой закодирована вся информация о данном виде, и является хранителем генетической информации. В ряде одноклеточных организмов, называемых прокариотическими, ядро может отсутствовать. Роль хранителя генетической информации в них играет нуклеотид, не имеющий оболочки и состоящий из одной ДНК размером 1—5 мкм. Клетки, имеющие четко выраженные ядра, отделенные мембраной от остальной цитоплазмы, называются эукариотическими, их размер — 10—50 мкм. Размеры органелл составляют от 20 нм до 5 мкм (рибосомы ~20 нм, ядра, митохондрии,

хлоропласты ~ 1—5 мкм).

Образное сравнение размеров клетки и содержащихся в ней веществ приводит английский ученый Дж. Кендрию [64]: *«Представьте себе, что увеличили человека до размеров Великобритании, тогда клетка имеет размер фабричного здания. Внутри клетки находятся содержащие тысячи атомов большие молекулы, в том числе молекулы нуклеиновой кислоты. Так вот даже при таком громадном увеличении, которое мы себе вообразили, молекулы нуклеиновой кислоты будут меньше электрических проводов».*

Эндоплазматический ретикулум (ЭР) — это система внутриклеточных мембран, каналов, пузырьков, трубочек, пронизы-

336
вающих цитоплазму, которые делят клетку на отдельные отсеки — компартменты. В ЭР для нужд самой клетки и других клеток организма синтезируются молекулы доставленного вещества. **Комплекс Гольджи** — характерная структура, состоящая из собранных в стопки дисковидных мембран, которые связаны друг с другом многочисленными пузырьками, отшнуровывающимися от ЭР. С помощью этих пузырьков, выполняющих транспортные функции, молекулы вещества, предназначенные для удаления из клетки и упакованные в гранулы, выводятся за пределы клетки.

Рибосома является сложной органеллой, в которой происходит синтез белка из аминокислот. Она также прикреплена к ЭР и состоит из комплекса молекулярных белков и рибонуклеиновой кислоты (РНК). **Жгутики** — белковые органеллы, отходящие от поверхности клетки в виде вытянутых отростков длиной 1—20 мкм. С помощью жгутика клетка перемещается в жидкой среде. **Митохондрия** представляет собой палочкообразную органеллу диаметром ~1 мкм и длиной около 7 мкм и имеет двойную мембрану. На внутренней мембране локализован фермент, ответственный за синтез аденозинтрифосфата (АТФ).

Митохондрии являются «микроэнергетическими станциями» клетки: в них происходят сложные биохимические реакции, в результате которых накапливается энергия за счет расщепления углеводов, жирных кислот, аминокислот, и превращение этой энергии в АТФ. АТФ является хранилищем внутриклеточной энергии, необходимой для процессов доставки, синтеза, транспортировки и выведения молекул из клетки. Количество митохондрий в клетке — до нескольких тысяч. Лизосомы — органеллы, перерабатывающие отходы, которые возникают в ходе метаболических процессов, расщепляя их на простые продукты, которые, растворяясь, покидают клетку через плазматическую мембрану. Они и представляют собой мелкие пузырьки, ограниченные мембраной.

В структуру растительной клетки дополнительно входят пластиды — **хлоропласты, хромопласты, лейкопласты**. Хлоропласт — органелла диаметром 5—10 мкм, состоящая из комплекса мембран, двойной наружной и внутренних в виде стопок дисков, содержащих компоненты фотосинтезирующего аппарата. В нем имеется хлорофилл, преобразующий внешнюю световую энергию в химическую энергию АТФ, которая расходуется на образование углерода из углекислого газа. Хромопласт содержит различные пигменты, а лейкопласты — крахмал. Все эти органеллы

337
вместе с цитоплазмой клетки отделяются друг от друга и внешней среды плазматической мембраной — полупроницаемым молекулярным барьером, контролирующим движение молекул и ионов в клетку и из клетки.

12.4.2. Процессы в клетке

Рассмотрим процессы, происходящие в клетке во время ее жизнедеятельности. В живой клетке должно поддерживаться постоянство состава веществ, что осуществляется контролируемым обменом веществ с помощью именно мембран, которые отделяют внутреннюю среду клетки (или внутри клетки) от внешней и являются границами клетки (или ее внутренних участков и тел в ней). Прохождение веществ через мембраны осуществляют липиды (с их водоотталкивающими свойствами) и белки, способные связывать воду, и оно реализуется через физические и биологические механизмы **диффузии, транспорта и осмоса**.

Диффузия — это процесс перемещения молекул или атомов из областей с большей их концентрацией (или давлением) в сторону областей с меньшей концентрацией (или давлением). Законы диффузии хорошо изучены и вполне применимы к перемещению

молекул в живом организме. Особенно важна для биосистем диффузия ионов в водных растворах. Не менее важна роль диффузии в переносе кислорода воздуха через стенки альвеол легких и попадании его в кровь человека.

Диффузия молекулярных ионов через мембраны осуществляется с помощью электрического потенциала внутри клетки. Обладая избирательной проницаемостью, мембраны играют роль «таможни» при перемещении товаров через границу: одни вещества пропускают, другие — задерживают, а третьи — вообще «выдворяют» из клетки. Роль мембран в жизни клеток очень велика. Гибнущая клетка теряет контроль над возможностью регулировать концентрацию веществ через мембрану. Первым признаком умирания клетки являются начинающиеся изменения в проницаемости и сбои в работе ее наружной мембраны.

Помимо обычного транспорта — кинетического процесса переноса частиц вещества под действием градиентов электрического или химического потенциала, температуры или давления — в клеточных процессах имеет место и *активный транспорт* — движение молекул и ионов против градиента концентрации веществ. Такой механизм диффузии назвали *осмосом*. Этот процесс

338 осуществляется за счет неодинакового осмотического давления в водном растворе по разные стороны биологической мембраны. Вода часто свободно проходит путем осмоса через мембрану, но эта мембрана может быть непроницаема для веществ, растворенных в воде. Любопытно, что вода течет против диффузии этого вещества, но подчиняясь общему закону градиента концентрации воды.

Поэтому вода стремится из более разбавленного раствора, где ее концентрация выше, в более концентрированный раствор вещества, в котором концентрация воды ниже. Не имея возможности непосредственно всасывать и откачивать воду, клетка осуществляет это с помощью осмоса, изменяя концентрацию находящихся в ней растворенных веществ. В результате осмоса выравниваются концентрации раствора по обе стороны мембраны. Активный транспорт в организме, в частности, используется в так называемом натрий-калиевом насосе, который извлекает ионы натрия из клетки и накачивает ионы калия в нее, используя для этого энергию АТФ.

Таким образом, клетка является открытой термодинамической системой, осуществляющей обмен веществом и энергией с окружающей средой, но сохраняющей определенное постоянство внутренней среды. Эти два свойства саморегулирующейся системы — открытость и постоянство — выполняются одновременно, причем за постоянство клетки отвечает обмен веществ (метаболизм). Обмен веществ является тем регулятором, который способствует сохранению системы, он обеспечивает целесообразное реагирование на воздействие окружающей среды. Поэтому необходимым условием обмена веществ является раздражимость живой системы на всех уровнях, которая выступает как фактор системности и целостности системы.

12.4.3. Клеточные мембраны

Мембраны могут менять свою проницаемость под воздействием химических и физических факторов, в том числе в результате деполяризации мембраны при прохождении электрического импульса через систему нейронов и воздействия на нее. Нейрон — это отрезок нервного волокна. Если на одном его конце действует раздражитель, то возникает электрический импульс. Его величина около 0,01 В для мышечных клеток человека, и он распространяется со скоростью порядка 4 м/с. Когда импульс доходит до *синапса* — соединения нейронов, которое можно рассмат-

339 ривать как своеобразное реле, передающее сигнал от одного нейрона на другой, то электрический импульс преобразуется в химический в результате выделения *нейромедиаторов* — специфических веществ—посредников. При попадании молекулы посредника в щель между нейронами нейромедиатор путем диффузии достигает конца щели и возбуждает следующий нейрон.

Однако нейрон реагирует только в том случае, если на его поверхности имеются особые молекулы — *рецепторы*, которые могут связывать лишь данный медиатор и не реагировать на другой, что происходит не только на мембране, но и в любом органе, например в мышце, вызывая ее сокращение. Сигналы-импульсы через синапсы могут тормозить или усиливать передачу возбуждения, и поэтому нейроны исполняют логические функции («и», «или»), что в известной мере и послужило Н. Винеру

основанием считать, что вычислительные процессы в мозге живого организма и в ЭВМ идут принципиально по одной и той же схеме. Тогда информационный подход позволяет единым образом описывать неживую и живую природу.

Процесс воздействия сигнала на мембрану заключается в изменении ее высокого электрического сопротивления, так как разность потенциалов на ней тоже около 0,01 В. Уменьшение сопротивления приводит к увеличению импульса электрического тока, и возбуждение передается дальше в виде нервного импульса, изменяя при этом возможность прохождения через мембрану определенных ионов. Таким образом, информация в организме может передаваться в сочетании — химическим и физическим механизмами, и это обеспечивает надежность и многообразие каналов ее передачи и переработки в живой системе.

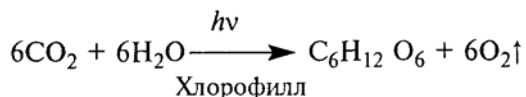
Внутриклеточные мембраны за счет своей гибкости могут поглощать и выделять наружу отдельные ионы, молекулы и конгломераты из многих молекул. Отдельные части мембраны образуют выступы, которые обволакивают частицы, и они оказываются внутри. Этот процесс называют *эндоцитозом*. При *экоцитозе* эти выступы «выпихивают» частицы за пределы клетки. Все вещества, попавшие в клетку, растворяются в цитоплазме через пищеварительные вакуоли и перерабатываются с помощью лизосом.

С процессами клеточного дыхания, когда в митохондриях клетки образуются молекулы АТФ, обеспечивая ее необходимой энергией, тесно связаны и процессы обычного дыхания живого организма, для которого требуется кислород, получаемый в результате фотосинтеза.

340

12.4.4. Фотосинтез

Фотосинтез — это процесс запасаания солнечной энергии путем образования новых связей в молекулах синтезируемых веществ. Исходными веществами для фотосинтеза являются вода и диоксид углерода. Из этих простых неорганических соединений образуются более сложные, богатые энергией питательные вещества. В качестве побочного, но очень важного продукта образуется молекулярный кислород. Согласно реакции:

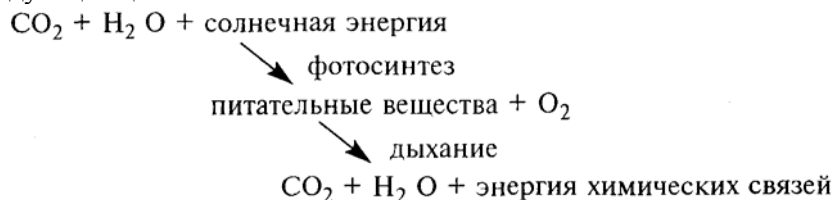


Эта реакция идет за счет поглощения квантов света ($h\nu$) и при условии присутствия пигмента хлорофилла, содержащегося в хлоропластах.

В результате получается одна молекула глюкозы $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ и шесть молекул кислорода. Процесс идет постадийно; сначала на стадии фотолиза при расщеплении воды образуются водород и кислород, а затем водород, соединяясь с углекислым газом, образует углевод — глюкозу $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$.

Фотосинтез — преобразование энергии излучения Солнца в энергию химических связей возникающих органических веществ.

Фотосинтез, производящий на свету кислород, является тем биологическим процессом, который обеспечивает живые организмы свободной энергией. Процесс обычного дыхания как процесс обмена веществ в организме, связанный с потреблением кислорода, является обратным процессу фотосинтеза. Оба эти процесса могут идти по следующей цепочке:



Конечные продукты дыхания служат исходными соединениями для фотосинтеза. Процессы фотосинтеза и дыхания участвуют в круговороте веществ в природе. Часть солнечного излучения поглощается растениями и некоторыми организмами, кото-

341

рые являются автотрофами, т.е. самопитающимися (питание для них — солнечный свет). В результате процесса фотосинтеза автотрофы связывают углекислый газ атмосферы и воду, образуя до 150 млрд тонн органических веществ, усваивая до 300

млрд. тонн CO_2 , и выделяют около 200 млрд. тонн свободного кислорода ежегодно.

Полученные органические вещества употребляют в качестве пищи человек и травоядные животные, которыми, в свою очередь, питаются другие гетеротрофы. Растительные и животные остатки затем разлагаются до простых неорганических веществ, которые снова могут участвовать в виде CO_2 и H_2O в фотосинтезе. Часть получающейся энергии, в том числе запасенной в виде ископаемого энергетического топлива, идет на потребление ее живыми организмами, часть бесполезно рассеивается в окружающую среду. Поэтому процесс фотосинтеза благодаря обеспечению им необходимой энергии и кислорода является на определенном этапе развития биосферы Земли «катализатором» эволюции живого.

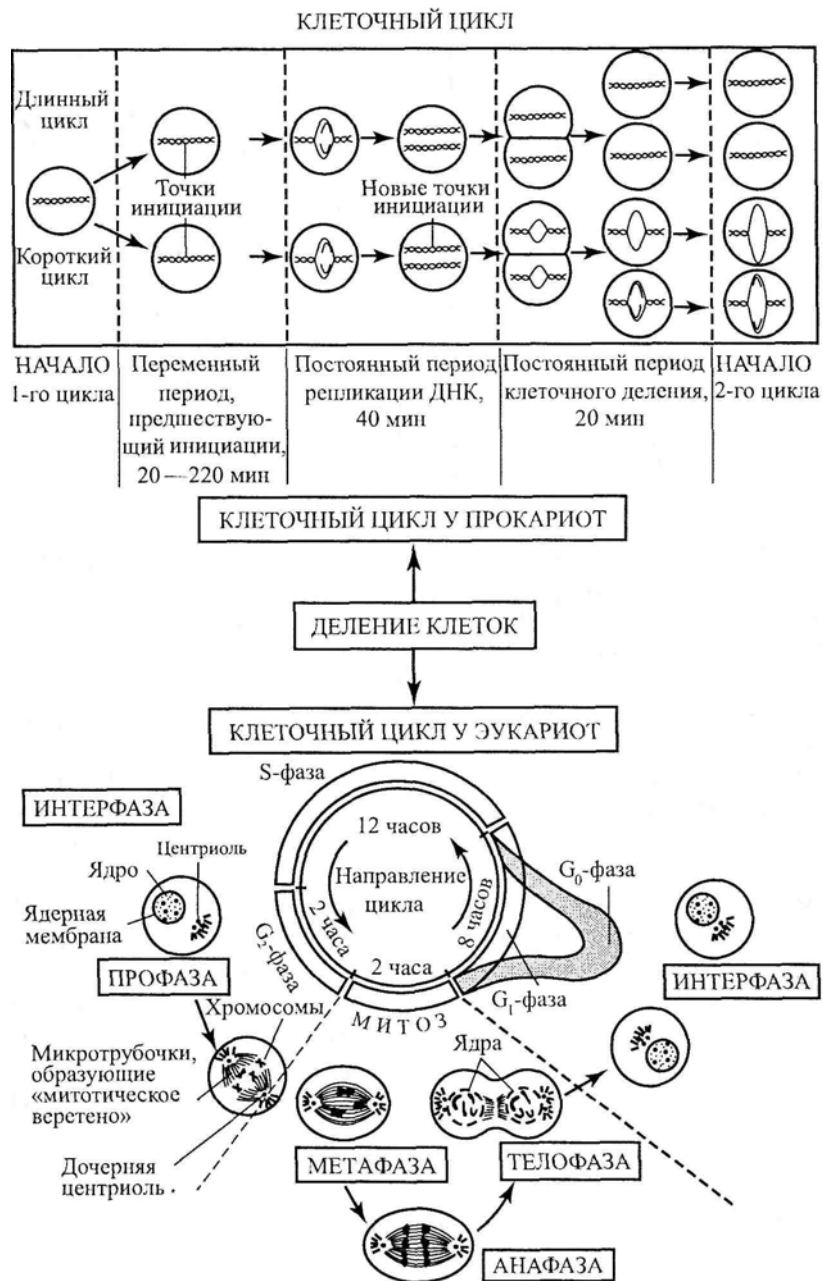
12.4.5. Деление клеток и образование организма

Строением и изучением клеток биологи занимаются уже более 150 лет, и в первую очередь это немецкие ученые — ботаник **М. Шлейден (1804 - 1881)**, физиолог **Т. Шванн (1810 - 1882)**, биолог **Я. Пуркине (1787—1869)** и патологоантом **Р. Вирхов (1821—1902)**, который в 1855 г. установил механизм роста клеток путем их деления. Было установлено, что каждый организм развивается из одной клетки, которая начинает делиться, и в результате этого образуется множество клеток, заметно отличающихся друг от друга. Поскольку развитие организма началось от деления первой клетки, то на одном из этапов нашего жизненного цикла мы сохраняем сходство с очень отдаленным одноклеточным предком, и в шутку можно сказать, что мы скорее произошли от амебы, чем от обезьяны.

Из клеток формируются органы, и у системы клеток появляются такие качества, которых нет у составляющих ее элементов, т.е. отдельных клеток. Эти отличия обусловлены набором белков, синтезируемых данной клеткой. Бывают клетки мышечные, нервные, кровяные (эритроциты), эпителиальные и другие — в зависимости от своей функциональности. Дифференцирование клеток происходит постепенно в процессе развития организма. В процессе деления клеток (рис. 12.15), их жизни и гибели

в

Рис. 12.15. Клеточный цикл.



343

течение всей жизни организма происходит непрерывная замена клеток.

Ни одна молекула в нашем теле не остается неизменной дольше нескольких недель или месяцев. За это время молекулы синтезируются, выполняют свою роль в жизни клетки, разрушаются и заменяются другими более или менее идентичными молекулами. Самое удивительное, что живые организмы в целом значительно более постоянны, чем составляющие их молекулы, и строение клеток и всего тела, состоящего из этих клеток, остается в этом безостановочном круговороте неизменным, несмотря на замену отдельных компонентов. Причем это не замена отдельных деталей автомобиля, а, как образно сравнивает С. Роуз [124], — тело с кирпичной постройкой, *«из которой сумасшедший каменщик непрерывно ночью и днем вынимает один кирпич за другим и вставляет на их место новые. При этом наружный вид постройки остается прежним, а материал постоянно заменяется»*. Мы рождаемся с одними нейронами и клетками, а умираем с другими. Примером может служить сознание, понимание и восприятие ребенка и старого человека. Во всех клетках имеется полная генетическая информация для построения всех белков данного организма. Хранение и передача наследственной информации осуществляются с помощью клеточного ядра.

В клетке каждого типа синтезируются только те белки, которые ей нужны. Многие гены в клетке не работают, только часть из них участвует в синтезе соответствующих белков. По современным представлениям клеточной биологии только 3% молекул ДНК

участвует, так сказать, в «программном обеспечении» построения белков, а 97% не являются источниками информации, они выполняют роль матричной копирующей машины. По выражению российского биолога В.С. Репина, *«вся биологическая информация разбросана крошечными островками смысла, вкрапленными в океаны бессмыслицы и информационной пустоты материнских и отцовских хромосом»*. Возникает два вопроса. К чему такая избыточность ДНК, не несущей непосредственно информации для конкретной клетки? Зачем так настойчиво хранится и материализуется этот огромный резерв ДНК, который участвует в функционировании клетки, особенно если учесть всеобщие для природы принципы оптимальности расходования энергии, требуемой для укладки огромного количества ДНК в объем клеточного ядра? Но, как сказал В. В. Маяковский, *«если звезды зажигают, значит, это кому-нибудь нужно»*. Ответы на эти вопросы должны дать специалисты по молекулярной биологии.

344

Интересен еще один вопрос: почему малое количество генов обеспечивает почти бесконечное функциональное разнообразие клеток? Предполагают, что одна и та же молекула мРНК дает от 5 до 20 разных белков за счет перестановки элементов матрицы — заготовки ДНК. В мире белков клетка действует как архитектор, создавая по двумерным чертежам трехмерные, объемные конструкции. Плазматическую мембрану клеток можно сравнить с клавиатурой рояля или дисплеем ЭВМ, которые сортируют всю поступающую информацию от случайных сигналов для принятия решений. Мембрана выступает в качестве своеобразного биочипа.

Если же продолжить сравнения, то клетку можно представить как высокоспециализированный завод, выпускающий биомолекулы по плану, выработанному природой в процессе эволюции, фабрикой по производству жизни, где каждый элемент клетки имеет свое функциональное предназначение. Мембрана — это пропускные ворота, куда подается полуфабрикат, а вывозится «готовый продукт». Белки — ферменты, которые регулируют выполнение плана, выполняют роль заводоуправления. Главным «технологом» является ДНК, которые осуществляют через молекулы РНК план реализации технологии биосинтеза белков с участием ферментов и нуклеиновых кислот, следят за технологическими условиями водной среды клеток, температурой, давлением, электрическим потенциалом. А самоорганизация выступает в роли сбалансированного общего технологического процесса.

Жизнь любого организма поддерживается энергетическим потенциалом клеток и их взаимодействием, а благодаря информации живая система сохраняет целостность и гармонию своих элементов в процессе своей жизнедеятельности. Клетки, как элементарные самоорганизующиеся системы, функционируют по принципу достижения оптимальных результатов в условиях жизнедеятельности. Механизмы целесообразного саморегулирования жизнедеятельности клетки формируются в процессе ее развития и изменяются под влиянием более высоких уровней организации со стороны тканей, органов и всего организма.

Генетиками был разработан метод, с помощью которого можно определить биологический возраст человека, зная энергетический заряд клеток. Оказалось, что наши клетки могут подсказать каждому человеку, как себя вести, чтобы прожить более активную и долгую жизнь, поскольку их энергонасыщенность меняется в ответ на повреждающие или стимулирующие факторы, на-

345

пример алкоголь, кофе, спорт, закаливание. Воздействие этих факторов обусловлено изменением электропотенциала ядер — клеток так называемого *буккального эпителия*. Этим методом можно также определить на клеточном уровне влияние режима труда, отдыха, связи болезней с лечением, воздействия внешних физических полей. Открытие биофизических свойств ядер клеток позволяет на микроуровне изучать связь живого с энергией.

12.5. Роль асимметрии в возникновении живого

Математик играет в игру, правила которой он изобретает сам, а физик — где их изобретает Природа. Но постепенно становится все более очевидным, что правила, которые математика считает интересными, совпадают с теми, что задаёт Природа.

П. Дирак

В науки -мы можем знать только как произошло что-нибудь, а не почему и для чего.

И. Гёте

Развивая представления, рассмотренные в гл. 8 относительно понятий симметрия-асимметрия в природе, рассмотрим несколько подробнее их значение для живого организма. Проявление фактов асимметрии в живой природе отмечались уже давно. Асимметрию организмов прослеживают не только в морфологических формах, но и в движениях: например, некоторые виды поколений бактерий двигаются или по левым, или по правым кругам — в зависимости от вида. Известны различия в функционировании конечностей, левого и правого полушарий человеческого мозга. Установлено, что правая рука управляется левой половиной мозга, она же «отвечает» за способность человека к изучению языков, правая половина мозга — за музыкальные эмоции. Топография мозга у «левой» несколько иная, чем у «правой». Любопытно, что процент левой у выдающихся теннисистов и боксеров выше нормы, это связывают с более высокой скоростью их реакции. Таких примеров для живых организмов можно привести много.

Из теории полов известно, что мозг мужчин более асимметричен, чем у женщин. Половой диморфизм по асимметрии мозга может помочь в объяснении различия в способностях и наклонностях мужчин и женщин. Женщины чаще приспосабливаются к

346 ситуации за счет воспитуемости, обучаемости, в целом адаптивности, а мужчины чаще берутся за новые, неординарные задачи. Только их находчивость, сообразительность и изобретательность могут обеспечить выживание в дискомфортных условиях.

Как указывал В.А. Кизель [66], зрительное восприятие Мадонны Рафаэля существенно меняется при отражении ее в зеркале. Специфические свойства симметрии влияют, например, на зрительное восприятие храма Покрова на Нерли. Отметим также, что «правши» явно предпочитают изображения со сдвинутым вправо центром интереса и этот эффект усиливается с увеличением асимметрии картины. Если же картины почти симметричны, то «правши» воспринимают изображенные на них объекты смещенными немного влево, что обусловлено асимметрией их собственного внимания и врожденной функциональной асимметрией полушарий мозга. Было также установлено, что человек (его система восприятия) чувствителен в различении симметричного и асимметричного. Если имеются малейшие черты симметрии в наблюдаемой хаотической системе, человек идентифицирует их достаточно четко, выделяет эти элементы яснее. Здесь сказывается предыстория человеческого сознания, имеющийся у человека опыт. Если человек уже знает, что в наблюдаемой хаотической конфигурации элементов есть какая-то структура, то он видит эту структуру сразу и отчетливо.

Асимметрия структуры компонентов клеток имеет большое значение для обмена веществ, так как повышает энергетический уровень вещества, обеспечивает более высокую скорость протекания реакций в живом организме и в целом способность к химическому взаимодействию. Впервые нарушение симметрии в строении органических молекул по сравнению с неорганическими отмечал еще Л. Пастер. Исследуя строение веществ биологического происхождения он установил, что эти вещества способны отклонять поляризованный луч света и поэтому они являются оптически активными веществами. В неорганических молекулах этого не наблюдается, они построены совершенно симметрично.

12.5.1. Оптическая активность вещества и хиральность

Физическое явление поляризации света, открытое в 1808 г. французским физиком Э. Малюсом (1775 — 1812), заключается в нарушении осевой симметрии света в плоскостях, перпендикулярных направлению светового луча. Свет — это поперечные колебания векторов напряженности: электрического E и магнитного B . В зависимости от условий падения и отражения световой

347 волны эти величины в плоскостях, перпендикулярных направлению распространения волны, будут различными, что мы воспринимаем как ослабление или усиление света. Это легко проверить, если наблюдать прохождение света через две тонкие слюдяные пластинки, поворачивая их относительно друг друга. Для каждого прозрачного вещества имеется угол, называемый *углом полной поляризации* или *углом Брюстера*, при котором наблюдается полное гашение света, т.е. вещество становится полностью непрозрачным, что происходит, когда плоскости отражения, например, пластинок из слюды, перпендикулярны друг другу.

Электромагнитные колебания в световом луче, отраженном под углом Брюстера,

совершаются только в определенных плоскостях: вектор электрического поля колеблется перпендикулярно плоскости падения, а вектор магнитного поля — в плоскости падения света. Плоскость колебаний электрического вектора называется *плоскостью поляризации*. Она может поворачиваться при прохождении поляризованного света через оптически активные вещества. Причиной оптической активности является отсутствие в веществе элементов симметрии, вследствие чего его молекулы могут существовать в двух пространственных формах, не различимых по физическим и химическим свойствам, кроме направления вращения плоскости поляризации.

Большинство оптически активных веществ известно в двух модификациях: право- и левовращающей. Вещество называется правовращающим, если при наблюдении против направления распространения света вращение плоскости поляризации происходит по часовой стрелке, и левовращающим — при противоположном направлении вращения. Равные количества право- и левовращающих молекул (или модификаций вещества) делают смесь оптически неактивной, она называется *рацемической смесью*. В 1848 г. Л. Пастер показал, что оптически активные вещества всегда кристаллизуются в энантиоморфных видах, левой и правой модификациях: т.е. кристаллы правовращающей модификации являются зеркальным отражением кристаллов левовращающей.

В неживой природе левые и правые молекулы встречаются почти одинаково, а в живых организмах встречается только один тип. Так, аминокислоты живых организмов имеют левовращающие плоскости поляризации, у глюкозы — правовращающая форма, у фруктозы — левовращающая. Молекула ДНК также асимметрична, ее спираль закручена вправо. Установлено, что

348
белковые полимерные цепи содержат только левовращающиеся аминокислоты, а полимерные цепи из молекул РНК и ДНК — только правовращающие сахара.

Отличие «живых» молекулярных конструкций от «неживых» состоит не только в том, что они построены из органических веществ молекул, но еще и в том, что биомолекулы вмонтированы в эту конструкцию определенным образом с учетом чисто левой или чисто правой формы. Живые организмы в процессе жизнедеятельности извлекают из окружающей среды химические неорганические соединения, молекулы которых симметричны, или хирально не чисты, и превращают их в асимметричные, но хирально чистые соединения — аминокислоты, сахара и др. В искусственных условиях тоже можно получить отдельно левые и правые вещества. Так, Л. Пастер из рацемической смеси получал равные количества левых и правых энантиоморфных кристаллов солей винной кислоты.

В настоящее время экспериментально установлено, что такое разделение наблюдается при нелинейной динамике прохождения автокаталитических химических реакций. Это означает, что такой переход от симметричных молекул неживой природы к асимметричным биомолекулам живой природы мог происходить и на предбиологической стадии химической эволюции. Английский ученый Ч. Франк в 1953 г. показал, что зеркальная симметрия может нарушаться именно в реакциях автокаталитического типа. Поэтому можно считать, что одним из необходимых условий возникновения жизни является *нарушение зеркальной симметрии*. Образование жизни — это спонтанный переход от беспорядка, где хаотически перемешаны в рацемической смеси левые и правые энантиомеры неорганических и органических молекул, к *упорядоченному* хирально чистому *состоянию* органических молекул: только левые или только правые молекулы.

12.5.2. Гомохиральность и самоорганизация в живых организмах

Отечественные ученые школы В. И. Гольданского (1928 — 2001)

Л. Л. Морозов и В. А. Аветисов, учитывая генетическую программу построения белков живого организма, считают, что имеется не просто нарушение зеркальной симметрии, а образование с позиций хиральности уникальной последовательности звеньев в соответствующих биополимерных цепях. Такое свойство живого они назвали гомохиральностью. В этом смысле ключе-

349
вые биологические макромолекулы являются гомохиральными полимерами. Однако экспериментальное доказательство существования таких полимеров, в которых нарушена зеркальная симметрия и где проявляется один вид гомохиральных биополимеров (а именно такова форма жизни на Земле, с учетом антропного принципа), не означает, что

во Вселенной не может быть и других форм жизни. Кроме того, конечно, не ясен сам механизм образования гомохиральности, особенно на предбиологической стадии эволюции.

Биоорганический мир является сложной самоорганизующейся иерархической системой, но динамика образования иерархии в исходно разупорядоченной «первоначальной» среде остается пока не установленной. И несмотря на сам факт осознания неизбежности самоорганизации сложных макромолекулярных структур биологического уровня, нам не хватает конкретных знаний об этих процессах. Живой организм умеет строить фантастические по сложности молекулярные конструкции удивительно быстро и надежно, по определенному и непростому генетическому плану. Но все это происходит тогда, когда живой организм уже возник. А как образуются гомохиральные полимеры на добиологической стадии эволюции, когда не было ни генетического «плана», ни биохимической технологии сборки полимерных цепей?

Число же таких даже относительно простых цепей с различной последовательностью правых и левых мономеров составляет около 10^{100} , что больше числа электронов во всей Вселенной [160]. Каждая клетка человека содержит двойную нить ДНК из четырех миллиардов нуклеотидов длиной почти в два метра, упакованных в крошечный объем клеточного ядра. Известный генетик В.В. Сойфер подсчитал, что если все ДНК клеток одного человека выстроить в линию, то эта нить протянется до Солнца.

Самособирающиеся сложные макромолекулярные структуры из гомохиральных мономеров действительно являются уникальными, потому что они собираются (без Разума Человека, сами!) единственным способом из огромного числа возможных вариантов. Согласно В. Аветисову в этом — биохимический парадокс, называемый парадоксом Левинталя: как понять и объяснить, что полимерная цепь с огромной скоростью выбирает и реализует нужный для конкретных частей живого организма способ самосборки белков. В обычных условиях требуемое для этого время кажется бессмысленно большим, значительно большим, чем возраст Вселенной.

350

В. Аветисов приводит образный пример такой ситуации. Если взять массу органической материи, равную массе всей Земли, и синтезировать каждую полимерную последовательность только один раз в результате самых быстрых химических процессов и заниматься этим делом в течение всего времени существования Вселенной, то можно получить число вариантов этого процесса, сопоставимое с числом капель во всем Мировом океане! Поэтому приходится считать, что природа не имеет никаких реальных шансов перебрать все возможные варианты образования даже простых полимеров. Вероятность этого процесса такая же, как если трясти мешок с деталями от телевизора и ожидать, что в результате мы получим собранный таким образом работающий телевизор.

Мерой этого перебора вариантов может служить постоянная Авогадро ($\sim 10^{23}$) — это число, которое значительно меньше числа возможных цепей в 10^{100} . Из этого сравнения вытекает, что вероятность появления длинных гомохиральных последовательностей физически равна нулю. Отсюда В. И. Гольданский и В. А. Аветисов делают вывод, что длительный эволюционный путь не может реально привести к возникновению асимметричного биоорганического мира и это произошло спонтанно. Такие представления для физической идеологии нашего курса не являются чем-то новым, а лишь подтверждают, что эволюция идет через точки бифуркации и при определенных условиях — нелинейно, в режимах с обострением.

Что может быть причиной нарушения зеркальной симметрии неживого, приводит к асимметрии живого, его молекулярной асимметричности? Условиями такого фазового перехода предположительно могли быть изменение электромагнитного поля Земли, вращение Земли, поляризация солнечного и лунного света, асимметрия геофизических и геокосмических факторов, случайные флуктуации в органической среде, слабые взаимодействия. Оценка пороговой энергии, необходимой для таких переходов, и масштабов объемов, где они возможны, по А. Л. Морозову, составляет соответственно $(0,1—10) \cdot 10^{-12}$ Дж и 10 нм, что указывает на принципиально квантовый характер этих процессов.

В космомикрoфизике слабыми взаимодействиями объясняют нарушение симметрии между веществом и антивеществом сразу после Большого Взрыва (БВ), однако, по мнению В. И. Гольданского, связь между химическими реакциями предбиологического этапа жизни и слабыми взаимодействиями не проявляется. Энер-

351

гии элементарных частиц после БВ велики, а энергии химических реакций на Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

холодных стадиях эволюции Вселенной, когда могли образовываться хиральные органические соединения, очень малы по сравнению с ядерными, и, по-видимому, асимметричное влияние слабых взаимодействий на них ничтожно мало.

В 1980 г. было установлено, что право- и левовращающие молекулы, помещенные в магнитное поле, по-разному поглощают свет. Это свойство молекул разной хиральности назвали магнитным *дихроизмом*. Ученые из Гренобльской лаборатории во Франции в июне 2000 г. показали, что химическая реакция, приводящая к разделению левых и правых молекул (процесс называется *энантиоселекцией*), не может осуществляться в слабом (для такого процесса) магнитном поле Земли. Полагают, что в момент зарождения жизни на Земле были другие условия, способствовавшие формированию первых микроорганизмов из молекул определенной направленности.

Однако не следует однозначно считать превалирующей роль асимметрии по сравнению с симметрией. Оба этих представления одинаково важны для живого в диалектическом единстве, отражая двойственность и единство мира. Понятия симметрии и асимметрии неразрывно связаны с понятиями устойчивости и неустойчивости, порядка и хаоса, организации и дезорганизации сложных систем в гармонии их динамики. Симметрия связана с сохранением, стабильностью процессов, их устойчивостью, делая возможными те процессы, которые подчиняются законам сохранения. Она ограничивает число возможных вариантов структур или вариантов поведения системы. Большая энтропия соответствует более высокой симметрии, а высокой симметрии соответствует большая вероятность состояний (§ 8.7). Поэтому симметричному состоянию соответствует и меньшая информация.

Симметрия (проявление здорового консерватизма) как бы ограничивает число возможных вариантов поведения системы, сводит их лишь к необходимому, организуя некий минимальный порядок; в известном смысле симметрия подчеркивает общее в объектах и явлениях, что можно рассматривать как проявление категорий целого и частей¹.

Асимметрия, как процесс развития частей, основанный на случайностях, флуктуациях, обеспечивает эволюцию живого организма через дезорганизацию, хаотические состояния. Согласно И. Р. Пригожину процесс самоорганизации живого через возни-

¹ См. сноску на с. 212.

352

кающие диссипативные структуры связан с нарушением симметрии в точках бифуркации.

Реальный мир живого организма и его жизнедеятельность обеспечиваются и симметрией, и асимметрией, в сочетании с сохранением целостности организма и его динамического развития. Диалектическая борьба противоположностей симметрии—асимметрии проявляется и в том, что стремление организма сохранить наследственные различия между левым и правым уравнивается преимуществами, которые организм имеет благодаря симметричному расположению некоторых своих органов (например, наши конечности больше подчиняются симметрии, чем внутренние органы).

В заключение отметим, что в биологии понятие левого и правого играет большую роль, чем в физике, поскольку физическая структура пространства не позволяет их отличить иначе, чем выбором отсчета, что произвольно. Как Вы думаете, почему мы здороваемся правой рукой?

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие теории происхождения жизни на Земле Вы знаете? В чем их сущность?
2. Объясните основные положения гипотезы А.И. Опарина о происхождении жизни.
3. Каковы отличия между автотрофными и гетеротрофными организмами?
4. Каков механизм воспроизведения жизни на молекулярном уровне?
5. Может ли возникнуть жизнь в современных условиях в виде эукариотных организмов?
6. Чем различаются анаэробные и аэробные формы жизни?
7. Какова роль свободных радикалов и автокаталитических процессах в химической эволюции?
8. В чем состоит сущность теории молекулярной самоорганизации?
9. Что представляют собой биохимические составляющие живого вещества?
10. Какова роль углерода в живой природе?
- И. Из чего состоят белки и нуклеиновые кислоты?
12. Какое значение имеет АТФ в энергетических процессах клетки?
13. Какими свойствами воды обусловлены ее функции в живом организме?
14. Что такое клетка и из чего она состоит?

15. Какие процессы могут происходить в клетке?
16. Как проходит процесс фотосинтеза?
17. Какова роль гомохиральности в образовании живого?
18. Приведите примеры симметрии и асимметрии в живой и неживой природе.

ЛИТЕРАТУРА

[4](#), [5](#), [8](#), [9](#), [12](#), [26](#), [45](#), [51](#), [64](#), [66](#), [85](#), [120](#), [123](#), [127](#), [152](#).

Глава 13. ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ВОСПРОИЗВОДСТВА И РАЗВИТИЯ ЖИВЫХ СИСТЕМ

Благодарение божественной натуре за то, что она все нужное сделала и нетрудным, а трудное - ненужным.

Эпикур

There are more things in heaven and earth, Horatio, than are dreamt of your philosophy.

Shakespeare

(Гораций, много в мире есть того, что вашей философии не снилось.)

Шекспир

13.1. Информационные молекулы наследственности

Клетка представляет собой сложную и высокоупорядоченную структуру и является элементарной организованной частью живой материи. Она способна усваивать и преобразовывать энергию, и в ней происходят процессы, необходимые для возникновения, развития и существования живого вещества. Извне в клетку поступают органические вещества, которые служат «строительным материалом» для элементов клетки и источником химической энергии. При расщеплении питательных веществ в клетке освобождается энергия для совершения различной работы по поддержанию ее жизнедеятельности. Для развития живых организмов необходимы три основных условия:

- возможность оплодотворения (слияние половых клеток) при половом размножении,
- возможность деления клеток,
- возможность воспроизводства в них определенных веществ и структур.

Во всех этих процессах участвуют клетки, как элементарные частицы живого, и молекулы нуклеиновых кислот ДНК и РНК, управляющие этими процессами.

На молекулярно-генетическом уровне организации живого элементарной единицей является ген. Этот термин как фактор наследственности ввел в биологию в 1909 г. датский ученый **В. Л. Иогансен (1857—1927)**. На самом деле ген — это участок молекул ДНК и РНК со специфичным набором нуклеотидов, в последовательности которых закодирована генетическая инфор-

354

мация. Ген состоит из 450 нуклеотидов, объединенных в 150 кодонов длиной около 150 нм, в то время как межатомные расстояния, например, в неорганических кристаллах, составляют около 0,1 — 0,2 нм. Следовательно, генная структура содержит порядка 1000 — 1500 атомов. Это позволило Э. Шрёдингеру [25] предположить, что такое число с точки зрения статистической физики слишком мало, чтобы обусловить упорядоченное и закономерное поведение. Живой же организм воспринимает воздействие только огромного числа атомов и молекул.

Можно считать, что погрешность в выполнении физических

и химических законов природы составляет $1/\sqrt{n}$, где n — число молекул, участвующих в проявлении этих законов. Какими мы были бы чувствительными, если бы реагировали на воздействие отдельных атомов! Отсюда можно сделать вывод, что поведение генов должно определяться вероятностным характером законов квантовой механики. Обычно в клетках растений и животных молекулы ДНК присутствуют в виде некоторых структур ядра клетки, которые называются хромосомами. Хромосомы состоят из большого числа генов, которые расположены на ней в линейном порядке, а гены являются кусками молекулы ДНК. Гены, как правило, располагаются в ядрах клеток. Они имеются в каждой клетке, и их число может достигать многих миллиардов. Можно в шутку сказать, что по своей роли гены представляют собой «мозговой центр» клеток.

Собственно исходная генетическая информация заключена в последовательности аминокислот в различных пептидных цепях. Поэтому можно считать, что на молекулярно-генетическом уровне элементарными единицами, несущими в себе коды

генетической информации, являются молекулы ДНК. В клетке человека молекула ДНК содержит около 1 млрд пар оснований, длина ее около 1 м. Если составить цепочку из ДНК всех клеток одного человека, то она может протянуться через всю Солнечную систему. В ДНК даже простейшего организма содержится информация, объем которой эквивалентен информации во всех томах Российской государственной библиотеки.

13.1.1. Генетический код

Наш соотечественник Г.А.Гамов предложил вариант описания структуры генетического кода. Ход его рассуждений был таков. Было уже известно, что белки строятся из 20 аминокислот,

а индивидуальные свойства белка определяются тем, из каких аминокислот и в какой последовательности он образован. Способ записи этой информации с помощью четырехбуквенного алфавита (азотсодержащих оснований — цитонин, тимин, аденин и гуанин) универсален и одинаков для всего живого. Каждое «слово» в генетическом тексте — это название аминокислоты, каждое «предложение» определяет белок. Если в алфавите жизни четыре буквы, то как из них строятся слова? Можно подсчитать, что слов должно быть не менее 20. Допустим, что каждое слово состоит из двух букв, тогда таких различных пар оснований будет $4^2 = 16$, но этого мало. Гамовым было предложено, что в каждом слове должно быть, вероятно, не две, а три буквы, тогда $4^3 = 64$. В принципе это уже больше, чем число аминокислот.

Поэтому он сделал еще одно предположение, что среди 64 трехбуквенных слов есть синонимы, т.е. некоторые из этих слов означают одну и ту же кислоту. Это хорошо укладывается в «логику» природы — делать все экономно и рационально, но с некоторым избытком, наверняка. Гамов предположил, что для кодирования одной аминокислоты используется сочетание трех нуклеотидов, и такая элементарная единица получила название *кодона*. Последовательность кодонов в гене определяет последовательность аминокислот в полипептидной цепи белка, кодируемой этим геном. На основании такой модели Ф. Криком и Дж. Уотсоном в 1953 г. были интерпретированы результаты рентгеноструктурного анализа молекул ДНК. Это был триумф генетики и большой личный успех Г. А. Гамова. Он считал, что разработка генетического кода — его самая сильная работа.

Интересно отметить, что Дж. Уотсон называл себя научным внуком Н. В. Тимофеева-Ресовского, ученика основателя российской экспериментальной биологии Н. К. Кольцова. В свою очередь, Дж. Уотсон — прямой ученик другого Нобелевского лауреата, американского физика Дельбрюка — молодого соратника Тимофеева-Ресовского, которого Тимофеев-Ресовский вместе с Циммерманом «переманил» из физики в биологию.

Любопытно, что в своей работе Крик и Уотсон использовали данные Розалинды Фрэнклин без ее ведома и согласия. Ссылок на нее не было ни в их знаменитой статье о том, каким образом молекула ДНК может воспроизводить сама себя, опубликованной в 1953 г. в журнале «Nature», ни в последующих публикациях. Более того, физики Ф. Крик и Дж. Уотсон, совместно с биохимиком Уилкинзом (зав. лабораторией, где работала Р. Фрэнк-

лин, который и познакомил первых двух с ее результатами без ее согласия) получили в 1962 г. Нобелевскую премию по физиологии и медицине. Как писал М. Ичас, *«когда эта некрасивая (но, заметим, типичная!) история выплыла в свет, это произвело нехорошее впечатление, и не только на феминисток»*.

Впоследствии выяснилось, что генетический код, связывающий последовательность нуклеотидов в молекуле ДНК с последовательностью аминокислот в молекулах белка, должен быть триплетным. Образно говоря, кодоны, как ключевые слова, должны состоять из трех букв, и их определенная комбинация и последовательность в ДНК кодируется в необходимую генетическую информацию. Поскольку молекула ДНК содержит четыре азотистых основания: аденин (А), цитонин (Ц), гуанин (Г) и тимин (Т), — то подсчет возможных сочетаний из четырех этих букв А, Ц, Г и Т показывает, что сочетание по два обеспечивает лишь 16 возможностей, а по три — $4 \cdot 4 \cdot 4 = 64$ кодона. Оказалось, что только сочетания из трех элементов обеспечат построение тех 20 аминокислот, которые необходимы для образования молекул белка. Поэтому «наименьшая длина» таких слов, определяющих аминокислоты, должна состоять из трех

нуклеотидов.

Таким образом, ДНК можно представить как последовательность букв — нуклеотидов, образующих текст из огромного числа знаков. В принципе любой живой организм — «розу, дельфина или человека» [9] — можно закодировать длинным рядом этих букв. Расположение нуклеотидов не случайное, и, например, первые два основания кодонов, определяющих какую-либо аминокислоту (или аминокислотный остаток), одинаковы, а третье может быть в разных кодонах разным.

Однако природа так придумала, что большинство аминокислот кодируется несколькими кодонами. Имеется избыток и вариативность информации, чтобы сделать то, что нужно наверняка. Установлено, что ядра клеток содержат столько молекул ДНК, что их хватило бы на образование в 10 раз большего числа генов. Это подобно вырождению в квантовых физических состояниях, когда разные волновые функции соответствуют одному и тому же значению собственной энергии. Такой код в молекулярной биологии также называется вырожденным — в том смысле, что несколько разных триплетов передают один и тот же смысл, т.е. являются по существу синонимами. Эту аналогию можно продолжить и в языкознании. Наше письмо — тоже ко-

дирование звуков. Код, в котором несколько букв читаются одинаково, будет также вырожденным.

Было также установлено, что сама структура генетического кода для всего живого одинакова. Понятно, однако, что количество нуклеотидов, а значит, по существу, и молекул ДНК, разное и механизм реализации кода разный, отсюда различия в наборе синтезирующихся белков и в сложности строения различных организмов. Одинаковость кода для всех живых организмов указывает на единство происхождения всего живого. Чем ближе родство между организмами, тем больше похожи последовательности их молекул ДНК. Даже у растений, животных и бактерий можно обнаружить частичное сходство молекул ДНК. Сходство аминокислотного состава всех белков также свидетельствует о биохимическом единстве жизни и позволяет считать, что все живые организмы генетически родственны и происходят от общего предка.

Таким образом, признаки и свойства живых организмов, зафиксированные в молекулах ДНК, генах и хромосомах, хранятся и передаются химическим путем комбинацией соответствующих органических молекул. Ген выступает как неделимая единица наследственности и в различных мутациях изменяется как целое. Его можно назвать *квантом наследственности*. Шрёдингер называл его атомом наследственности. В настоящее время считается установленным, что признаки передаются дискретным образом как раз через эти дискретные образования — гены, что позволяет ввести в биохимическую генетику квантово-механические представления физического микромира. Так как наследственность по своей природе дискретна, то для изучения ее могут быть использованы математические и физические модели. Это отмечал еще Шрёдингер: «Уже сам принцип дискретности, прерывистости наследственности, лежащей в основе генетики, очень созвучен атомарной теории строения вещества» [25].

Заметим также, что дарвиновская изменчивость действует по известному принципу Бора: воспроизводятся лишь разрешенные признаки. Имеются эксперименты по скрещиванию волка и собаки, а затем и их гибридов. В конечном результате получали или чисто волка, или чисто собаку. Насильственно перемешанные гены, как только их предоставили самим себе, тут же разошлись по разрешенным наборам.

358

13.1.2. Гены и квантовый мир

В генетической системе обнаруживаются те же закономерности, что и в квантовом мире: атомизм, высокая упорядоченность дискретных единиц, возможность их комбинации и образование других порядков, прерывистой наследственности, скачкообразность переходов из одних состояний в другие, а также вырождение состояний. Российский генетик И. А. Рапопорт (1912—1990) установил некоторые аналогии между генными нуклеотидами и кварками с барионами (три кварка в барионе и три нуклеотида в триплете), подобие взаимодействий нуклеотидов и кварков, отсутствие тех и других в свободном состоянии и т.д. [117]

Представим эти аналогии в виде следующей схемы.

Иерархия и сопоставление элементов в физическом и генетическом атомизме

Сравнительный анализ этих данных показывает структурное единство живой и неживой природы и возможность описания материального мира физическими методами. На это указывал В. Гейзенберг: *«Изучение атомистической структуры биологической материи может сыграть важную роль в понимании дискретных закономерностей, а биологические понятия могут дать дополнение и расширение квантовой механики».*

Поэтому можно сказать, что человеческая индивидуальность (а вообще говоря, и поведение всех живых организмов) является результатом различий в структурах молекул ДНК, несущих генетическую информацию, и связана она с квантовыми эффектами.

359

Физический уровень

1. Кварки
2. Элементарные частицы
3. Атомные ядра
4. Атомы
5. Молекулы
6. Коллоидные частицы, полимеры

Генетический уровень

1. Нуклеотиды
2. Триплеты
3. Интероны
4. Гены
5. Хромосомы
6. Геном

Проведем аналогичное сопоставление между биологическим и космическим уровнями.

Биологический уровень

1. Клетки
2. Ткани
3. Организмы
4. Популяции
5. Биogeоценозы
6. Биосфера

Космический уровень

1. Звезды
2. Звездные скопления
3. Галактики
4. Метагалактики
5. Вселенная (Космос)
6. Космические струны

13.2. Воспроизводство и наследование признаков

Весомы и сильны среда и случай Но главное — таинственные гены. И как образованием ни мучай От бочек не родятся Диогены.

И. Губерман

Воспроизводство себе подобных и наследование признаков осуществляется с помощью наследственной информации, материальным носителем которой являются молекулы ДНК. Основой воспроизводства является синтез белков, который происходит в клетках организма по программе, заложенной в ДНК и реализуемой через РНК. Необходимость такого синтеза обусловлена тем, что большинство компонентов живого находится в динамическом состоянии и постоянно обновляется. Белки все время распадаются, и их необходимо замещать вновь синтезируемыми молекулами, а для этого нужна генетическая информация о том, как это надо делать.

Поэтому такая система воспроизведения должна содержать в закодированном виде полную информацию, необходимую для того, чтобы построить из запасенного клеткой органического материала белок, нужный в данный момент, а также сведения о механизме извлечения и передаче этой программной информации. Механизм передачи наследственных признаков рассматривается в классическом варианте генетики и более углубленно, с позиций молекулярной биологии.

В основу генетики были положены закономерности дискретной наследственности, открытые учеными-генетиками разных стран — Г. Менделем (1822—1884) (Австрия), А. Вейсманом (1834—1914) (Германия), В. Иогансенom (1857—1927) (Дания), Т. Морганом (1866-1945) (США), Н.И. Вавиловым (1887-1943), Н.К. Кольцовым (1872—1940), С.С. Четвериковым (1880-1959) (все — Россия) и др. Работы этих и других ученых-генетиков развили на новом уровне описательные представления Ч. Дарвина о наследственности, изменчивости и естественном отборе. Термин «генетика» был введен в 1905 г. английским биологом У. Бэтсоном (1861—1926) и означает науку о законах наследственности и изменчивости организмов и методах управления ими.

Идея Г. Менделя как раз и состояла в предположении, что наследственные признаки передаются дискретными единицами —

360

наследственными факторами или генами. Каждый ген отвечает за синтез конкретного

белка. Контролируя их образование, гены управляют всеми химическими реакциями организма и определяют тем самым его признаки. Уникальными свойствами гена являются его высокая устойчивость (неизменяемость в ряду поколений — в этом суть самой наследственности!) и способность к наследуемости изменений в результате мутаций. Совокупность всех генов одного организма называется *генотипом*, а совокупность всех признаков организма — *фенотипом*.

13.2.1. Генотип и фенотип

Согласно определению, фенотип, таким образом, представляет результат взаимодействия генотипа и окружающей среды. Можно считать, что, оставляя те или иные живые организмы с их генотипом, естественный отбор сохраняет способы интеграции внешней информации в виде конкретных фенотипов.

Как отмечал российский генетик И.Н. Дубинин (1906—1998), «*фенотип — это явление, а генотип — его сущность*». Это означает, что генотип проявляется в фенотипе и поэтому фенотип всегда шире и разнообразней генотипа. Естественный отбор действует на фенотип, а не непосредственно на генотип, который лишь определяет реакции развивающегося организма на внешнюю среду. Генетическая информация становится биологически осмысленной только в том случае, когда она «расшифровывается» в результате контакта с окружающей средой. В известном смысле фенотип включает в себя биологические задатки, природную и социальную среду, деятельность индивидуума, его сознание и все возможные когерентные взаимодействия между этими признаками. Б.М. Медников назвал фенотип «*машиной для выживания*» [14].

Отдельные гены определяют возможность развития одного элементарного признака или одной белковой молекулы, а распределение их в хромосомах и последующее распределение хромосом по дочерним клеткам при клеточном делении обеспечивают передачу совокупности наследственных свойств всего организма от поколения к поколению. Хромосомы как структурные образования клеточного ядра имеют специфичную форму и размер около 1 мкм. Их число для каждого вида остается постоянным, но для разных видов оно неодинаково. Так, у человека их 46 (у обезьян, согласно последним исследованиям, их может быть 48), у плодовой мушки дрозофилы (любимого объекта

361

исследований генетиков) — 8, у некоторых видов растений — до 100. Во всех клетках хромосомы парные, и такой набор хромосом называется *диплоидным*, т.е. *двойным*. Его кодовый номер $2n$, где n — число пар, или *гаплоидное число* (от греческого слова «гапλος» — половина). Для диплоидных организмов, к которым принадлежит и человек, каждому признаку соответствуют два гена. Они могут быть представлены на двух парных хромосомах разными вариантами, их называют *аллелями*. Таким образом, аллели — это формы одного и того же гена, расположенные в одинаковых участках парных хромосом, которые определяют варианты развития одного и того же признака. Понятия «генотип», «фенотип» и «аллель» также были введены В. Иогансеном. В генетике существуют определения генома и генофонда.

Геном

Геном — это совокупность генов, содержащихся в одинарном наборе хромосом определенной животной или растительной клетки.

Генофонд

Генофонд определяет качественный состав и относительную численность разных аллелей различных генов в популяциях того или иного организма. Это видовой, а не индивидуальный признак.

13.2.2. Законы генетики Г. Менделя

Г. Мендель, проводя опыты по скрещиванию разновидностей (или линий) гороха, установил в 1850 г. закономерности, которые считаются основными для классической генетики. Для контраста он выбирал разновидности с резко различными признаками, а затем их скрещивал. Растения одной линии были высокими, а другой — низкими. Свои результаты он обобщил в виде трех законов.

• *Первый закон. При скрещивании двух организмов, относящихся к разным чистым линиям (или высокие, или низкие), отличающимся друг от друга парой возможных*

признаков, все первое поколение гибридов окажется единообразным и будет нести признак одного из родителей. От каждого из родителей потомок получает по одному гену, характеризующему признак. Выбор этого признака определяется тем, какой из генов является более сильным (доминирующим), а какой — более слабым (рецессивным — подавляемым).

Таким образом, образуется несколько аллелей одного гена и тем самым несколько вариантов одного признака. Это относится

362

к гомозиготным организмам, т.е. имеющим однородную наследственную основу от родителей, сходных по какому-то наследственному признаку.

• **Второй закон.** При скрещивании двух гетерозиготных особей как двух потомков первого поколения признаки расщепляются в определенном соотношении — по фенотипу 3:1, по генотипу 1:2:1.

Гетерозиготность — это присущее всякому гибридному организму состояние, при котором его гомологичные (подобные по строению и развитию) хромосомы несут разные формы одного и того же гена.

• **Третий закон.** При скрещивании двух гомозиготных особей, отличающихся друг от друга по двум и более парам возможных признаков, гены и соответствующие им признаки наследуются независимо друг от друга и комбинируются во всевозможных сочетаниях.

Последний закон указывает на статистический, вероятностный характер наследственности и дает возможность применить физические представления статистической физики.

Теперь становятся хотя бы отчасти понятными для обычных людей шутки генетиков на «их языке»: «Рецессивный аллель влияет на фенотип, только если генотип гомозиготен».

13.2.3. Хромосомная теория наследственности

Американский биолог Т. Морган, иностранный член-корреспондент Российской академии наук с 1923 г. и почетный член АН СССР с 1932 г., обосновал в 1910 г. хромосомную теорию наследственности и установил закономерности расположения генов в хромосомах. Исходя из того, что у любого организма признаков много, а число хромосом невелико и, следовательно, в хромосоме много генов, Морган выявил закономерность наследования признаков, гены которых находятся в одной хромосоме, — они наследуются совместно. Эта закономерность называется **законом Моргана для сцепления генов**.

Хромосомы могут перемещаться и при клеточном делении распределяться поровну между дочерними клетками в полном соответствии с выводами Менделя о передаче наследственных факторов. Деление клетки начинается с ядра, содержащееся уплотняется в хромосомы, область, занятая ядром, становится вытяну-

363

той, и половинки каждой хромосомы направляются в разные концы этой области, образуя две одноядерные клетки, каждая из которых содержит по одному полному диплоидному набору хромосом. Такой способ клеточного деления называют **митозом**, он характерен для клеток тела. Таким образом, в митозе хромосомы удваиваются, при этом они расщепляются и равномерно распределяются между дочерними клетками.

Все клетки, полученные в результате митоза, генетически идентичны, так как в каждой паре клеток ДНК каждой хромосомы является точной копией ДНК соответствующей хромосомы другой клетки. Все потомство одной клетки, размножившееся способом митоза, называют **клоном**. Все клетки, образовавшиеся этим путем, представляют собой один клон, и поэтому вся содержащаяся в них генетическая информация одинакова (понятно теперь, как появилась клонированная овечка Долли).

Другой способ распределения наследственных признаков реализуется в процессе деления половых клеток — **гамет** (название происходит от греческого слова gamete — жена) — и называется **мейозом**. Гаметы — репродуктивные клетки животных или растений, обеспечивающие при их слиянии развитие новой особи. При оплодотворении в половом размножении гаметы сливаются и образуют одну клетку — **зиготу** (от греческого zygotes — соединенный вместе), которая содержит 2n хромосом. При мейозе гаметы (женские — яйцеклетки, мужские — сперматозоиды) образуются из диплоидных клеток. Хромосомы делятся один раз, а сама клетка — дважды, т.е. исходные хромосомы

дают $2n \cdot 2 = 4$ хромосом, а исходные клетки — $1 \cdot 2 \cdot 2 = 4$ клетки.

Таким образом, мейоз — это способ деления клеточного ядра, в результате которого образуются четыре дочерних ядра, каждое из которых содержит вдвое меньше хромосом, чем исходное материнское ядро. Такой способ, когда происходит уменьшение числа хромосом в два раза и одна диплоидная клетка, содержащая два набора хромосом, дает после двух быстро следующих друг за другом делений начало четырем клеткам (содержащих уже по одному набору хромосом), называется также *редукционным делением*. Заметим, что попадание хромосом в гамету также носит случайный характер.

Биохимическая генетика позволяет объяснить половые различия человека и животных. Из общего числа хромосом человека (23 пары) 22 пары одинаковы для женского и мужского организмов, а одна пара нет. У женщин — это так называемые

364 две одинаковые X-хромосомы, а у мужчин — это X-хромосома и Y-хромосома в этой 23-й паре. Было установлено, что половое различие определяется именно Y-хромосомой. Если яйцеклетка оплодотворяется X-хромосомой мужской пары, то развивается женский организм, если Y-хромосомой, то образуется мужской организм.

Как установлено, X и Y-хромосомы появились более 250 миллионов лет назад, вскоре после отделения млекопитающих от рептилий. Формирование и эволюция новых видов прежде всего сказывались на половых хромосомах. Недавно американские биохимики Мэрфи и О. Брайен сравнили половые хромосомы человека, кошки и мыши и с удивлением обнаружили, что люди и кошки имеют тот же самый порядок генов на X и Y-хромосомах, в то же время он сильно отличается от мышиного. Ими также был обнаружен блок генов, который почти не изменился в процессе эволюции. Предполагается, что эти гены играют основную роль в формировании функций размножения особей мужского рода и людей, и котов. Отсюда был сделан вывод, что Y-хромосома каким-то необычным способом «законсервирована» у определенных видов млекопитающих. А семейство кошек может оказаться подходящей моделью для исследования половой функции человека, в частности, мужское сексуальное поведение можно рассматривать на примере котов.

13.3. Процессы мутагенеза и передача наследственной информации

Когда человек не понимает проблему, он пишет много формул, а когда наконец поймет, в чем дело, останется в лучшем случае две формулы.

А. Пуанкаре

Не печалься и не горюй, жизнь решит самые сложные проблемы, если ей предоставить на это достаточно времени.

П. Капица

13.3.1. Мутации и радиационный мутагенез

В клетках, готовящихся к делению, происходит синтез новых копий ДНК. Но в процессе этого копирования могут возникать ошибки, сбои. Они изменяют смысл генетических инструкций, и тогда образуются изменения в передаче наследственной информации. На физическом языке это называется рекомбинацией, в результате которой происходит перестройка генов и хромо-

365 сом. Частота рекомбинации зависит от расстояния между генами и обычно составляет в среднем 50%. Изменение состояний происходит скачкообразно, дискретным образом. Такие скачки основатель квантовой теории биологии **Х. Фриз (1848—1935)** назвал *мутациями*.

Мутация — это любое изменение в нуклеотидной последовательности определенного гена. Наиболее часто происходят точечные мутации, связанные с изменениями одного азотистого основания, что ведет к изменению типа аминокислотного остатка в одном из положений полипептидной цепи. Другие мутации приводят к вставкам или удалению одного или более аминокислотных остатков. Особым типом мутации является удвоение гена, в результате чего появляются две копии одного и того же гена. Знание генетического кода позволяет объяснить эффект некоторых мутаций.

Эти изменения — мутации — могут передаваться по наследству и, значит, лежат в основе дискретной изменчивости: новые виды возникают в результате мутаций. Понятие мутации в биологии аналогично понятию флуктуации в физике и синергетике. По своей сути мутации — это такие частичные изменения структуры генов, приводящие к

Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

изменению свойств белков, которые кодируются уже мутантными генами.

Появляющиеся новые признаки вследствие мутаций не исчезают, а накапливаются. Такие изменения служат единственным источником генетического разнообразия внутри вида. Мутации вызываются радиацией, изменениями температуры, действием химических соединений, любыми другими физическими воздействиями на гены. Понятно, что такие воздействия происходят совершенно случайным образом. Мутагенез, таким образом, является случайным процессом возникновения наследственных изменений — мутаций, возникающих спонтанно в результате действия различных физических и химических факторов — мутагенов.

В последние 50 лет в связи с химическим и радиационным загрязнением среды особенно возросла роль мутаций, обусловленных этим причинами. Работами американского генетика **Г. Меллера (1880—1967)**, Фриза, **Н.В.Тимофеева-Ресовского**, **М. Дельбрюка (1906—1981)** и многих других была создана радиобиология.

Обобщая результаты радиобиологических исследований, проведенных Тимофеевым-Ресовским, Циммерманом и Дельбрю-

366

ком, Шрёдингер отмечал квантовую природу радиационного мутагенеза. Были установлены некоторые закономерности, связанные с радиацией: частота мутаций прямо пропорциональна дозе облучения; если изменяется длина волны излучения, но суммарная доза остается неизменной, то коэффициент этой пропорциональности остается постоянным. Таким образом, количество мутаций прямо зависит от накопленной дозы.

Мутации вызывают нарушения в комплементарном пристраивании друг к другу четырех нуклеотидов и могут значительно изменить или даже создать желаемую генетическую программу. Тем самым возникает возможность, управляя мутациями в ДНК методами генной инженерии, создавать новые искусственные образования органических молекул и значительно изменять строение и облик созданных живых организмов в нужном человеку направлении. Так, с помощью генной инженерии были получены инсулин, интерферон и гормон роста, выведены свиньи с меньшим содержанием жира и коровы, молоко которых не скисает так быстро, и т.д. Из-за отрицательного действия радиации разные люди являются и разными «мутантами», и поэтому на них по-разному действует облучение.

Недавно американский исследователь И. Эйхлер и его коллеги при изучении особенностей генома приматов пришли к выводу, что гены человека и его ближайших родственников — высших обезьян — весьма склонны к мутациям. Именно эта «фамильная черта», возможно, стала одной из причин появления человека. Для быстрых эволюционных изменений нужен текучий, изменчивый геном. Такая гибкость биохимической конструкции характерна не для всех видов организмов. Так, многие черви и моллюски очень мало изменились за миллионы лет. Можно в шутку сказать, что хромосомы приматов отличает скорее «творческое начало», чем консерватизм. Они более способствуют мутациям содержащихся в них генов и тем самым усиливают генетические изменения.

Был также обнаружен повторяющийся элемент ДНК, названный ими CAGGG, который позволяет судить о возрасте генетических изменений. Любопытно, что приматы, например, бабуины (обезьяны рода павианов), содержат значительно меньше повторов CAGGG, чем люди. Это означает, что число повторов этого элемента ДНК у человека увеличивалось в процессе эволюции.

367

Николай Владимирович Тимофеев-Ресовский



Н.В. Тимофеев-Ресовский (1900— 1981) — выдающийся русский ученый-генетик, мыслитель-космист и естествоиспытатель нашего времени. Николай Владимирович Тимофеев-Ресовский родился в Москве, но детство провел на калужской земле в имении бабушки. Его мать Надежда Николаевна, из обедневшего дворянского рода Всеволожских, вела свою родословную от Рюриковичей, дальними родственниками ее были писатели Аксаковы, и Григоровичи, а также известный адмирал Невельской, много сделавший для освоения Дальнего Востока России. С отцовской стороны Тимофеевы происходят от беглых донских казаков. По семейному преданию свою фамилию отец получил от Тимофея Разина — брата Стеньки Разина. Внук этого брата Тимофей Тимофеевич отличился при присоединении Сибири к России. За это царь Алексей Михайлович назначил его воеводой в Калуге. Отец же будущего выдающегося естествоиспытателя, инженер путей сообщения, участвовал в строительстве более 15 тыс. километров железных дорог на Урале, в Сибири, Поволжье, Литве, Белоруссии и Украине. По отцовской линии предки Николая Владимировича состояли в родстве с **Н.В. Гоголем (1809—1852)**, адмиралами **Д.Н. Сенявиным (1763—1831)**, **Ф.А. Головиным (1650—1706)** и **П.С. Нахимовым (1802—1855)**, имена которых дороги каждому русскому сердцу. Н.В. Тимофеев-Ресовский всегда гордился служением своих предков Отечеству и сохранил в себе их вольнолюбивый дух, изобретательность и отвагу.

В 1925 г. по рекомендации известного биолога Н.К. Кольцова и приглашению общества кайзера Вильгельма по содействию наукам Тимофеев-Ресовский начал работать в институте мозга в Берлин-Бухе научным сотрудником, а затем стал директором отдела генетики и биофизики. Огромный талант, незаурядная эрудиция, широта охвата научных проблем и наконец свойственная ему любознательность позволили за 20 лет работы за рубежом установить тесные научные и человеческие связи со многими выдающимися учеными того времени. Среди них — Н. Бор (которого он называл на русский манер Нильсушкой), М. Планк, Э. Шрёдингер, Т. Морган, Г. Мёллер и др. В Берлин-Бух к нему приезжали

368

Н.И. Вавилов и В.И. Вернадский. За эти годы интенсивной работы в области генетики и молекулярной биологии, в частности по спонтанному и вызванному рентгеновским облучением мутагенезу, он получил много фундаментальных результатов. В 1935 г. совместно с физиком-теоретиком М. Дельбрюком (будущим Нобелевским лауреатом) и К. Циммерманом он опубликовал работу «О природе генных мутаций и структуре гена», в которой сформулированы основы радиационной генетики; эта работа стала предтечей современной молекулярной биологии.

Исследования в этой области помогли Н.В. Тимофееву-Ресовскому радиобиологическими методами впервые вычислить ген, его линейный размер и объем, используя методологически тот же прием, который Э. Резерфорд применил при установлении структуры атома, — метод изучения исключений. Как известно, Резерфорд при рассеянии альфа-частиц (ядер гелия) обратил внимание на то, что лишь одна из 8000 частиц отклонялась на значительные углы (более 90°). Эта, казалось бы, несущественная деталь, практически не изменяющая общей картины рассеяния частиц, подсказала Резерфорду планетарную модель атома, в которой почти вся масса сосредоточена в относительно ничтожном по размеру ядре.

При исследовании влияния ионизирующих излучений на мутации мушек-дрозофил Тимофееву-Ресовскому удалось выявить редкие исключения, когда такие мутации появлялись, а по ним определить, что участок ДНК — ген, поражение которого приводит к мутациям, занимает ничтожную часть клетки. В результате был сформулирован знаменитый принцип ковариантной редупликации — «самовоспроизведение с изменениями».

Среди проблем, которыми занимался ученый, были исследования в области молекулярной и радиационной генетики и биологии, микроэволюции и онтогенеза, синтетической эволюции и теории уровней организации живого. Все эти исследования составляют круг современных биологических дисциплин, у истоков которых, таким образом, стоял Н.В. Тимофеев-Ресовский. Однако сам Николай Владимирович главным, что он сделал в науке, считал открытие принципа усиления, который фактически стал аксиомой биологии. Тимофеев-Ресовский рассматривал мутацию как физическое явление. Биохимически и энергетически это усиление едва уловимо, но, многократно возрастая, приводит к существенным изменениям в организме. Это один из главных принципов, лежащих в основе радиационной генетики, а может быть, и всего естествознания вообще.

369

Н.В. Тимофеев-Ресовский задолго до создания атомного оружия, ядерных реакторов и аварий на них высказал идею, что ионизирующее излучение опасно не только лучевой болезнью, но и своими отдаленными последствиями. Оно способно вызвать такие изменения наследственного аппарата, которые могут сказаться на потомстве не сразу, а через несколько поколений. Эта идея легла в основу радиационной генетики и радиобиологии.

К изучению влияния радиации на живой организм ученый снова вернулся во время своей работы на Урале, после пребывания в лагере, в котором он оказался по приговору Военной коллегии Верховного Суда СССР от 4 июля 1946 г, после ареста в Берлине, когда он был обвинен в невозвращении на Родину в 1937 г. и в том, что остался жить и работать в фашистской Германии, якобы сотрудничая с нацистами. Эта чудовищная клевета преследовала его вплоть до самой смерти в Обнинске в 1981 г.

Н.В. Тимофеев-Ресовский и в гитлеровской Германии оставался патриотом России. Он устраивал на работу в свою лабораторию в Берлин-Бухе советских и иностранных военнопленных и помогал им, выписывая фиктивные документы. Его старший сын был участником антифашистского Сопротивления и погиб в концлагере незадолго до Победы в 1945 г. Доброе имя Н.В. Тимофеева-Ресовского было реабилитировано совсем недавно, в 1992 г.

Находясь в заключении, Николай Владимирович продолжал служить науке. Вместе со своей женой Еленой Александровной, как говорили его друзья и коллеги, — добрым ангелом-хранителем и надежной опорой во всех научных и житейских делах, он получил важные экспериментальные результаты по накоплению ра-

диоактивных нуклидов и изотопов в биосистемах. Как отмечал директор радиологического научного центра в Обнинске академик РАМН А. Цыб, эти результаты фактически сформулировали основу биологической защиты от радиоактивных загрязнений, определив коэффициенты распределения изотопов между биологическими объектами и окружающей средой. Эти идеи широко используются сейчас на практике, в частности для устранения отдаленных последствий чернобыльской катастрофы, а также для очистки водоемов в промышленных масштабах.

Н.В. Тимофеев-Ресовский был членом многих иностранных академий и научных обществ, награжден за вклад в радиационную генетику научными наградами, самой дорогой из которых для него была Дарвиновская медаль, присужденная ему в 1959 г. в Германии. Достижения ученых-генетиков отмечаются этой медалью один раз в десять лет. Н.В. Тимофеев-Ресовский был остроумным человеком с русским размахом души, многие точные (и сочные!) его слова давно стали афоризмами в среде ученых. Вот один из его афоризмов: *«Главное в жизни и науке — отличить существенное от несущественного»*. Это высказывание было выгравировано на именной медали в его честь, которой награждаются выдающиеся ученые. Но даже самые глубокие свои работы выполнялись, по его любимому выражению, «без звериной серьезности». Он был яркой личностью и завещал своим многочисленным ученикам никогда не терять достоинства, оптимизма и юмора. Писатель Д. Гранин написал о нем замечательную книгу «Зубр», был снят фильм о нем.

Николай Владимирович любил жизнь, и она отвечала ему взаимностью.

13.3.2. Мутации и развитие организма

С возникновением мутаций связана и проблема старения организма. Информационные молекулы наследственности ДНК, которые содержат информацию для построения других биомакромолекул, в результате действия мутаций повреждаются. В настоящее время установлено, что именно вследствие потери части информации, хранящейся в ДНК, и происходит старение. Старение — это накопление дефектов в ДНК. Продолжительность жизни определяется способностью репаративных (восстанавливающих) ферментов «ремонттировать» поврежденные участки ДНК и тем самым сохранять информацию.

370

Жизнедеятельность организма обусловлена возможностью его клеток возобновляться, что и происходит при делении половых клеток, — образуются новые клетки. Однако в человеческом организме есть соматические клетки, которые неспособны делиться и сохраняются до конца жизни. Это незаменимые клетки мозга — нейроны и мышечные клетки. Их число в процессе Жизнедеятельности может только уменьшиться. Существуют также заменимые клетки, которые не способны к самовоспроизведению путем деления, но постоянно образуются из других клеток особого типа. Такими клетками являются клетки крови — эритроциты, клетки кишечного эпителия и поверхностного слоя

371

кожи. Если же в организме не происходит постоянного обновления клеток, то он

становится нежизнеспособным и в конце концов гибнет.

Поскольку мутации происходят и в неделящихся соматических клетках, то мутации будут определять максимальную продолжительность жизни. Поэтому образно можно сказать и так: пока есть мутации, есть и жизнь, хотя в большинстве случаев мутации вредны, так как многие из них приводят к гибели клеток или вносят серьезные нарушения в сбалансированную систему биохимических реакций в организме.

Значительная часть мутаций рецессивна и не проявляется у гетерозигот, что очень важно для существования вида. Обладатели же вредных доминантных мутаций часто оказываются нежизнеспособными и погибают на ранних стадиях жизни. В целом же благодаря мутационному процессу возникают новые различные варианты генов, которые составляют резерв наследственной изменчивости. Если происходит изменение условий внешней среды, то мутации, обеспечивающие этот резерв и будучи даже вредными в старой среде, могут оказаться полезными в новой. Тогда организмы — носители таких мутаций — получают преимущество при естественном отборе. Поэтому в популяции фиксируются наиболее выгодные мутации, которые дают организму необходимое преимущество при выживании.

Отметим, что понятия дискретных единиц (генов) и дискретности переходов (мутаций) позволяют применять представления квантовой механики в молекулярной биологии. Поэтому механизм наследственности может быть объяснен квантовой теорией. Переходы в микродискретных состояниях являются квантовыми переходами. Квантованным состояниям сопоставляются соответствующие энергетические уровни, и, следовательно, изменения энергии происходят квантово. Сама мутация может рассматриваться как квантовый переход, и описание биологических структур клеток и генов можно вести на энергетическом языке квантовой системы.

Таким образом, мутации — это главные поставщики эволюционного материала. Однако мутационные изменения являются принципиально случайными процессами и подчиняются статистическим законам. Вероятностные закономерности — закон Менделя комбинирования генов при скрещивании и закон Моргана совместного наследования сцепления генов — имеют фундаментальный характер в молекулярной генетике и биологии. Картина мутаций подчиняется закону гомологических рядов

372

Н.И. Вавилова, также имеющих вероятностный характер. Поэтому мутации не могут являться определяющим фактором эволюционного процесса. Тем не менее генетика подводит научную базу под дарвиновскую теорию происхождения и эволюции видов, объясняя ее как отбор случайных изменений генетических программ, обусловленных мутациями и закрепленными в них полезными признаками.

13.4. Матричный принцип синтеза информационных макромолекул и молекулярная генетика

Одинокая молекула ДНК, породившая некогда на берегу первобытного океана всю остальную жизнь, выглядит пожалуй, еще менее правдоподобно, чем Адам в райском саду.

Дж. Бернал

Природа всегда действует простейшим образом.

И. Бернулли

Носителями информации являются молекулы ДНК и РНК. Они выполняют три основные функции: *самовоспроизведение, хранение информации и реализацию этой информации в процессе роста новых клеток*. Сама генетическая информация в ДНК закодирована химическим способом в виде последовательности нуклеотидов. Молекулы ДНК и РНК, принадлежащие к одному классу нуклеиновых кислот, состоят из одних и тех же нуклеотидов. Однако есть и различия: в одном из азотистых оснований вместо тимина у молекулы ДНК в состав РНК входит урацил, а в сахарах вместо дезоксирибозы у ДНК в молекулах РНК находится рибоза. Кроме того, молекула РНК одноцепочечная, в то время как ДНК — двухцепочечная. Каким же образом эта информация, заключенная в молекулах ДНК, участвует в производстве белка?

13.4.1. Передача наследственной информации через репликацию

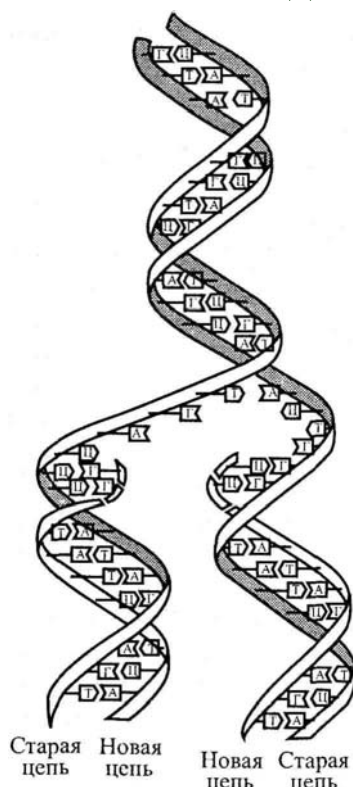
В автокатализе проявляется принцип комплементарного достраивания друг к другу четырех нуклеотидов ДНК, и при этом последовательность оснований в одной цепи ДНК

Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

в точности предопределяет последовательность оснований в другой, причем первая цепь выполняет роль матрицы для второй.

373

Рис. 13.1. Репликация ДНК.



Первый этап передачи наследственной информации состоит в удвоении цепочек молекул ДНК (рис. 13.1) и называется *репликацией*. Практически вдоль каждой цепи появляется еще одна аналогичная цепь. Это и есть процесс *автокатализа* — производства идентичных копий, как в процессе печатания фотографий.

При размножении две спирали материнской молекулы ДНК расходятся и каждая становится матрицей для воспроизводства новых цепей. Каждая из двух образовавшихся цепей молекулы ДНК включает, таким образом, одну старую полинуклеотидную цепь и одну новую. Процесс репликации идет с большой точностью и большой скоростью при наличии особого фермента — ДНК-полимеразы. На самосборку молекулы ДНК из 40 тыс. нуклеотидов требуется всего 100 секунд. Поскольку молекула ДНК является носителем генетического кода, то в том, что новая молекула ДНК идентична старой, природой заложен глубокий смысл. Нарушение структуры молекул ДНК приводит к нарушению генетического кода, а это делает невозможным сохранение и передачу необходимой генетической информации, обеспечивающей развитие признаков, присущих организму.

Так как все молекулы ДНК построены в определенной последовательности из одинаковых нуклеотидов, то это доказывает также, что все биологические структуры используют одинаковый тип генетического кода. Таким образом, способность клеток к самовоспроизведению обусловлена свойством ДНК к самокопированию и равноценному распределению репродукционных хромосом. После такого разделения хромосом в ядре клетка уже может делиться на две идентичные клетки, а поскольку каждая

374

клетка многоклеточного организма возникает из одной зародышевой клетки в результате многократных делений, то все клетки организма имеют одинаковый набор генов.

13.4.2. Матричный синтез путем конвариантной редупликации

Любая сложная молекулярная структура претерпевает изменения в результате беспорядочного теплового движения ее атомов и молекул. Поэтому происходит не абсолютно точное повторение, а воспроизведение цепочек молекул ДНК с внесением некоторых изменений, хотя сама система управляющих параметров (ДНК, хромосом и

генов), как матрица наследственных признаков имеет большую степень стабильности. Эта стабильность и обеспечивает сам процесс передачи наследственных признаков при идентичном самовоспроизведении. Несмотря на то что в природе абсолютной стабильности, конечно, нет, все основные свойства живого немыслимы без передачи наследственной информации от поколения к поколению. Такой процесс самовоспроизведения с изменениями, осуществляемый на основе матричного синтеза, называется *конвариантной редупликацией*. Конвариантная редупликация обеспечивает передачу по наследству не только генетической основы, но и дискретных отклонений от исходных состояний, т.е. мутаций.

13.4.3. Транскрипция

Вторым этапом передачи наследственной информации является перенос генетического кода с молекул ДНК на молекулы РНК путем образования одноцепочечной молекулы информационной молекулы РНК (тРНК) на одной цепи ДНК. ЭТОТ процесс осуществляется следующим образом. Когда двойная спираль молекулы ДНК раскручивается и вдоль нее движется фермент, выстраивающий нуклеотиды РНК против соответствующих нуклеотидов ДНК, мономеры соединяются и образуется длинная цепь молекул РНК. Это и есть матричный синтез информационной молекулы тРНК на ДНК, называемый *транскрипцией* (переписыванием). Каждая биохимическая реакция в организме является по существу процессом передачи информации и протекает в присутствии определенного фермента. Молекула реагирующего вещества (*субстрата*) является сигнальным устройством для

своего приемника — фермента. Под действием этого сигнала происходят изменение информации, структуры фермента, который таким образом играет роль устройства, перекодирующего химическую информацию, и организация соответствия типа «замок — ключ».

Как удачно отметил Б.М. Медников [14], *«генетическая программа не признает омонимов, и каламбуры здесь строжайше запрещены»*. Регуляторным механизмом как раз и являются различные системы ферментов, которые выбирают соответствующие нуклеотиды, контролируют возможные ошибки «узнавания» этого соответствия ДНК и РНК и в случае необходимости исправляют их. При этом и здесь выполняются энергетические законы. Напротив основания родительской цепи может встать любой из четырех нуклеотидов, но присоединение комплементарного более выгодно.

Роль молекул ферментов в качестве устройств для опознавания необходимых мест присоединения других молекул или даже «устранения использованных» в клетках живых организмов исключительна велика. Так, недавно была установлена причина исчезновения отцовских митохондрий после слияния половых клеток яйцеклеток и сперматозоидов. Женская митохондрия остается, а отцовская пропадает. Считается, что именно поэтому зародыш не получает излишнего генетического материала, способного привести к уродству или даже смерти. Например, именно присутствием двойного набора митохондрий объясняется высокая смертность среди новорожденных клонированных млекопитающих.

Митохондрии наследуются исключительно от матери, однако механизм быстрого обнаружения и устранения отцовской копии до недавнего времени был неизвестен. В 1999 г. американский биохимик Сутовски установил, что эту необходимую «обязанность» выполняют протеиновые молекулы убиквитина, которые «помечают» белки, предназначенные для разборки на аминокислоты.

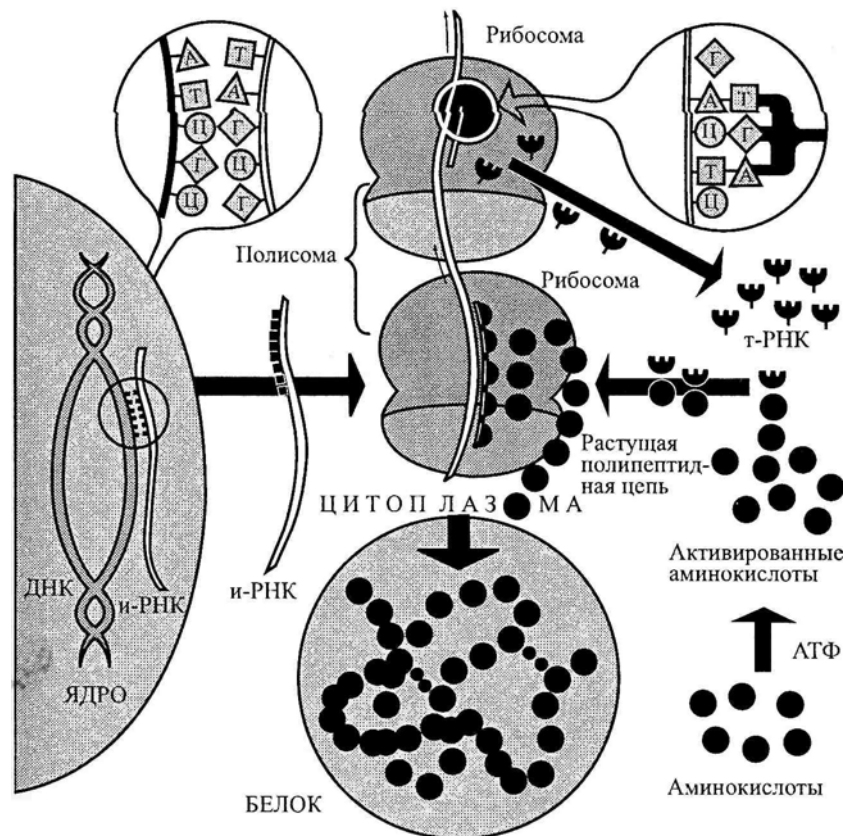
13.4.4. Трансляция

Процесс воспроизводства, связанный с использованием генетической информации, реализуется на следующем этапе. Инструкции в виде матричной тРНК передаются рибосомам, которые отвечают за синтез клеточного белка. Теперь уже информа-

ция о том, как, из чего и когда надо строить белок клетки, т.е. «технологический проект» строительства белка, заключена в тРНК. Транспортная тРНК переносит конструкцию из аминокислот к рибосомам, и на рибосомной рРНК синтезируются молекулы белка. Образно говоря, рибосомы выступают как «фабрика» по производству молекул белка. Схема биосинтеза белка в рибосоме показана на рис. 13.2. Этот процесс переноса аминокислот на основе генетического кода информационной тРНК и

образование цепей называется *трансляцией*. Последовательность нуклеотидов, несущая информацию в ДНК, определяет через молекулы РНК последовательность аминокислот в

Рис. 13.2. Схема биосинтеза белков.

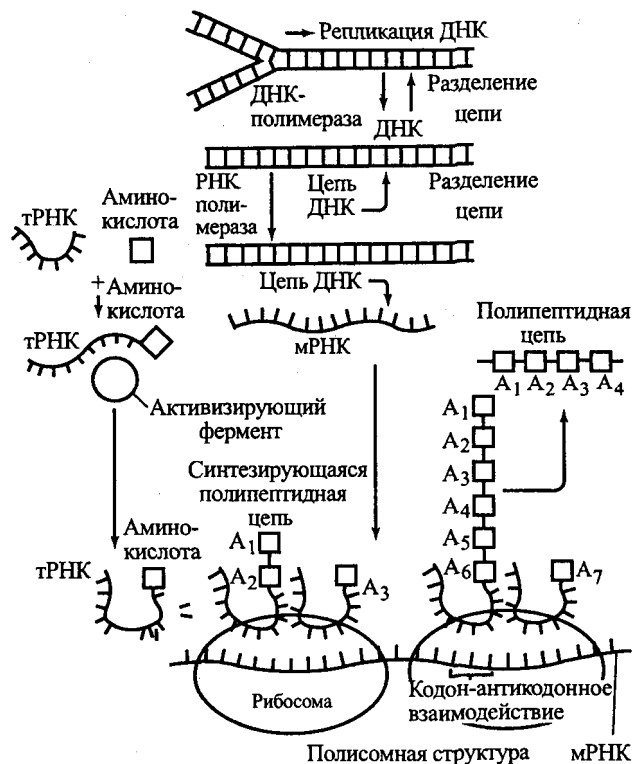


377

белке. Этот процесс схематически представляется как ДНК $\leftrightarrow$ РНК $\rightarrow$ белок (рис. 13.3).

Таким образом, передача генетических инструкций происходит наиболее сжатым и экономичным способом по единому принципу конструкции матрицы. Суть матричного синтеза проста: исходные молекулы ДНК и РНК являются матрицами, рядом с которыми строятся соответствующие макромолекулы, и «считывание» информации также происходит матричным способом, так что матрица как чертеж для исполнения (синтеза) — это изобретение природы, название же потом придумал человек. В молекулярной биологии эти представления широко используются, и, например, С.Э. Шноль считает, что выживают матричные элементы, способные к быстрому размножению. Можно сказать, что и сама жизнь — это матричное копирование с последующей самосборкой копий.

Рис. 13.3. Основные этапы процесса передачи генетической информации.



378

13.4.5. Отличия белков и нуклеиновых кислот

Молекулы нуклеиновых кислот ДНК и РНК образуют линейные последовательности, а молекулы белка представляют собой трехмерные конструкции. Может быть, это связано с тем, что в молекулах нуклеиновых кислот основания соединены слабой водородной химической связью и как бы уже предрасположены к изменчивости, в то время как молекулы белка — сильной ковалентной связью, обеспечивающей стабильность и устойчивость его структуры. Кроме того, благодаря хиральности органических молекул живых организмов, отраженной в их оптической активности и способности поворачивать плоскость поляризации, молекулы нуклеиновых кислот ДНК и РНК образуют правую пространственную так называемую D-конфигурацию, а молекулы белка — левую L-конфигурацию.

Пока науке достоверно не известна причина именно такой хиральности белков и нуклеиновых кислот. Однако глубокое различие белковых и нуклеиновых макромолекул в структуре и функциональности позволяет предположить, что они не могли появиться одновременно в ходе химической эволюции и потому маловероятно их сосуществование в протобиологической системе. Экспериментально установлено, что полимеры хирально нечистого состава медленнее растут, менее прочны и быстрее разрушаются, чем хирально чистые. Может быть, в этом также проявляется стабильность и устойчивость жизни.

Обобщая, можно сказать, что обеспечивают молекулы ДНК и РНК информационное взаимодействие, а материальную энергетическую структуру жизни составляют белки. Мутации какого-либо гена в ДНК приводят к сбою генетической программы и через кодирование могут изменить белки. В результате этого может произойти перестройка части передаваемой информации или даже ее потеря. Хотя природа предусмотрела, чтобы (для здорового консерватизма!) мутации были достаточно редкими, они очень важны для эволюции как начальный источник генетической изменчивости. Жизнь в этом смысле зависит от точности передачи информации.

В целом под изменчивостью понимают способность живых организмов приобретать новые признаки и свойства. Она обусловлена взаимосвязью организма с внешней средой. При этом

379

давно уже было замечено, что по наследству передаются только признаки, закрепленные в наследственной изменчивости, а ненаследственная, или модификационная, изменчивость лишь дает возможность организму приспособиться к окружающей среде. Такие приобретенные каждым организмом признаки не наследуются. Изменения фенотипа не сказываются на нуклеотидных последовательностях ДНК. Это похоже на житейскую ситуацию, когда брюнетка перекрашивается в блондинку: фенотип

меняется, а генотип — нет. В молекулярной генетике это объясняется тем, что процесс передачи наследственной информации идет только от ДНК через РНК к белкам и никогда наоборот.

13.4.6. Новый механизм передачи наследственной информации и прионные болезни

В последние годы работами российских (С.Г. Инге-Вечтомов, М.Д. Тер-Аванесян) и американских (С. Прузинер, Р. Викнер) биохимиков и ряда других ученых был установлен новый принцип передачи наследственной информации без участия молекул ДНК. Это явление было обнаружено в связи с генными болезнями «коровьего бешенства», Крейцфельда-Якоби у человека, скреппи у овец и др. Смертельно опасная болезнь Крейцфельда-Якоби разрушает центральную нервную систему. Мозг пострадавших людей при употреблении ими мяса коров, болеющих «коровьим бешенством», становится пористым, как сыр или губка. Отсюда еще одно название этой болезни — губчатый энцефалит. Белковые возбудители этих болезней, поражающие нервную систему и мозг, названы *прионами*¹.

С. Прузинер, обнаруживший новый тип инфекции — прионную — и получивший Нобелевскую премию по медицине за 1997 г., установил, что абсолютно одинаковые по химическому составу прионные белки могут находиться в разных пространственных формах. Образное сравнение между ними можно представить в виде сырого и вареного белка обычного куриного яйца. Обычный белок хорошо растворяется и выполняет

¹ Термин «прион» возник как модифицированное сокращение от английского *Protein Infection* — белковая инфекция.

свойственную ему функцию. Аномальный белок, имеющий другую пространственную конфигурацию, в противоположность нормальному свертывается, образует агрегаты, которые слипаются.

Уникальным свойством прионов оказалось то, что аномальный белок, сталкиваясь с нормальным, переводит его в свою аномальную форму. В этом суть прионной инфекции — «больной» белок заражает «здоровый», который, накапливаясь, заполняет клетки мозга, препятствует их работе. Исследования, проведенные с дрожжевым геном SUP 35, показали сходство такого белка с прионами, и была обнаружена передача информации от одного типа белка к другому без участия ДНК. Аномальный белок, образованный из нормального, способен передавать свою форму другому нормальному белку непосредственно. Вот такой механизм передачи наследственной информации (о пространственном строении белка) и был назван белковой наследственностью.

Как было отмечено М.Д. Тер-Аванесяном, здесь информация передается не через гены, которые закодированы линейной последовательностью нуклеотидов, а непосредственно в трехмерной структурной форме. Предполагается, что прионные белки участвуют в формировании долговременной памяти, и тогда белковая наследственность, возможно, связана с функциональной деятельностью мозга и также с болезнями Альцгеймера, Паркинсона, Хантингтона, которые обусловлены белками, способными образовывать подобные агрегаты как у аномальных белков. Также установлено, что болезни «коровьего бешенства» и Крейцфельда-Якоби имеют общую прионную природу. Это означает, что мясо или молоко от бешеной коровы действительно может стать смертельным для человека.

В связи с рассмотренным в общих чертах механизмом реализации генетической информации возникает вопрос: почему она записана именно в такой последовательности нуклеотидов четырех типов А, Т, Г, Ц, которые в виде оснований входят в ДНК. Предполагается, что это связано с тем, что они состоят из гигантских образований макромолекул. Высокополимерные цепи нуклеиновых кислот насчитывают до миллиона аминокислотных остатков. Такой гигантизм делает их чрезвычайно способными к

кооперативным, когерентным формам поведения типа неравновесных фазовых переходов. Можно сказать, что организм допускает только те компоненты, которые способны участвовать в таких кооперативных процессах. Частичная утрата высокой кооперативной индивидуальности у организма определяет переход его в менее устойчивое состояние.

Таким образом, мы видим, что объяснение процессов в молекулярной генетике — постановка и решение проблемы генетического кода, раскрытие молекулярной природы

наследственности и изменчивости (мутаций) — может быть сведено к квантово-механической трактовке и применению теории самоорганизующихся сложных систем. Как отмечал М.В. Волькенштейн, *«истинное истолкование биологических явлений является атомно-молекулярным»* [45].

В заключение заметим, что на основании молекулярной генетики можно сделать общий вывод — мы несем в себе информацию не только о наших умерших предках, но и обо всей живой природе. Вся природа как бы заключена в нас. Как только генетическая информация стала воспроизводимой, возникла Жизнь. Заметим все же, что несмотря на физико-химическое объяснение механизма передачи информации и воспроизведения органических «живых» молекул, пока создать только физическими методами живое не удастся.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое информационные молекулы наследственности?
2. Дайте определение понятия генетического кода.
3. В чем проявляется сходство квантовой физики и теории наследственности?
4. Дайте определения понятию генотипа и фенотипа. В чем их различие?
5. Расскажите о механизме действия генотипа?
6. Каковы основные понятия и представления генетики?
7. Что такое ген и хромосома?
8. Какие функции выполняют молекулы ДНК, РНК и белков?
9. Как образуются и действуют мутации?
10. В чем заключается матричный принцип синтеза биомакромолекул?
11. Что такое молекулярная биология, генетика и эволюция?
12. Что такое репликация, транскрипция и трансляция в процессах передачи наследственной информации?
13. Передаются ли по наследству приобретенные признаки? Почему?

ЛИТЕРАТУРА

[8](#), [9](#), [12](#), [14](#), [15](#), [26](#), [45](#), [116](#), [120](#), [136](#), [146](#).

Глава 14. ФИЗИЧЕСКОЕ ПОНИМАНИЕ ЭВОЛЮЦИОННОГО И ИНДИВИДУАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ОРГАНИЗМОВ

Организмы. существуют не столько благодаря внешней среде, сколько вопреки ей.
В.Я. Александров

Отличить живое от неживого легче всего на рынке: за живую и дохлую лошадь дают разную цену.
Б.М. Медников

14.1. Онтогенез и филогенез. Онтогенетический и популяционный уровни организации жизни

Применяя идеи системного анализа к пониманию жизнедеятельности биологических структур, мы убедились, что развитие сложной самоорганизующейся открытой целостной системы живого организма происходит в соответствии с иерархией уровней его организации. Закономерные изменения на каждом уровне составляют его эволюцию. Особенности процессов на двух начальных уровнях — клеточном и молекулярно-генетическом были рассмотрены в гл. 13. Остановимся теперь на двух следующих более высоких по иерархии уровнях организации — *организменном (онтогенетическом)* и *популяционно-видовом*.

Элементарной единицей организменного уровня является особь, которую можно рассматривать в эволюции от момента ее зарождения до прекращения существования в качестве живого организма, что позволяет его называть и онтогенетическим уровнем. В связи с эволюцией отдельных особей и вида или типа одинаковых особей были введены термины *онтогенез* и *филогенез*. По существу появление, развитие и смерть отдельных особей, т.е. их жизнь, и есть онтогенез. Филогенез — это историческое развитие организмов, их совокупности для различных типов, классов, отрядов, семейств, родов и видов в биологической классификации. В этом смысле филогенез можно рассматривать как элементарное явление на популяционном уровне.

14.1.1. Закон Геккеля для онтогенеза и филогенеза

Термин «онтогенез» был введен в 1866 г. немецким биологом Э. Геккелем (1834—

1919). Он считал, что сходство зародышей живых организмов имеет эволюционную сущность, и, построив

383

первое так называемое «родословное дерево» животного мира, установил, что по мере развития зародыша во всех позвоночных происходят изменения от признаков рыбы, амфибии, рептилии, птицы или млекопитающего в зависимости от своего вида. С одной стороны, это указывает на наличие общего предка (если у организма в эмбриональном периоде образуются зачатки, из которых потом не будут развиваться функциональные органы, то их тоже связывают с остатками структур общего предка). С другой стороны, адаптация к иным условиям окружающей среды и образу жизни изменяет дальнейший ход развития как отдельных особей, так и их совокупности — популяции.

Геккелем был сформулирован закон, отражающий это обстоятельство:

«Онтогенез повторяет филогенез», т.е. те стадии, через которые проходит организм любой живой особи в процессе своего развития, повторяют эволюционную историю того вида, к которому эта особь относится.

Можно сказать, что особенности живых организмов определяются их историчностью — каждый организм развивается онтогенетически и несет в себе память о филогенетическом эволюционном развитии. И онтогенез, и филогенез идут в направлении возрастающей сложности, и в процессе эволюции живого организма возникает и запоминается новая информация, ценность которой возрастает. Следовательно, организм является результатом филогенетического эволюционного развития и сам проходит путь онтогенетического развития.

14.1.2. Онтогенетический уровень жизни

Онтогенетический уровень организации жизни на Земле обусловлен жизнедеятельностью отдельных особей, дискретных индивидов. И на данном уровне единицей жизни уже выступает сама особь. Легко увидеть и здесь определенную аналогию с физико-химическим строением материи, где в качестве элементарных ее единиц на разных уровнях выступают элементарные частицы, атомы, молекулы, их образования — макромолекулы, другие их конструкции, отдельные вещества, тела и т.д. Кроме того, здесь при построении живого организма из своих наименьших частей — клеток можно использовать понятия целого и части. На своем организменном уровне особь выступает как целое!¹

¹ См. сноску на с. 212.

384

Н.Н. Моисеевым развит для биологических структур синергетический принцип Пригожина—Гленсдорфа: *«Живая система, ее составляющие видоизменяются, самоорганизуются, так что используют потребляемую извне энергию наиболее оптимальным способом»* [94, 95]. Применение этого принципа к онтогенезу и филогенезу снимает внешнее противоречие между термодинамикой и биологической эволюцией. «Биологическое структурирование» в онтогенезе связано с поведением диссипативных структур в неравновесной термодинамике.

Онтогенез обусловлен деятельностью некоторой саморегулирующейся иерархической системы, когерентно (согласованно) реализующей наследственные признаки и свойства в процессе жизнедеятельности в пределах отдельной особи. В ходе онтогенеза и реализации наследственной информации в конкретных условиях внешней среды формируется фенотип организмов данного биологического вида. Однако для онтогенеза неясным является, в частности, такой вопрос: почему в онтогенезе строго определенные процессы происходят в должное время и в должном месте?

14.1.3. Популяции и популяционно-видовой уровень живого

Особи в природе не абсолютно изолированы друг от друга, а объединены следующим более высоким уровнем биологической организации — популяционно-видовым. Такое выделение и рассмотрение жизни на этом уровне связано с объединением отдельных особей в популяции. *Популяция* является совокупностью особей всех представителей определенного вида живых организмов, занимающих какую-то область территории в одно и то же время. Она может обосновываться в данной области при наличии подходящего для нее климата, питательных веществ и источника энергии и составляет часть пищевой цепи существующих в этой области сообществ других живых организмов.

Сами популяции целостны, хотя и состоят из множества особей. Они расположены на

Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

определенной территории, взаимодействуют между собой, скрещиваются, как говорят биологи, но относительно изолированы от других видов. Поскольку внутри популяции и вне ее происходят взаимодействия, то ее можно считать открытой системой. Зная механизмы поведения популя-

385

ции, можно выявить эволюцию живых систем. Целостность популяции как раз и обеспечивается взаимодействием особей в популяциях и воссозданием генетического материала через обмен в процессе полового размножения. Отметим, что достоинством полового размножения является повышение видового разнообразия, резкое увеличение темпов эволюции и приспособления к окружающей среде.

В этом смысле популяция представляет собой открытую генетическую систему, а отбор необходимых ценных признаков при взаимодействии друг с другом и окружающей средой обуславливает появление новых свойств и особенностей в популяции, отличных от свойств на клеточном молекулярно-генетическом и онтогенетическом уровнях. Действие элементарных эволюционных факторов приводит к изменению генетического фонда популяции, которое может характеризоваться как элементарное явление на данном уровне.

Можно считать, что популяция — это «разработанный» самой природой способ существования и выживания особей определенного типа. Функции популяции состоят в том, чтобы расти, развиваться и поддерживать в изменчивых условиях свое функционирование. Отдельные индивидуальные особи меняются, а сама популяция сохраняется. Ферхюльстом установлены некоторые закономерности развития популяций:

- *биологический потенциал популяции зависит от скорости ее роста;*
- *биологический потенциал определяется отношением скорости роста к числовому значению популяции;*
- *сопротивление биологической среды росту популяции определяется отношением уменьшения популяции к квадрату численности популяции.*

Таким образом, популяция выступает как самоорганизующаяся система, которая обладает способностью не только саморазвития, но и наследования. Виды могут рассматриваться как системы популяций (сами популяции выступают на популяционно-видовом уровне в виде элементарных, далее неразложимых эволюционных единиц), в которых есть как внутрипопуляционный обмен и скрещивание особей, так и генетический обмен между популяциями.

386

14.2. Физическое представление эволюции

*Стимулирующее действие **хорошей** гипотезы прямо пропорционально ее необоснованности.*

В. Я. Александров

Как жаль, что мы живем недостаточно долго, чтобы пользоваться уроками своих ошибок

Ж. де Лабрюйер

14.2.1. Синтетическая теория эволюции

Раскрытие генетического кода и установление закономерностей молекулярной биологии показало необходимость соединения современной генетики и дарвиновской теории эволюции. Так родилась новая биологическая парадигма — синтетическая теория эволюции (СТЭ), которую можно рассматривать уже как неклассическую биологию. Хотя до настоящего времени не создана физическая модель эволюции в СТЭ, но так же, как в целом в физике живого (и как мы неоднократно это обсуждали), могут быть использованы синергетические идеи развития сложных самоорганизующихся систем и квантовые принципы. В частности, в активизации процессов самоорганизации и усложнении структуры живого организма состоит суть его эволюции. Причем эта самоорганизация в биологических объектах происходит с непревзойденной точностью, эффективностью и скоростью и тем самым является характеристикой эволюции живой природы.

Основные идеи эволюции Ч. Дарвина с его триадой — наследственностью, изменчивостью, естественным отбором — в современном понимании эволюции живого мира дополняются представлениями не просто естественного отбора, а такого отбора, который детерминирован генетически. Началом разработки синтетической, или общей,

эволюции можно считать работы С.С. Четверикова по популяционной генетике, в которых было показано, что отбору подвергаются не отдельные признаки и особи, а генотип всей популяции, но осуществляется он через фенотипические признаки отдельных особей. Это приводит к распространению полезных изменений во всей популяции. Таким образом, механизм эволюции реализуется как через случайные мутации на генетическом уровне, так и через наследование наиболее ценных признаков (ценность информации!), определяющих адаптацию мутационных признаков к окружающей среде, обеспечивая наиболее жизнеспособное потомство.

387

Из-за вероятностного характера возникновения мутаций, подчиняющихся законам статистической физики, их нельзя считать основным фактором эволюции, так как они только влияют на изменчивость генотипа, и поэтому мутационный процесс приводит к образованию и полезных, и вредных генов, которые как бы составляют фонд наследственной изменчивости. Следовательно, изменчивость на молекулярно-генетическом уровне также не является фактором эволюции и естественный отбор на этом уровне не работает. Полезность изменчивости будет определяться естественным отбором особей, наиболее приспособленных к жизни в конкретных условиях. Естественный отбор будет действовать непосредственно на фенотип живого организма и тем самым начнет проявляться уже на онтогенетическом уровне организации живого.

Как отмечал Н.Н. Моисеев [93], изменчивость создает поле возможностей развития той или иной живой системы, наследственность ограничивает это поле, но отбирает реализующий вариант эволюции по некоторым правилам или принципам. Принципы этого отбора — законы физики, биологии, общественного развития, с помощью которых с какой-то вероятностью из допустимых значений отбираются значения, наблюдаемые нами в реальности. К таким же правилам отбора относятся и те следствия человеческого опыта, на которые мы опираемся в своей практической деятельности, принимая те или иные решения. Заметим, что с физической точки зрения в основе этих принципов лежат законы сохранения, а сами фундаментальные принципы имеют запретительный характер: никакие изменения не могут идти вопреки закону изменения энергии и закону сохранения количества движения. Как отмечалось в первой части данного курса, законы различных механик (классической, квантовой и релятивистской) также имеют ограничительный характер и справедливы лишь для определенных условий.

14.2.2. Эволюция популяций

В рамках СТЭ и в целом эволюции всей биосферы элементарной единицей эволюции считается уже не особь, а совокупность особей одного вида, способных скрещиваться между собой, т.е. популяция. Мутировавший ген создает у особи новый признак. Если он полезен для популяции, он закрепляется в ней. Эффективность процесса будет определяться частотой возникновения в популяции признака и величиной ϵ , которая в мо-

388

дельном представлении эволюции описывает состояния особей в популяции. В работах ЛА. Шелепина [31, 87] предложена модель эволюции популяции и проведен анализ состояний популяций в зависимости от конкретных условий.

Популяции рассматриваются как целое по отношению к ресурсам, хищникам для данной популяции и к внешним условиям, а сами особи выступают как своего рода неразличимые молекулы. При анализе распределения особей внутри популяции выделяются **четыре** основные стратегии адаптации:

первая реализуется в условиях достаточного ресурса и отсутствия хищников. Для нее характерны экспоненциальный рост численности, активность к расселению, высокая скорость метаболизма;

вторая осуществляется в условиях конкуренции, ограниченности территории и наличия хищников, при этом проявляются определенное самолимитирование и уменьшение прироста численности с увеличением популяции в условиях конкурентности, отбор особей по силовым, размерным, скоростным качествам и умеренный метаболизм;

третья проходит при ухудшающихся неблагоприятных условиях, недостатке ресурсов, прессинге хищников и приводит к существенным изменениям скорости метаболизма, запасанию корма, поиску убежища, спячке;

четвертая стадия идет при крайне неблагоприятных условиях, при этом возникают качественные изменения особей и популяции в целом, появляются мутанты и происходит

переход в новую экологическую нишу.

В рамках популяции имеют место в той или иной степени все четыре стратегии ее развития. Переходы от одной стадии к другой идут в зависимости от внутренних и внешних условий.

Параметр ε как раз и характеризует состояние популяции в процессе ее эволюции. С ростом ε популяции проходят все четыре стратегии. При достижении некоторого критического значения ε_0 происходят генетические преобразования. Измененные организмы уходят в новую экологическую нишу и закрепляются в ней — формируется новый вид. Поскольку процессы появления и закрепления признаков на разных стадиях носят случайный, статистический характер, состояние популяции может быть задано функцией распределения $N(\varepsilon, r, t)$, где r — пространственная координата, t — текущее время. При изменении определяющих факторов эволюции в пространстве и времени на

389

каждой стадии развития, которая и выражается через введенный параметр ε , происходит общий процесс перераспределения особей в популяции по состояниям от комфортных условий до генетических преобразований в пределах $0 < \varepsilon < \varepsilon_0$.

Функция распределения особей в популяции может быть описана больцмановским распределением по ε в рамках представлений молекулярной физики:

$$N = N_0 e^{-\varepsilon/T},$$

где T — некая «популяционная температура», также характеризующая энергетическое состояние популяций. При малых T популяция находится в комфортных условиях. С ростом T наступают мутагенные и соматические изменения у все возрастающего числа особей и численность популяции, достигнув насыщения, постепенно начинает уменьшаться. При достижении некоторого критического значения $T_{кр}$, когда резко возрастает вариабельность (число и подвижность приобретаемых изменений и признаков), популяция либо прекращает свое существование, либо, изменяясь, переходит в новое состояние, новую экологическую нишу.

В общем случае изменение функции $N(\varepsilon, r, t)$, характеризующей изменения в состоянии популяции, описывается так называемым *уравнением Фоккера—Планка* с учетом источников N , задающих процессы рождения и гибели особей. Таким образом, генетические преобразования и эволюция в целом происходят в значительной мере через изменение состояния популяции. При некоторых значениях ε в организмах создаются условия для мутаций. В этом смысле мутации определяются условиями существования популяций. Комплексный анализ такой взаимосвязи имеет большое значение при рассмотрении эволюции живого мира.

В СТЭ существуют представления о микро- и макроэволюции. *Микроэволюция* связана с необратимыми преобразованиями генетико-экологической структуры популяции, которые могут привести к формированию нового вида. *Макроэволюция* изучает основные направления и закономерности развития жизни на Земле и происхождение человека как биологического вида, и таким образом осуществляется через процессы микроэволюции. В рамках системного подхода и ту, и другую можно описать через элементарные явления и ведущие факторы.

390

14.2.3. Элементарные факторы эволюции

Н.В. Тимофеев-Ресовский [136—138] сформулировал представления об элементарных явлениях и факторах эволюции в следующих основных положениях. В качестве элементарной эволюционной структуры выступает популяция. Изменение генотипического состава популяции наблюдается в виде элементарного эволюционного явления. Сам генофонд есть элементарный эволюционный материал. И наконец, существуют элементарные эволюционные факторы — *мутационный процесс, популяционные волны, изоляция, естественный отбор*.

Мутационный процесс, как мы убедились, хотя и является, так сказать, поставщиком элементарного эволюционного материала, не оказывает направляющего воздействия на ход эволюционного процесса. Существенное влияние на эволюцию популяций оказывают популяционные волны, или «волны жизни», которые представляют собой количественные колебания в численности популяций под воздействием различных проявлений внешней среды — сезонных изменений климата, различных природных или техногенных катастроф и т.д. С одной стороны, это приводит к изменению частоты повторяемости генов в популяциях и как следствие — к снижению наследственной

изменчивости. Этот процесс иногда называют *дрейфом генов*. С другой стороны — к изменениям концентрации различных мутаций и уменьшению разнообразия генотипов, содержащихся в популяции, что может вызвать изменения направленности и интенсивности действия отбора. В этом смысле популяционные волны не дают вполне определенного хода эволюции.

Третий фактор эволюции — изоляция — нарушает свободное скрещивание и закрепляет как случайно возникшие, так и возникшие под действием отбора изменения в наборах признаков и численности генотипов в различных частях популяции. Изоляция может возникать по пространственно-географическому и биологическому (репродуктивному) признакам. Существует пять форм различия: биологическая изоляция по поведению особей (этологическая), по предпочтению разных мест обитания (экологическая), по сезонности в сроках размножения (сезонная), по размерам и структуре тела (морфологическая) и по различию наследственного аппарата, связанного с несовместимостью половых клеток (генетическая). Общим итогом изоляции может быть возникновение независимых генофондов двух популяций,

391

которые могут впоследствии развиться в независимые виды. Направленной эволюции этот фактор также не обеспечивает.

Естественный отбор, четвертый элементарный эволюционный фактор, проявляется в дифференцированном, направленном сохранении в популяции определенных генотипов и их избирательном участии в передаче следующему поколению. Как мы уже отмечали, этот процесс идет на уровне целого живого организма и закрепления признаков в особях и популяции. Таким образом, естественный отбор, являясь направленным фактором, определяет направление движения всей биосферы, ее развитие в процессе становления порядка из хаоса. Согласно И.И. Шмальгаузену [153], естественный отбор может реализовываться в *движущей* и *стабилизирующей* формах.

Движущий отбор в результате действия мутаций и окружающей среды для популяции производит закономерное изменение ее в определенном направлении, стабилизирующий отбор совершенствует индивидуальное развитие особей, не меняя признаков организмов. Это как бы защитный аппарат от возможных случайных нарушений во внутренней и внешней средах, и он связан с выработкой более устойчивых механизмов нормального формообразования. Во всех этих механизмах эволюции в организмах и их совокупностях — популяциях — сохраняются основные законы жизни: развитие при сохранении устойчивости, стабильности различных форм жизни.

14.2.4. Живой организм в индивидуальном и историческом развитии

Организм, по выражению И.И. Шмальгаузена, предстает как целое в индивидуальном и историческом развитии. Устойчивость развития сложной живой системы определяется через ее гомеостаз. Сочетание эволюционных принципов оптимальности и термодинамических закономерностей, определяющих устойчивость неравновесных самоорганизующихся систем, позволяет построить количественную теорию гомеостаза живых организмов. Живой организм как единое целое сохраняет иерархическую общую структуру взаимодействия его элементов при изменении внешних условий и стабилизации внутреннего состояния посредством положительных и отрицательных обратных связей. Все это проявляется в огромном разнообразии признаков живого и выступает в качестве саморегуляции эволюции живого.

Подводя итог современных представлений синтетической теории эволюции, отметим некоторые эмпирические закономер-

392

ности развития биосистем. Установленный закон генетического разнообразия отражает тот факт, что живое генетически различно и имеет тенденцию к увеличению биологических разновидностей. С ростом сложности организации биосистем продолжительность существования вида уменьшается, а темпы эволюции возрастают. Любопытную закономерность установил также В.И. Вернадский: *«...в ходе геологического времени выживающие формы увеличивают свои размеры, а следовательно, и вес, а затем вымирают»* [4].

Эволюционные изменения случайны и ненаправлены, поскольку исходным материалом для них являются различные мутации. Эволюция протекает дивергентно, постепенно, через отбор мелких случайных мутаций. Новые формы могут

образовываться через более крупные наследственные изменения, жизненность которых определяется отбором. Хотя сам процесс эволюции идет достаточно медленно в своем историческом развитии и постепенно, в этом процессе могут быть скачки (так называемое *правило прерывистого равновесия*) из-за бифуркаций в геологическом развитии Земли и изменения условий для биоты.

14.2.5. Геологическая эволюция и общая схема эволюции Земли по Н.Н. Моисееву

Добиологическая эволюция, приведшая к образованию биологических молекул, и биологическая эволюция рассматриваются как часть эволюции Вселенной, следовательно, включают эволюцию в неживой, косной природе Земли, в том числе и геологическую эволюцию. Имеются модели зарождения жизни в процессе планетарной эволюции или планетарной формы движения материи. Из геологических исследований следует, что первые изверженные, метаморфические и даже первичные осадочные породы возникли около 4,3—3,9 млн лет назад, следы первых простейших живых организмов микрофоссилий — около 3,5 млн лет назад. Такое совпадение предопределило гипотезу естественного эволюционного возникновения жизни на Земле практически одновременно с геологической эволюцией.

В этой гипотезе предполагается, что появление соответствующих горных пород и минералов, а также магнитного поля Земли примерно совпадает с моментом появления жизни, т.е. самоорганизация эволюционных процессов неживой и живой природы идет по одной и той же схеме. Экспериментально было показано, что на глинах может происходить синтез полипептидов, а на

393

базальтах — полинуклеотидов, т.е. как бы имеется минералогический код, который управляет синтезом на поверхности породы и даже обеспечивает для глин возможность матричного синтеза как самих глин (до 30 слоев), так и полимеров. Возможно, что первые примитивные гены представляли собой микрокристаллические структуры глины, причем каждый новый слой глины выстраивается в соответствии с особенностями строения предыдущего, как бы получая от него информацию о строении. Предполагается, что становление генетической информации шло по схеме:

геохимические процессы → минералообразование → → эволюционный катализ (автокатализ).

В рамках синергетических представлений Н.Н. Моисеев [94] построил следующую схему эволюции нашей планеты. Процесс формирования Земли из протопланетного облака, вероятно, длился миллиарды лет. Принято считать, что окончательно Земля как планета сформировалась около 5 млрд лет назад. Как мы отмечали, появление развитой биосферы можно считать первой фундаментальной бифуркацией — скачком в эволюции, когда появилась анаэробная прокариотическая жизнь. Создатели первой биосферы — прокариоты, производя кислород, подготовили условия для возникновения второй бифуркации. Они погибли, однако биосфера осталась, но изменилась. Около 1,2 млрд лет назад появились эукариоты, обладающие кислородным дыханием. Последующие бифуркации связаны с накоплением кислорода в атмосфере и выходом живых организмов на сушу около 600—700 млн лет назад.

В дальнейшем неизвестные нам катаклизмы в природе Земли привели к новым бифуркациям — гибели динозавров и развитию млекопитающих. Около 33,5 млн лет назад произошла еще одна катастрофическая 'перестройка биосферы, которую Н.Н. Моисеев красиво назвал восхождением к разуму, поскольку она в той или иной степени вызвана становлением человека в палеолите и неолите и переходе человечества к земледелию и скотоводству. В предыдущие периоды человек еще полностью был включен в биоту, как и другие живые существа, участвуя в естественном круговороте веществ, а в результате неолитической бифуркации он стал выделяться из остального живого мира, начав формировать искусственный круговорот веществ.

394

Возникла так называемая вторая природа, или техносфера, появились искусственные биогеохимические циклы. Сначала это были искусственные биоценозы, затем человек стал включать в круговорот вещества и наследие прошлых биосфер — полезные ископаемые, т.е. возник новый, ранее не существовавший круговорот веществ в природе. Сейчас в силу всех своих неразумных действий мы находимся на пороге новой кардинальной перестройки биосферы. Симптомами приближения к бифуркационному

состоянию являются потепление климата, уменьшение толщины озонового слоя и уменьшение биоразнообразия.

Возвращаясь к основным положениям СТЭ, подчеркнем, что главной движущей силой является естественный отбор. Эволюционный процесс в биосфере в целом носит многоуровневый характер и протекает на всех уровнях организации живой природы. Различаясь по уровням, эти процессы эволюции сливаются в единый процесс эволюции биосферы. В целом и онтогенез, и эволюция определяются термодинамическими особенностями самоорганизации открытых систем и связаны с оттоком энтропии от живых организмов в окружающую среду.

В равновесии не может быть эволюции, образования новых структур и биологического отбора. Только неравновесность структуры вызывает ее развитие, эволюцию. Именно в этом синергетический подход объединяет термодинамику процессов в живой и неживой природе. М. Эйген вывел биологическую эволюцию из физических представлений. Он отмечал, что *«отбор и эволюцию можно охарактеризовать экспериментальными принципами и это позволяет физически обосновать и количественно сформировать дарвиновскую теорию. В таком подходе теория Дарвина уже не просто описывает некий исторический путь эволюции, но представляет собой выводимый из физики закон, управляющий общими процессами самоорганизации»*.

Живое можно также рассматривать как совокупность биосистем различных уровней организации жизни в процессе самоорганизации в целом живой системы. Роль эволюции заключается именно в том, что в процессе эволюции возникла жизнь как особая форма материи из неживого вещества. Сама биологическая эволюция обусловлена возникновением генетического кода.

Загадки возникновения жизни, ее эволюции и смерти следует более глубоко осмыслить. Как происходит эволюция при сохранении одних и тех же структурных элементов живой материи? Этот вопрос пока не прояснен.

395

14.3. Аксиомы биологии

Я давно уже чувствую, что биология должна увлекать не меньше, чем какая-нибудь таинственная история, история, потому что она и есть таинственная история.

Р. Докинз

Исследовать - значит видеть то, что все видели, а думать так как не думал никто.

А. Сент-Дьерди

Для построения корректной теории, которая могла бы адекватно описывать явления в рамках какой-либо науки, необходимо иметь некоторое количество основных положений или принципов. Это хорошо понималось в старой доброй натурфилософии. Конечно, такой подход является в известной мере абстрактным, но ведь и сама теория достаточно абстрактна. Кроме того, эти аксиомы проверяются опытами и по мере развития науки превращаются в ее законы. Особенно важно это для тех наук, которые возникли как описательные. К ним относятся науки о живой и неживой природе — геология, география, биология, ботаника и целый ряд производных от этих наук.

Уже достаточно давно возникли желание и потребность не просто классифицировать огромное количество накопившихся фактов о сложных явлениях, наблюдаемых человеком в реальном мире, но и сформулировать некие основные положения — аксиомы, общие закономерности развития Универсума. В общем понимании аксиомы — это концентрированный опыт человечества, в известном смысле стартовая площадка для последующего взлета [14]. Как сказал Э. Белл, *«аксиома — это предассудок, освященный тысячелетиями»*. Поскольку проблемами живых организмов занимается биология, то вопрос ставится более конкретно: можно ли сформулировать основные аксиомы биологии?

Учитывая глубокое проникновение в молекулярную биологию точных наук, для которых аксиоматичность является одной из основ формулировки задач, на этот вопрос можно ответить положительно. Однако трудность формулировки аксиом биологии состоит в том, что надо не только отобрать их из многих важных биологических закономерностей, но и дать общее определение жизни и признаков живого. Аксиомы,

положенные в основу теоретической биологии, должны быть очевидными, необходимыми и достаточными. Система аксиом должна быть полной и независимой, как это формулируется в математике. В целом же

396
непротиворечивую теорию невозможно построить без аксиоматических оснований.

Биологические аксиомы не должны противоречить законам физики, которые тоже описывают природу в целом, но количественно, и, кроме того, следует учесть, что вся живая природа состоит из тех же самых атомов и полей, что и неживая. По существу, во второй части данного учебника мы пытаемся показать, что физические модели и представления можно применить к объяснению функционирования живого организма и использовать понятия нелинейных процессов в сложных самоорганизующихся системах.

Рассматривая законы классической, квантовой и релятивистской механики, мы убеждались, что фундаментальные физические законы (почти что аксиомы) носят характер запрета: они справедливы лишь при определенных условиях. Подобные запреты действуют и в живой природе, к ним, естественно, должны быть добавлены и специфичные для биологии законы, но не противоречащие первым. Поэтому биологические аксиомы могут быть выведены из физических аксиом. (К сожалению, для самой физики полной и независимой системы физических аксиом до сих пор нет.)

В начале XX в. немецким математиком Д. Гильбертом (1862— 1943) были сформулированы проблемы, стоящие перед математикой. Одна из проблем — 23-я, относящаяся к формулировке физических аксиом, так и осталась пока не решенной: строго говоря, не создана база исходных независимых положений, на основе которых можно вывести все физические законы. И это понятно: естественную науку нельзя построить как замкнутую систему, т.е. раз и навсегда перечислить все ее исходные положения. Но это уже проблемы самой физики! В научном же методе описания живой природы физика прекрасно работает.

14.3.1. Первая аксиома

Мы знаем, что каждому живому организму присуща неповторимая для других организмов специфичная структура белковых молекул. Первая аксиома, раскрытие смысла которой затянулись на более чем две тысячи лет, определяет условия, при которых возможно воспроизведение этой специфичной организации молекул.

Используя идеи самоорганизации сложных систем, роли информации в эволюции живого и кибернетики как математиче-

397
ского аппарата теории информации и управления мы приходим к выводу, что в основе развития любого живого организма должны обязательно иметь место две программы, инструкции, что делать: описание, из чего состоит эта структура, и описание, как ее воспроизвести, т.е. сделать. Таким образом, весь процесс размножения и развития организма состоит из двух отдельных операций: копирование наследственной программы (генотипа — в терминах §13.2) и собственно изготовление самого организма, реализующееся в фенотипе. В этом смысл *первой аксиомы биологии*:

• *Все живые организмы представляют собой единство фенотипа и генотипа — программы для его построения, передающейся из поколения в поколение.*

Это положение лежит в основе всей живой материи. Жизнь на основе только одного генотипа или фенотипа невозможна, поскольку тогда нельзя создать условия ни для самовоспроизведения, ни для ее построения и самоподдержания. Такая формулировка первой аксиомы является функциональной для нашего понимания жизни во Вселенной. В земных условиях основа генотипа — нуклеиновые кислоты, фенотипа — белки. Возможное разнообразие жизни во Вселенной может иметь другое структурное воплощение, но принцип раздельного копирования при единстве генотипа и фенотипа является, по-видимому, единым и незыблемым для всего Универсума.

Конечно, первая аксиома не снимает многих других важных для биологии вопросов. Например, сколько нужно информации, содержащейся в генотипе, для создания фенотипа? Сколько вообще ее потребуется для описания и генотипа, и фенотипа? Как реализуется генетическая программа в развитии организма и т.д. Ответы на них надо искать в следующих аксиомах.

14.3.2. Вторая аксиома

Эта аксиома была сформулирована русским биологом Н.К. Кольцовым в 1927 г.:

Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

• «Наследственные молекулы» синтезируются матричным путем. В качестве матрицы, на которой строится ген будущего поколения, используется ген предыдущего поколения.

398

Н.К. Кольцов в своей аксиоме как бы логично продолжил цепь рассуждений биологов предыдущих поколений. Вспомним принцип Ф. Реди: «*Omne vivum ex vivo*» (все живое из живого), Вирхова: «*Omnis cellula ex cellula* (каждая клетка из клетки). Кольцов справедливо добавляет: «*Omnis molecula ex molecula*» (каждая «наследственная молекула» из «наследственной молекулы»).

Как отмечалось, Криком и Уотсоном была расшифрована структура этой «наследственной молекулы». «Веществом наследственности» оказались молекулы ДНК. Заметим, что мы здесь рассматриваем аксиомы, т.е. они должны распространяться на более широкий круг явлений. Согласно первой аксиоме по наследству передается не сама структура, а описание и инструкция по ее изготовлению; главное же во второй аксиоме — это не материальный субстрат, а матричный принцип. В земных условиях белки оказались плохими матрицами, а нуклеиновые кислоты — хорошими. Но отсюда не должно следовать, что в других частях Вселенной это не обязательно будет выполняться: гены там могут состоять из других комбинаций. Однако мы предполагаем, что согласно второй аксиоме Кольцова они будут размножаться также матричным способом.

Вторая аксиома биологии постулирует широкое распространение матричного копирования в жизненных процессах. Новая ДНК копируется на матрице старой, мРНК — на матрице ДНК, полипептидная цепь, образующая белок, — на матрице мРНК. По существу, вся жизнь — это матричное копирование с последующей самосборкой копий.

Заметим, что понятие матриц широко используется в математике и физике как определенной связи чисел в некоторой структуре — матрице, а принцип матричного копирования известен уже тысячи лет, например использование оттисков с печатей в Древнем Египте и Месопотамии.

Матрицы до сих пор используются в практической деятельности человека для массового копирования сложных структур с закодированной в них информацией: классическое книгопечатание (есть даже такой термин — газетные матрицы), чеканка монет, изготовление фотоснимков и т.д. Можно в шутку для наглядности сказать, что лежащее в основе жизни матричное копирование есть «книгопечатание» в мире молекул.

Итак, первая и вторая аксиомы биологии описывают в целом статические закономерности, но не описывают динамику жизни, например механизм изменения наследственных матриц. Это требует введения дополнительных аксиом.

399

14.3.3. Третья аксиома

Эта аксиома отвечает на вопрос, какие динамические закономерности приводят к изменениям в наследственных матрицах, поскольку именно изменения ведут к развитию, эволюции организма. Но как это происходит? Причина как раз и состоит в том, что воздействие внешней среды влияет на передачу необходимой генетической информации для построения живого организма. Само формирование блока полезной информации есть выделение ее из бесполезного шума (вспомним представления о ценности информации).

Шум — это стохастическое изменение случайных сигналов, подверженных влиянию внешних факторов. Простейшим из них является температура, приводящая к изменению скорости движения молекул, в том числе и в живом организме. Этот тепловой шум искажает целенаправленный генетический сигнал, вносит в него изменения, т.е. генетическая программа передается не идеально, а искаженно, с ошибками (подобно опечаткам при перепечатке текста, даже и матричным способом). На языке генетики это и есть мутации.

Третья аксиома биологии имеет из всех других аксиом наиболее глубокий физический смысл. Дело в том, что здесь «напрямую» работает статистическая и квантовая физика. Поведение «наследственных молекул» может быть описано на языке статистической физики как хаотическое движение микрочастиц со случайным распределением их параметров. Средняя энергия теплового движения молекул при тех температурах, когда возможна жизнь, составляет около 0,025 эВ. Это означает, что при физиологических температурах молекула ДНК остается относительно стабильной. Однако это среднее значение энергии; в целом же в статистическом ансамбле микрочастиц даже при хаотическом их движении в состоянии равновесия имеет место так называемое физическое распределение Максвелла, показывающее, что всегда возможны такие

скорости молекул, что эти молекулы разрушают структуру гена и вызывают мутации.

В соответствии со статистической физикой и ее вероятностным пониманием законов такие мутации будут случайными (поэтому можно говорить лишь о некоторой вероятности мутации), непредсказуемыми (в противном случае мы должны знать координаты и импульсы всех молекул в данной клетке) и ненаправленными, т.е. без учета содержания сохраняющейся информации, и тем самым они только случайно становятся приспособительными.

400

Из этих представлений следует *третья аксиома биологии*:

• *В процессе передачи из поколения в поколение генетических программ в результате многих причин они изменяются случайно и ненаправленно, и лишь случайно эти изменения оказываются приспособительными.*

В биологическом понимании этот постулат углубляет неопределенное дарвиновское понятие изменчивости — исходного материала для эволюции.

Биофизики подсчитали, что для единичной мутации, приводящей к изменению генетической программы, необходимо сообщить молекуле ДНК энергию порядка 2,5—3 эВ, что всего лишь в 100 раз больше средней тепловой энергии при обычной для организма температуре. Поэтому для мутагенеза определяющим является не нагрев тела, а другие физические факторы, имеющие уже квантовую природу. Это, в первую очередь, кванты жесткого внешнего облучения живого организма (γ -кванты, нейтроны, высокоэнергетичные частицы, рентгеновское и ультрафиолетовое излучение, быстрые элементарные частицы), а также молекулы и ионы веществ, реагирующие с ДНК, так называемые химические мутагены.

В случае, когда мутацию вызывают кванты излучений, происходит перераспределение энергии во всей совокупности молекул и их взаимодействие должно определяться квантово-механическими процессами и химической кинетикой. Здесь проявляется еще один физический смысл третьей аксиомы биологии — вступают в силу законы квантовой механики, в частности, вероятностное представление положения квантовой частицы через ее волновую функцию ψ и хорошо уже известный принцип неопределенности Гейзенберга (мутации-то происходят в микромире!)

Для того чтобы вызвать мутацию, надо «довести» необходимую для этого энергию ($E_{\min} \approx 2,5—3$ эВ) до области, где происходит мутация, размер которой определяется размером гена. Тимофеев-Ресовский и Циммерман ввели для этой области понятие *радиуса эффективного обмена* и определили, что $R_{\min}$ составляет порядка 10^{-7} см. Это уже типично квантовые размеры, и «начинает свою работу» принцип неопределенности. Поскольку размер области мутагенеза известен, то импульс излучения, а следовательно, и необходимая для мутации энергия, могут быть точно известны лишь до постоянной Планка h в соотношении неопределенности $\Delta p \Delta x \geq h$.

401

Другими словами, мы можем лишь с какой-то долей вероятности предполагать, достаточной ли энергией обладает квант ионизирующего излучения для мутации и попадет ли он в область эффективного взаимодействия с геном. Это положение квантовой механики подтверждает, что процесс мутагенеза является вероятностным. Более того, по тем же законам квантовой механики время и место каждой единичной спонтанной мутации принципиально непредсказуемо.

Таким образом, третья аксиома биологии является следствием из квантовомеханических физических постулатов: из-за невозможности реально точно и одновременно определить координаты и импульсы всех молекул в клетке (если бы мы это точно знали, то могли предсказать, как пойдет эволюция живого!) мы также принципиально не можем найти одновременно необходимые параметры тех квантов, которые вызывают мутацию. Можно сказать, что третья аксиома — это просто физическая аксиома, и ее выполнение обусловлено определенными значениями характерных констант мутации $E_{\min}$ и $R_{\min}$.

Заметим, что отбор случайных изменений, подмеченных еще Дарвином в его триаде — наследственность, изменчивость, естественный отбор, — выступает с рассмотренных позиций не только как двигатель эволюции жизни, но и как причина ее становления. Без мутаций естественный отбор не работает. Такой вывод позволяет расширить применение этой аксиомы к пониманию зарождения жизни в масштабах Вселенной: для эволюции необходимы мутации, которые могут играть роль инструмента только в лабильном субстрате, и это с антропной точки зрения приводит, в частности, к невозможности существования во Вселенной кремниевых или металлических форм жизни. Как удачно

отметил Б.М. Медников, «*жизнь всегда идет по лезвию бритвы*» [14].

Рассмотренные три аксиомы, однако, не дают обоснования тому, как происходит становление фенотипа, тех признаков, которые присущи живому. С этой проблемой связана четвертая аксиома.

14.3.4. Четвертая аксиома

Эта аксиома была предложена Н.В. Тимофеевым-Ресовским. Вообще говоря, из третьей аксиомы должно вытекать, что так как изменения генетических программ происходят случайно и не направленно, то, накапливаясь из поколения в поколение, 402

они должны были бы разрушать и генетическую информацию, и в целом фенотип, который формируется под влиянием внешней среды и генетической программой. В реальной же эволюции всех видов живого этого не происходит: структуры живых организмов сохраняются от поколения к поколению, и, более того, на длительном отрезке времени происходит значительное усложнение структур и, можно сказать, их совершенствование. В чем здесь дело?

Это противоречие, к которому мы неоднократно обращались при рассмотрении смысла эволюции Больцмана и эволюции Дарвина, в значительной мере обусловлено представлениями классической термодинамики и ее второго начала, что хаос победит, в конце концов, структуру, порядок, организованность, усреднит сложность, низведет ее до печальной для нас мертвящей простоты. Как мы уже убедились, синергетические представления нелинейного развития сложных самоорганизующихся термодинамически открытых систем обязывают динамический хаос порождать в диссипативных структурах порядок, более сложно организованные части хаотической системы, что и позволяет на каком-то этапе в пространстве и времени ожидать возрастание сложности, переход от простых амёб к более высокой иерархии организованности человеческого организма.

Но не надо забывать, что хаос и порядок «живут» вместе и взаимодействуют случайным образом. Поскольку изменения происходят случайно и в фенотипе, эволюция живой природы оказывается принципиально не предсказуемой. Однако опять же из опыта наблюдений приспособления живых организмов к окружающей среде мы знаем, что естественный отбор способствует размножению тех особей, которые наилучшим образом приспособились к конкретной окружающей среде и передали эту адаптацию своим потомкам.

Объяснение этого содержится в *четвертой аксиоме биологии*, сформулированной Тимофеевым-Ресовским как принцип усиления:

• *Случайные изменения генетических программ при становлении фенотипов многократно усиливаются и подвергаются отбору условиями внешней среды.*

Расчет такого усиления, выполненный Ратнером, приводит Б.М. Медников [14]. Допустим, какая-то клетка, носительница мутации гена, кодирующего важный для жизни фермент, в про-

403
цессе роста и развития превратилась в 10^{15} клеток, соответственно умножились и гены. Предположим, что каждый ген производит 100 молекул тРНК, а на каждой молекуле тРНК образуется 100 молекул фермента. Считаем также, что при этом каждая молекула фермента осуществляет 10^4 актов какой-либо реакции в минуту. Тогда, учитывая все эти количественные прикидки: $10^{15} \cdot 10^2 \cdot 10^2 \cdot 10^4 = 10^{23}$, мы получаем, что в 10^{23} раз усиливаются результаты одного квантового скачка одной мутации. Этот коэффициент усиления 10^{23} сравним с постоянной Авогадро, равной числу молекул в одном моле вещества. С таким ощутимым коэффициентом усиления естественный отбор работать уже может. В данном случае мы переходим от микроуровня к макроуровню эволюции.

Заметим, что этот отбор действует не напрямую на генетические программы, а на фенотипы, в которых каждое изменение усиливается в миллиарды миллиардов раз.

Любопытно, что известный американский биохимик и фантаст Айзек Азимов, по аналогии с «демоном Максвелла», назвал естественный отбор «демоном Дарвина». Напомним, что «демон Максвелла» в классической термодинамике открывает «заслонку» в перегородке сосуда, заполненного разреженным газом, перед быстрыми молекулами, и закрывает перед медленными. Как он их распознает и сортирует — это его дело: на то он и «демон». Тогда один конец сосуда нагревается, другой — охлаждается.

Поскольку общая энергия молекул в сосуде сохраняется, то первый закон

термодинамики не нарушается, но система перешла от более вероятного к менее вероятному состоянию как бы волевым («демоновским») порядком. «Демон» как бы разрешает получить разность температур, позволяющую совершить работу в обход второго закона термодинамики. Кстати, пример с «демоном» придумал сам Максвелл. В нашем случае именно этот «демон Дарвина» (отбор) пропускает в следующее поколение такие организмы, изменения в которых дают более высокие шансы на выживание и размножение.

14.3.5. Физические представления аксиом биологии

Таким образом, количественные физические законы и постулаты объясняют биологические закономерности, в частности законы Дарвина, и рассмотренные аксиомы биологии. Можно считать, что живой организм в деталях своего строения и пове-

404
дения не опровергает законов физики и тем самым на современном этапе развития науки мы как бы во многом выводим биологию из физики. То, что сегодня известно в молекулярной биологии, практически целиком обосновывается физическими представлениями, в том числе и на основе статистической физики. И тогда *«жизнь — лишь вероятностный туман»*, как сказал английский физик Клер Баулс, имея в виду свою теорию времени, в которой он пытается обосновать идею, что, совсем как у его соотечественника поэта Уильяма Блэйка («В одном мгновении видеть вечность»), в каждом мгновении содержится вечность. Весь мир по, К. Баулсу, — это мозаика множества «настоящих моментов», каждый из которых содержит информацию о разнообразных конфигурациях Вселенной. Это как бы законсервированное в настоящем скопление «нерожденных завтрашних дней» и уже случившихся в прошлом событий. По его мнению, прошлое событие не более реально, чем будущее или даже выдуманное. Память о нем вовсе не означает, что оно на самом деле было. Просто есть вероятность, что какое-либо событие действительно могло произойти.

Именно в этом смысле вероятностный туман — это и есть то, что мы называем жизнью. Поэтому К. Баулс считает, что прошлое и будущее не реальны, а имеет место только текущий момент, и мы как бы заморожены во времени. Естественно, что это не означает, что все нам понятно и все объясняет только физика. Но справедливое желание привнести в биологию действующие количественные физические законы порождает надежду понять зарождение жизни и ее эволюцию с позиции постнеклассической физики и синергетических методов исследования общих закономерностей живой и неживой природы на основе фундаментальных законов современного естествознания.

Вероятно, что и четыре аксиомы биологии, впервые обобщенные Б.М. Медниковым 20 лет назад, могут быть дополнены новыми, но это не будет означать, что они неверны. Все это — очередные наши шаги к познанию истины, которая, по философской мудрости, — не что иное, как *«заблуждение, которое, длилось много веков, а заблуждение — это истина, которая просуществовала лишь несколько минут»*.

Важным же для нас здесь является то, что эти четыре аксиомы биологии характеризуют именно жизнь и неприменимы к описанию неживой природы.

405

14.4. Признаки живого и определения жизни

Жизнь может быть понятна только в обратном направлении, но должна быть прожита - в прямом.

Серен Кьеркегор

Только, совокупность двух процессов, созидания и разрушения, характеризует живое тело. Организм живет только пока он разрушается.

К.М. Тимирязев

Жить - значит обладать способностью более или менее целесообразно откликаться на воздействие окружающей среды.

Н.Д. Платэ

Когда человек поймал рыбу, ему не нужны верши. Когда человек поймал зайца, ему не нужен, капкан.

Когда человек познал истину, ему не нужны слова.

Чжуан Цзы

Ответить на «простенький» вопрос, что такое жизнь, чрезвычайно трудно, ибо это

один из главных вопросов, который человек может себе задать. Живые организмы обладают рядом признаков, которых нет у большинства объектов неживой природы (а часть и есть!), но среди них нет ни одного, который был бы присущ только живому, т.е. выделить один существенный и единственный критерий жизни на современном уровне науки практически невозможно. В большинстве случаев, казалось бы, уж точно установленный фактор или принцип определения по мере развития наших представлений требует дополнений, уточнений и т.д. Связано это с тем, что рассматриваемыми проблемами занимаются многие специалисты из разных областей науки и они в своих определениях подчеркивают существенный признак живого именно с позиций своей науки. Это вовсе не значит, что они неверны — они просто отражают какой-то один из признаков жизни и понимания жизни. Даже в случае признания, что жизнь должна определяться физическими и химическими законами (но по механизмам их реализации именно в живой природе!), невозможно путем сведения к этим законам отдельных явлений понять полно сущность жизни как особого явления. Утверждение, что жизнь подчиняется только законам физики, на самом деле есть просто признание того, что в биологических объектах законы физики не нарушаются.

Поэтому жизнь, а следовательно, и все живое, по-видимому, не может быть определена по какому-либо одному признаку. В современной биологии при описании живого лишь перечисляются эти признаки, но в их совокупности. Синергетические методы, применяемые к изучению сложных самоорганизующихся

406 систем, также не позволяют выделить наиболее существенный критерий. Кроме того, отличие живого от неживого с давних времен находится на границе между материализмом и идеализмом: «Психея» Платона, «Энтелехия» Аристотеля, бессмертная душа в различных религиозных учениях и верованиях, «мировой разум» Гегеля, «жизненная сила» виталистов и даже модное сейчас понятие энергоинформационного поля — это все попытки объяснить живое нематериальными представлениями. При этом предполагалось, что нематериальная душа, выступая в роли причин жизни, управляет материальными процессами в живых организмах и не нарушает физических законов. Конечно, с позиций современной науки с этим согласиться нельзя. Жизнь материальна по своей природе и проявляется так же, как и в неживом неорганическом мире, через движение материальных носителей, но в специфической форме. Но полное и исчерпывающее определение жизни наука пока дать не может. И возможно ли это вообще?

14.4.1. Совокупность признаков живого

Какова же совокупность основных признаков живого?

- Живые организмы характеризуются сложным высокоупорядоченным строением и системной организацией. Уровень их организации и иерархичности значительно выше, чем в неживых объектах. Живые системы характеризуются также гораздо более высоким уровнем асимметрии, в том числе наличием молекулярной хиральности, и процессами самоупорядочения в пространстве и времени. Структурная компактность, энергетическая экономичность и эффективность использования энергии живых организмов являются результатом высочайшей пространственной упорядоченности на молекулярном уровне.

- Живые организмы имеют потребность для своего развития получать энергию из окружающей среды, непосредственно или косвенно поглощая лучистую энергию Солнца для поддержания и усиления своей высокой упорядоченности. Зеленые растения используют эту энергию для синтеза питательных веществ. Животные используют энергию, содержащуюся в их пище, для поддержания своего существования, роста и размножения.

Живое извлекает структурированную полезную для живого организма отрицательную энтропию из окружающей среды и «сбрасывает» избыток неструктурированной положительной эн-

407 тропии обратно в эту среду. Происходит перераспределение энтропии, как формы энергии, в системе живой организм — окружающая среда. Сложность и организованность структуры живого организма будут определяться этим перераспределением. Живое способно «извлекать» порядок из хаотического поведения молекул своего организма, что также способствует уменьшению его энтропии как упорядоченной системы.

- Живые организмы активно реагируют на окружающую среду и участвуют в обмене энергией, веществом и информацией с окружающей средой. Живые организмы способны усваивать полученные извне питательные вещества, перестроив их так, чтобы они становились подобными их собственным материальным структурам, и в результате этого многократно воспроизводить эти структуры. Способность реагировать на внешние раздражители, в том числе и на получение информации, является универсальным признаком всех живых систем, и растений, и животных. Живые организмы обладают способностью двигаться и проявлять активность при взаимодействиях с окружающей средой.

- В процессе самоорганизации живые организмы развиваются, изменяются и усложняются. В отличие от самоорганизации неживых неорганических систем, где молекулы просты, а механизм реакций сложен, в самоорганизации живых систем механизмы просты, а молекулы сложны. Существенна и роль обратной связи организмов с окружающей средой. Для создания и развития новых структур, образования новых органов нужна положительная обратная связь, а для устойчивого состояния — отрицательная обратная связь. Русский физиолог **И.П. Павлов (1849—1936)**, лауреат Нобелевской премии, еще до появления теории самоорганизации называл эти процессы в живом организме саморегуляцией. Живой организм способен и к самосохранению, устойчивости своего существования, и к развитию, восприимчивости, и к изменениям. В живом организме на протяжении всей жизни идет непрерывная замена старых клеточных структур на вновь образующиеся.

- Все живое не только размножается, но и имеет способность к избыточному воспроизводству. Это одна из главных особенностей живого, в которой проявляется действие механизмов изменчивости и наследственности, определяющих эволюцию всех видов живой природы и условия их выживания.

- Все живое отличается многообразием форм, сложностью химических компонентов и динамикой протекающих в живом

408

организме процессов. Процесс усложнения структур и функций обусловлен более эффективным использованием энергии, черпаемой из окружающей среды и превращаемой биологическими системами в сложные и разнообразные формы жизни.

- Живые организмы способны получать, сохранять и передавать информацию, причем полученную информацию о себе и окружающем мире они стремятся использовать максимальным образом. Наследственная информация, заложенная в генах и необходимая живому организму для существования, развития и размножения, передается от каждого индивидуума его потомкам. Эта информация определяет направление развития организма в процессе взаимодействия его с окружающей средой, а реакция на нее индивида может искажаться, обеспечивая тем самым эволюцию развития потомков. Признаком живого является также биологическое узнавание.

- Живые организмы способны хорошо приспосабливаться к окружающей среде обитания и соответствуют своему образу жизни. При этом проявляется еще одна сущность жизни — поддержание таких биологических норм существования, которые противостоят силам, стремящимся низвести жизнь до уровня физического равновесия.

- Живые организмы имеют способность целесообразно распространяться в пространстве и времени, а также активно влиять на неживую природу и изменять в целом биосферу Земли. Целевая функция живого объективно сводится к достижению оптимальных условий для выживания вида.

- Высшим формам живых организмов присущ Разум, который и позволяет материи познавать самое себя.

Отдельные из перечисленных свойств могут встречаться и в неживой природе, но только в совокупности эти свойства присущи именно живому и в своем единстве являются критериями отличия живого от неживого. Живое от неживого можно отличить также по трем признакам: веществу (в живом — органические биополимерные молекулы), структуре (живой организм состоит из живых клеток) и функциональным признакам (живое воспроизводит себя).

Вероятно, в будущем мы сможем привести и другие признаки жизни, однако и этих основных на сегодня достаточно, чтобы представить себе различие между живой и неживой природой.

409

14.4.2. Определения жизни

Посмотрим, как реализовались эти функциональные признаки в определениях жизни, которые были даны разными учеными в разное время.

Долгое время классическим определением, не утратившим свою силу и до наших дней, считалась формулировка, данная **Ф. Энгельсом (1820—1895)** в его «Анти-Дюринге»: *«Жизнь — это способ существования белковых тел, существенным моментом которого является постоянный обмен веществ с окружающей их внешней природой, причем с прекращением этого обмена веществ прекращается и жизнь, что приводит к разложению белка»*. В этом определении приведен существенный, но не единственный признак — обмен веществ, который может реализовываться также для неживых и самоорганизующихся систем. Кроме того, Энгельсом отмечено что обмен веществ приводит к постоянному обновлению химического состава частей белковых тел путем питания и выделения.

Это определение развивает А.И. Опарин: *«Жизнь — это непрерывный процесс внутреннего движения, синтеза и распада, обмена энергией с окружающей средой, направленный на самосохранение и самовоспроизведение в передаче устойчивых признаков в меняющихся условиях внешней среды»*.

Шрёдингер в книге «Что такое жизнь с точки зрения физики» считал, что *«жизнь — это упорядоченное и закономерное поведение материи, основанное не только на одной тенденции переходить от упорядоченности к неупорядоченности, но и частично на существовании упорядоченности, которая поддерживается все время»*. В силу специфической упорядоченности Шрёдингер сравнивал живые тела с аperiодическими кристаллами.

Российский биофизик М.В. Волькенштейн определяет жизнь *«как форму существования макроскопических гетерогенных открытых систем, далеких от равновесия, способных к самоорганизации и самовоспроизведению»*. Л.А. Блюменфельд подчеркивал, что живой организм способен создавать информацию при взаимодействии с окружающей средой.

По Г.А. Югаю, *«жизнь есть особая космическая организованная форма материи, существенным моментом которой является борьба энтропии и эволюции, удержание негэнтропийного состояния на основе постоянного самообновления, обмена или круговорота вещества, энергии и информации»*. По его мнению, одним из главных признаков является приспособляемость живых организмов, и

жизнедеятельность как специфическое биологическое свойство качественно отличается от физико-химических свойств и поэтому относится к категориям, раскрывающим сущность жизни.

Б.М. Медников приводит такое определение: *«Жизнь — это активное, идущее с затратой энергии поддержание и воспроизведение специфической структуры»*. По мнению В.И. Гольданского и В.А. Аветисова, жизнь возникла в результате спонтанного нарушения симметрии в биоорганическом мире вследствие индуцированной бифуркации, создания асимметрии и тем самым уже возникновения направленной эволюции. Г.А. Заварзин отмечает, что проблема возникновения жизни не сводится только к образованию биологических макромолекул, необходима еще и их самоорганизация в целостную функциональную систему, подобную клетке.

В.Г. Афанасьев считает, что возникновение жизни — системный процесс, приводящий к сложноорганизованной иерархической системе живого организма, который представляет собой диалектическое единство целого и частей. Как мы уже знаем, по Бауэру, основой жизни является «устойчивое неравновесие». Главной отличительной чертой живого является его целостность, отмечает Е.А. Либерман [85]. По замечанию Н.В. Тимофеева-Ресовского, одно из проявлений живого состояния не в том, что с развитием природы нарастает масса живого, а в том, что множится число элементарных индивидуумов и особей.

Американский биофизик Р. Фокс определяет жизнь как *«самогенерирующий и самоподдерживающийся процесс, эволюционировавший до состояния, при котором уже неразличимы его истоки»*, подчеркивая, что главной движущей силой эволюции является энергия. Согласно М. Ичасу, живое — это физическая система, обладающая свойствами осмысленности и целенаправленности. С позиций системного анализа Л. Берталанфи для биологических структур М.И. Штернберг дает определение жизни как сигнальной активной формы существования систем.

Многие ученые отмечали роль информации в становлении и эволюции живого в качестве одного из главных критериев жизни. Так, В.И. Карагодин считает: *«Живое есть такая форма существования информации и кодируемых ею структур, которая обеспечивает воспроизведение этой информации в подходящих условиях внешней среды»*. Связь информации с жизнью отмечает А.А. Ляпунов: *«Жизнь — это высокоупорядоченное состояние вещества, использующее для выработки сохраняющихся реакций*

411

информацию, кодируемую состояниями отдельных молекул». Российский астрофизик Н.С. Кардашев также выделяет информационную составляющую жизни: *«Жизнь возникает благодаря возможности синтеза особого рода молекул, способных запоминать и использовать вначале самую простую информацию об окружающей среде и собственной структуре, которую они используют для самосохранения, для воспроизводства и, что для нас особенно важно, получения еще большего количества информации»*. На эту способность живых организмов сохранять и передавать информацию обращает внимание в своей книге «Физика бессмертия» эколог Ф. Типлер. Он пишет: *«Я определяю жизнь как некую закодированную информацию, которая сохраняется естественным отбором»*. Более того, он считает, что если это так, то система «жизнь — информация» является вечной, бесконечной и бессмертной.

Еще одну сторону живого отражает Е.М. Попов: *«...именно спонтанное образование фиксированной активной формы белка, а не сама форма, есть изначальная причина фундаментальных особенностей живой природы»*. Встречается такое определение: живое — это *«система, способная эволюционно самоорганизовываться, адаптивно и агрессивно взаимодействующая с окружающей средой и повышающая свою структурную негэнтропию. Это такая система, внутренние процессы в которой протекают кооперативно, а сочетание элементов подчиняется правилу сверх аддитивного сложения»*. Предполагается, что *«такая структура и происходящие в ней процессы обеспечивают образование и функционирование информационного поля»*. По мнению авторов, это и есть поле жизни. Г.А. Голицын и В.М. Петров считают сущностью жизни *«поддержание биологических норм, противостояние силам, стремящимся низвести жизнь до уровня физического равновесия»* [51].

В пособиях по современному естествознанию можно встретить и такие определения, как: *«...живыми называются такие системы, которые способны самостоятельно поддерживать и увеличивать свою очень высокую степень упорядоченности в среде с меньшей упорядоченностью»* и там же: *«...живая природа — неоднородная целостная система, которой свойственна иерархическая организация. В живой природе системы формируются не случайно, а в определенном порядке, формируемом биологическим узнаванием»*. Поэтому реализация узнавания является универсальной и также может считаться признаком жизни.

412

В другом пособии жизнь определяется как *«высшая из природных форм движения материи, она характеризуется самообновлением, саморегуляцией и самовоспроизведением разноуровневых открытых систем, вещественную основу которых составляют белки, нуклеиновые кислоты и фосфоорганические соединения»*. Встречаются и более краткие, например: *«...жизнь есть форма существования сложных открытых систем, способных к самоорганизации и самовоспроизведению»*; *«жизнь есть способ существования и эволюции биологических систем, проявляющийся в форме процессов преобразования вещества и энергии, а также накопления информации»* и еще одно: *«жизнь — это саморегулирующийся ритмический процесс, в основе которого лежит устойчивое неравновесие циклов обмена веществ»*.

Фундаментальным свойством живой материи А.В. Кокин считает *«способность к стереоспецифичной комплементарной репродукции»*. Имеют место даже и более экзотические определения: *«...жизнь являет собой разрастающийся центр упорядоченности в менее упорядоченной Вселенной»* или: *«...жизнь — своего рода насос, снабжающий организм энергией Солнца, энергией химических реакций»*. Там же живой организм определяется *«как энергетически структурированный объект, устойчивый, многоуровневый со своей закономерной энергетической морфологией и формирующийся в русле солитонноэнергетических возможностей саморазвития»*.

Мы видим, что имеется такое разнообразие определений, только что не уступающее самому разнообразию видов живой природы, и вслед за Ходжой Насреддином в шутку можно сказать: и тот прав, и этот прав! А если всерьез, то это является отражением Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

желания найти одно полное и исчерпывающее определение живого. Понятно, что на данном этапе нашего развития и понимания окружающей нас природы вряд ли это возможно.

Заметим, что кроме упомянутых выше ученых этими проблемами занимались и многие другие. Так, еще в 1886 г. Л. Больцман сделал первую попытку найти принципиальное отличие жизни именно с физических позиций. Он писал: *«Всеобщая борьба за существование — это борьба за отрицательную энтропию, становящуюся доступной при переходе от пылающего Солнца к холодной Земле».*

Его идеи были развиты с учетом новых достижений для каждого времени такими крупными учеными, как В.И. Вернадский,

413

Л.А. Чижевский, К.А. Тимирязев, Н.А. Умов, Э. Бауэр, Л. Бриллюэн, И.Р. Пригожин, М. Эйген, Н.Н. Моисеев, С.Э. Шноль, и в результате трудов этих ученых и работ современных исследователей складывается та парадигма, в рамках которой в настоящее время ведутся поиски физической сущности жизни и ее происхождения. Заметим, что общая теория жизни, по-видимому, не может быть создана только в рамках биологии или физики, необходимо целостное современное естествознание, так как целостность является признаком сущности жизни.

14.5. Физическая модель демографического развития СП. Капицы

История естествознания - это история попыток объяснить разнородные явления общими причинами.

А.Б. Мигдал

Ученый в России делает,

что нужно и как нужно.

Ученый на Западе делает,

что нужно и как можно.

М. Азбель

Вопрос об изменении численности людей на Земле является также одним из глобальных вопросов человечества, как по взаимодействию человека с природой, так и по своим социальным последствиям. Широкий круг процессов и явлений, связанных с существованием человека и его деятельностью, является производным от основного вопроса: сколько людей живет, жило и будет жить на Земле? Поэтому проблема роста народонаселения наряду с «вечными» вопросами загадки происхождения и развития жизни безусловно является предметом анализа в современном естествознании.

Долгое время в описании демографического развития господствовала широко известная теория Мальтуса, согласно которой рост численности населения происходит по закону геометрической прогрессии. Заметим, что эта модель давала возможность в социологическом плане обосновывать целесообразность войн и других катастроф (природных и созданных человеческими стараниями, геноцид, авторитарный режим и т.д.), приводящих к уменьшению числа людей и тем самым снижающих экологическую нагрузку на ту среду, в которой человек живет.

Однако в последние годы в связи с развитием идей и методов синергетики появились новые модели демографического кризиса-

414

са и законов развития человечества [10]. Согласно этим представлениям демографическая проблема может быть рассмотрена как открытая и эволюционирующая система. Большой вклад в разработку этих вопросов и в целом в синергетику внесли отечественные ученые СП. Курдюмов, Е.Н. Князева, Г.П. Малинецкий, а по демографии особенно СП. Капица.

Это обусловлено тем, что в условиях возрастания общей неустойчивости мирового развития, усиления информационных потоков в обществе, усиления неопределенности, глубинной нестабильности и роста хаотичности в общественном сознании, культуре, знаниях и в науке (что мы и наблюдаем в современном искусстве, массовой культуре и философии) именно новый методологический подход синергетики к сложным самоорганизующимся системам и процессам позволяет построить правильный вектор развития.

Человечество как раз и представляет такую сложную самоорганизующуюся систему, к которой применимы законы синергетики. Кроме того, в наше время ускоряющегося развития выявление законов организации и коэволюции сложных биологических,

экологических и социальных систем приобретает особое значение в связи с тем, что у человечества сейчас уже нет времени определить организацию мира методом проб и ошибок. Надо искать кратчайшие пути, и синергетика это позволяет сделать.

О развитии системы человечества как целого можно судить по изменению отдельных параметров, которые описывают ее динамику. В феноменологической модели СП. Капицы на основе имеющегося значительного фактического, демографического, антропологического и исторического материала человечество рассматривается как единое целое, и в качестве ключевого параметра развития его как системы выбирается количество людей N . При этом не требуется учитывать пространственное распределение людей на Земле, их миграцию и т.д. Действительно, как отмечает СП. Капица, с Земли никто еще не улетел! Число людей N становится параметром порядка по Хакену, что позволяет описывать процесс изменения народонаселения дифференциальным уравнением роста

$$\frac{dN}{dt} = \frac{N^2}{k^2},$$

где $k = 67000$ является константой его модели.

415

Числами порядка $k \sim 10^5$ определяется эффективный размер группы, в которой проявляются коллективные признаки когерентного сообщества людей. Например, таким может быть оптимальный масштаб города или района большого города, обладающего системной самодостаточностью, или численность устойчиво существующего вида или популяции, занимающей определенный ареал или экологическую нишу. Таким образом, в общем смысле параметр k отражает масштаб сообщества, имеющего генетическую или социальную природу.

Особенность этого уравнения — квадратичная нелинейность роста. Предполагается, что рост биологических особей обусловлен естественным механизмом увеличения их числа путем полового размножения и поэтому зависит от числа встреч пар особей, парными столкновениями с возможным порождением. Кроме того, сохранение исходных взаимодействующих тел после столкновения создает возможность последующих неоднократных столкновений. Поэтому скорость роста населения пропорциональна не числу людей N , а квадрату числа людей N^2 . Как мы отмечали, это уже нелинейный закон изменения параметра. Оказалось, что зависимость числа людей N от времени описывается гиперболой, которая имеет асимптоту около 2010—2025 гг. Заметим также, что нелинейный рост привел к демографическому взрыву, людей стало больше, чем сравнимых с ними животных.

По существу, это новый количественный закон исторического развития, известный в синергетике как *развитие системы в режиме с обострением*. Оказалось, что большинство процессов лавинообразного роста (биологические процессы, некоторые процессы в экономике, увеличение потока информации, в том числе и возрастание численности населения Земли) происходят не по экспоненциальному закону, а гораздо быстрее, когда параметры системы хотя бы часть времени неограниченно возрастают за конечное время, а это и есть знакомые нам режимы с обострением в различных физических и математических моделях. Анализ демографических данных за много поколений показал, что рост численности населения описывается только гиперболической кривой.

Существенным признаком такой гиперболической модели является время обострения t . Согласно СП. Капице оно зависит от

416

характерного параметра — среднего времени жизни человека (поколения), равного $\tau = 42$ —25 годам, и времени наступления момента обострения $T_1 = 2025$ лет:

$$t = \frac{T_1 - T}{\tau},$$

где T — текущее время.

С.П. Капица вводит также понятие системного исторического времени $T_e = T - T_e$, которое в терминах неравновесной термодинамики открытых систем Пригожина можно считать внутренним временем такой системы; T_e — параметр модели — время, за которое население растет в $e = 2,72$ раза. Резкое возрастание численности населения, называемое демографическим взрывом, является для таких систем неравновесным фазовым переходом. По расчетам в рамках такой модели к 2025—2070 гг. рост населения достигнет своего максимального значения (асимптотически приблизится к нему) в 14 млрд человек и стабилизируется.

Это явление СП. Капица называет демографическим переходом. Заметим, что в предлагаемой гиперболической (с квадратичной нелинейностью) закономерности роста народонаселения содержится возможность неустойчивости, смены циклов, и в том числе демографических кризисов, что хорошо укладывается в представления о динамике эволюции сложной самоорганизующейся системы. Интересно отметить еще одну общую черту теории самоорганизующихся систем и рассматриваемой модели. Предложенная закономерность роста оказывается справедливой для всей истории человечества и действует длительное время.

Все неустойчивости развития человеческого общества через войны, эпидемии, катастрофы, приводящие к резкому уменьшению численности людей, отражаются на кривой роста лишь как малые отклонения от общей закономерности: проходит не очень большое историческое время, и численность восстанавливается. Проявляется рассмотренный ранее принцип устойчивого неравновесия, согласно которому система развивается, оставаясь устойчивой. Квадратичная нелинейная зависимость роста оказывается неустойчивой лишь относительно момента обострения. Огромные по нашим меркам потери людей во время чумы в XIV в. (в Европе погибло до 50% населения) или во Вто-

417
рой мировой войне¹ самым режимом роста восстанавливаются, и кривая роста оказывается устойчивой по отношению к этим флуктуациям.

Если эта модель реальна, то у человечества появляется исторический шанс закрепиться в своей экологической нише в природе на разумном уровне численности в 14 миллиардов. Это, конечно, не «золотой миллиард», к которому нас призывают экологи, что обсуждалось 10 лет назад на конференции в Рио-де-Жанейро по устойчивому развитию. Сейчас на Земле уже более 6 миллиардов человек (считается, что 12 октября 1999 г. появился 6-миллиардный житель Земли). Доказательством справедливости модели СП. Капицы является решение «обратной» задачи: по закону изменения численности людей в этой модели рассчитать, когда же «это все началось» и сколько людей было «вначале».

Ориентировочный расчет показал, что «начало» человеческой истории датируется ~4,5 млрд лет назад, а число людей составляло около 100000 (тысяча стоянок по сто человек на нашей прародине — в юго-восточной части Африки), что совпадает с данными современной антропологии о начале антропогенеза. Любопытно отметить, что модель СП. Капицы позволила оценить число людей, когда-либо живших на Земле, — со времени начала антропогенеза и до 2005 г. — около 90 млрд человек.

Согласно теории режимов с обострением, примененной к развитию человечества, в настоящее время темп течения времени в процессе роста населения имеет особенность, описываемую гиперболическим законом, и важен процесс прохождения этой особенности в глобальном демографическом переходе, в котором мы сейчас, согласно этой модели, находимся. Оказывается, что ход исторического времени (внутреннего времени для человечества как системы) протекает неравномерно. Режим с обострением как бы управляет временем, ускоряет его. Происходит глобальное ускорение мирового развития, что подтверждается историческими этапами развития общества: древний мир существовал около 2500 лет, средневековье порядка 1000 лет, а наше новое время длится около 300 лет.

В целом же временные интервалы развития процессов во Вселенной и на Земле по современным представлениям таковы: Вселенной — $2 \cdot 10^{10}$ лет, Солнечной системе — $5 \cdot 10^9$ лет, жиз-

¹ Всего в двух мировых войнах, локальных международных конфликтах и гражданских войнах XX в. погибло 120—140 млн человек [128].

418
ни на Земле — $3,5 — 4,0 \cdot 10^9$ лет, существованию человеческого рода — 10^6 лет, всей человеческой цивилизации — 10^4 лет. Исторические процессы идут в режиме с обострением и приводят к сокращению длительности исторических фаз. Как указывалось в [10, 62, 68, 69], *«1 миллион лет в палеолите оказывается эквивалентным 40 годам в наше время, т.е. по сути жизни одного поколения»*. Предложенная количественная статистическая нелинейная теория роста затрагивает и другие вопросы, например, коллективное взаимодействие людей, влияние окружающей среды и ресурсов на человеческое общество, энергопотребления человечеством (оказалось, что суммарное потребление энергии также пропорционально N^2 , т.е. происходит нелинейно!), что позволяет сделать прогнозы о пространственном и временном распределениях населения
Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

Земли в будущем и развить далее концепцию устойчивого развития.

Развитые представления согласно СП. Капице имеют, таким образом, более глобальное значение, чем просто демографическая модель развития человечества. Это связано с тем, что в настоящее время человечество проходит критическую эпоху смены парадигм развития. Происходящий период означает завершение обширной эпохи при глубоком изменении параметров развития человечества в исключительно короткие исторические сроки. Поэтому можно считать, что модель СП. Капицы, описывающая совершенно другой, по сравнению с более ранними моделями, механизм роста населения Земли, хорошо согласуется с представлениями современного естествознания.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Приведите определение понятия о филогенезе и онтогенезе.
2. Как надо понимать выражение «онтогенез повторяет филогенез»?
3. Что такое структурность и целостность в природе?
4. Как происходит эволюция популяции?
5. В чем состоит физическое представление эволюции?
6. Какова сущность синтетической теории эволюции?
7. Какие элементарные эволюционные факторы Вы знаете?
8. Каков физический смысл аксиом биологии?
9. Можете ли Вы сформулировать основные признаки живого? Дайте определение жизни.
10. Какова модель демографического взрыва?
11. На какой основе можно описать развитие живых и неживых систем? Как это сделать?

ЛИТЕРАТУРА

[2](#), [4](#), [5](#), [8](#), [9](#), [10](#), [14](#), [15](#), [23](#), [38](#), [51](#), [68](#), [85](#), [87](#), [90](#), [95](#), [126](#), [135](#), [136](#), [137](#), [152](#), [156](#), [159](#).

Глава 15. ФИЗИЧЕСКИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПОЛЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР

15.1. Физические поля и излучения функционирующего организма человека

Объединение естествознания на физической основе - новый этап познания живого.

Н.В. Волькенштейн

*Думать, что пророда относиться к человеку лучше, чем к капусте,. - значит
тешить свой рассудок забавными представлениями*

Э Ростан

Вопрос о существовании физических полей разной природы в живых организмах представляет интерес не только с точки зрения раскрытия сущности физики живого, но и в связи с взаимодействием их с полями окружающей среды и влиянием гелио- и геофизических факторов на жизнедеятельность организма. Человеческий организм — это динамическая самоуправляемая целостная система, гомеостаз (стабильность) которой обеспечен одновременным и когерентным (согласованным) функционированием отдельных органов и распределенных физиологических систем (системы обращения крови, метаболизма, нейрорегуляции и др.).

Живые объекты буквально погружены в незримый океан различных физических полей, как внешних, так и вырабатываемых самим организмом. Можно в шутку сказать, что мы находимся в «электромагнитном бульоне», и непрерывное и нормальное функционирование всех систем живого организма отражается в сложной картине физических полей и излучений, исходящих из него, а также в параметрических изменениях естественных фоновых полей и излучений, которые обычно окружают человека. Поэтому по картине физических полей можно судить о работе физиологических систем организма.

Любой биологический объект в процессе своей жизнедеятельности генерирует излучения различной природы, которые, взаимодействуя с физическими полями внешней среды, обеспечивают живому организму необходимый ему обмен информацией. Визуализация полей и излучений из организма (сейчас в медицине уже используются рентгеновские, ультразвуковые и томографические методы, электрокардиография, электроэнцефалография и др.) позволяет «увидеть» динамику различных

физиологических процессов и выявить нарушения в их работе.

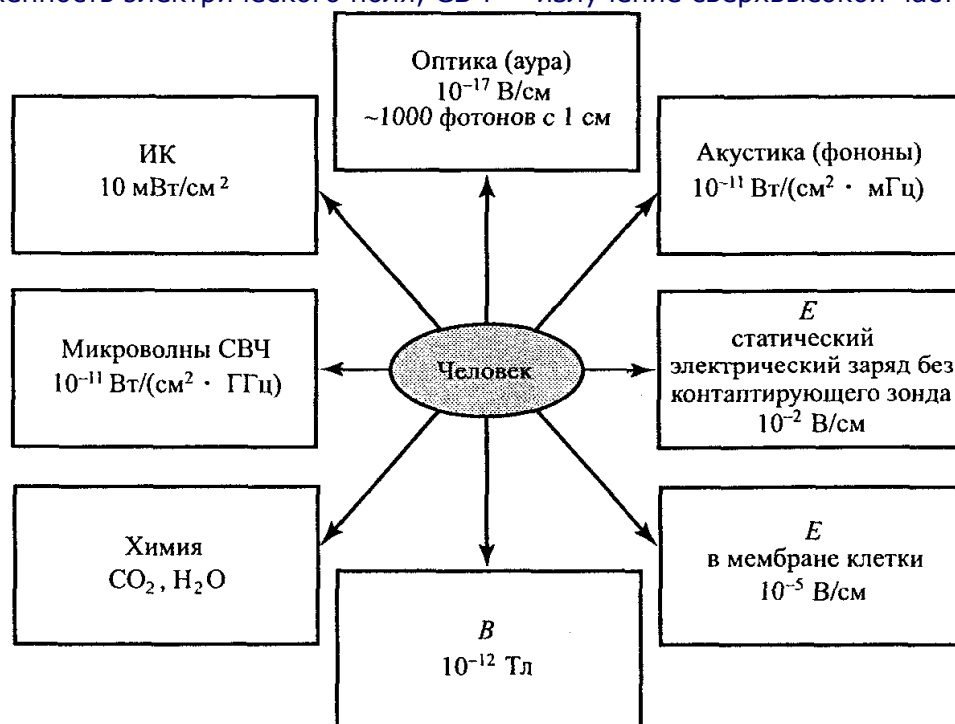
Физиологическая информация заключена в пространственно-временном распределении сигналов, в их динамических изображениях. Поэтому можно образно сказать, что физические поля в че-

420
ловеческом организме — это «рабочий стук» физиологических процессов. Любой функционирующий орган посылает информацию по многим каналам, одни отражают быстрые процессы (биоэлектрическая активность нейронов, мышц), другие — медленные (микроциркуляция крови, обмен веществ и т.д.). Исследование и измерение характеристик этих «стуков» — сигналов для диагностики состояния организма — может дать большой объем информации.

По существу такой подход означает применение физических методов исследования к биополю. Под биополем понимается совокупность физических полей, присущих объектам живой и неживой природы, с помощью которых осуществляется их взаимодействие и обмен энергией и информацией. Точные измерения и динамическое пространственно-временное картирование этих полей, излучений и изменений фона позволяют развить и применить новые методы ранней неинвазивной диагностики как основы профилактической медицины, в том числе разработки соответствующей аппаратуры. Этими вопросами интенсивно занимаются многие ученые у нас в стране и за рубежом, однако наибольшие успехи получены учеными ИРЭ РАН под руководством академика Ю.В. Гуляева. Согласно разработанным ими методами исследования можно выделить восемь видов полей и излучений (рис. 15.1).

Рис. 15.1. Схема физических полей в организме человека

(ИК — инфракрасное излучение, B — магнитная индукция, E — напряженность электрического поля, СВЧ — излучение сверхвысокой частоты).



421

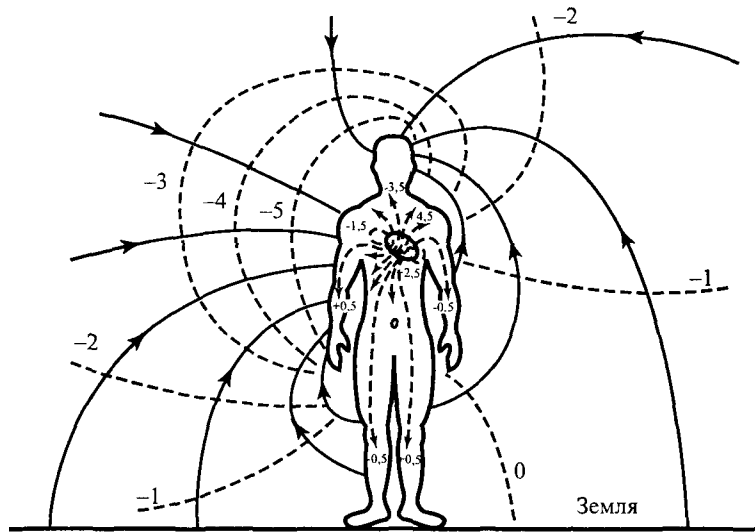
15.1.1. Электромагнитные поля и излучения живого организма

Одними из основных видов излучения являются электромагнитные поля (ЭМП) и излучения (ЭМИ) живого организма. Это связано с возникновением, движением и взаимодействием электрических зарядов в живом организме в процессе его жизнедеятельности. Поля существующих электрических зарядов возникают при работе сердца и токе крови в сосудах, при нервных и мышечных сокращениях, генерируются при работе митохондрий в клетках и т.д., и их изменения тем самым отражают физиологическую активность различных биологических систем. В соответствии с теорией Максвелла для определения электромагнитных полей биологических объектов необходимо знать обобщенную диэлектрическую проницаемость и проводимость

биологических тканей и жидкостей.

Собственное ЭМП человека влияет на окружающую среду и может изменить энергию и направление движения свободных электронов, находящихся в области действия этого поля. На рис. 15.2 показано распределение электрического поля в окрестности тела человека, которое возникает за счет биоэлектри-

Рис. 15.2. Распределение вокруг человека электрического поля, образуемого в результате биоэлектрической активности его сердца.



422

ческой активности сердца. Электрические явления характеризуются определенными последовательностями электрических импульсов и характерными ритмами. В каждом органе возникают свои специфические электрические колебательные процессы. В мозгу, находящемся в состоянии активности, регулярно проявляются α -волны, носящие ритмический характер, с частотой колебаний 9 — 10 Гц и потенциалом импульса около 45 мкВ. Характер этих волн меняется в зависимости от бодрствования или сна.

Детальные исследования закономерности сердечного ритма показали, что временные промежутки между ударами сердца редко бывают одинаковыми. Сердцебиение больше походит на виртуозную партию ударных инструментов, чем на равномерное тиканье часов. Здоровое сердце, по мнению И. Ашкенази и его коллег, работает подобно хорошему барабанщику, который в целом держит ритм, но время от времени намеренно допускает сбои. Поскольку он ударяет обычно по барабану довольно быстро, ускорения или запаздывания почти неразличимы на слух, но придают музыкальному исполнению особую прелесть. Так обстоит дело и с сердцем — оно постоянно «импровизирует».

Любопытно, что некоторая хаотичность ритмов сердца характерна именно для здорового сердца. У людей, находящихся в предынфарктном состоянии, ритм сердцебиения становится механически точным.

Как известно, аритмия сердца опасна, но не менее опасны четко упорядоченные ритмы биения, которые могут свидетельствовать о его болезни. Слишком регулярно бьющееся сердце не способно гибко реагировать на изменяющиеся внешние условия, его адаптационные возможности снижаются. Ученые сегодня приходят к заключению, что здоровье — это тонкий баланс между хаосом и порядком. Для нормального функционирования практически всех систем жизнедеятельности человека характерен некоторый промежуточный режим между хаосом и порядком, режим детерминированного хаоса.

Дыхание, биение сердца, кроветворение, ритмы сна и бодрствования, гормональные ритмы, психическое равновесие — всем этим процессам присуща определенная мера хаоса, необходимая для поддержания здоровья. Оказывается, что модели хаоса и нелинейной динамики играют практическую роль в распознавании и лечении болезней. Остается вопрос: сколько же «нужно» хаоса человеку для нормальной жизнедеятельности? Даже прием од-

423

них и тех же лекарств может оказывать совершенно различный эффект в разное время суток при разных фазах биологических ритмов. Активность физиологического состояния и работоспособность человека также зависят от этих ритмов и периодически меняются в

течение суток.

Биоритмы проявляются на всех уровнях организации живой материи — от внутриклеточного до биосферы в целом [147, 148]. Так, у растений наблюдается суточное движение листьев, годовые изменения растительности, у животных — периодичность двигательной активности, колебания температуры, секреции гормонов, синтеза РНК и т.д. Практически все виды деятельности организма — прием пищи и питья, дыхание и другие физиологические процессы — носят циклический автоколебательный характер.

Биологическое время клеток живого организма определяется биохимическими колебательными процессами движения ионов кальция, калия и других необходимых для жизнедеятельности клетки элементов внутрь или из нее, причем универсальным регулятором внутриклеточных процессов являются ионы кальция и их концентрация тем самым обеспечивает биологические ритмы клеток.

Биологические ритмы физиологических функций настолько точны, что их часто называют «биологическими часами» (см. п. 11.5.2). Основной механизм этих часов в клетке — биохимические колебательные процессы.

Синергетика подтверждает в целом универсальность вывода о циклической смене состояний, законах ритма. Для человека это — день и ночь, смена бодрствования и сна. Для живой природы это — лето и зима. Летом биологические процессы ускоряются, зимой — замедляются. Мы знаем, что такие пульсации характерны и для неживой природы (например, колебательные режимы в химических реакциях Белоусова — Жаботинского (см. § 7.6)). Имеются представления о пульсационном развитии Земли и синхронной с ним эволюции жизни на нашей планете. Земля то расширяется, то сжимается, как будто она «дышит».

В работах [68, 69, 127] показано, что режимы с обострением могут быть режимами зарождения порядка (LS-режим) и сохранения порядка (HS-режим), которые также реализуются ритмическим порядком в едином цикле самоорганизации. Предполагается, что возможен переход от одного режима к другому (пока установлено только переключение от HS- к LS-режиму). Такое

переключение является математическим эквивалентом процессов типа «ян»—«инь». LS-режим с обострением — это ускорение процесса, стягивание к определяющему аттрактору и проявление потенциального; HS-режим — это замедление процессов, разлет траектории развития, погружение в прошлое, обращение к не проявленному.

Процессы в живом организме имеют высокую степень временной упорядоченности и могут синхронизировать их под действием слабых внешних сигналов. В последнее время выяснилось, что существенное влияние на человеческий организм оказывают слабые поля, резонансные к ряду ритмов организмов, в частности на частотах 7 и 12 Гц. В целом гомеостаз живого организма обеспечивается когерентным взаимодействием всех колебательных процессов в нем и возможностью резонанса биоритмов.

На мембранах клеток возникает разность потенциалов, равная 50—90 мВ для нервных и мышечных клеток, за счет разности концентраций ионов во внутриклеточной и тканевой жидкостях. Толщина клеточной мембраны ~ 10 нм, а напряженность возникающего на ней поля составляет $\sim 10^5$ В/см, что всего лишь в 100 раз меньше напряженности полей, например, в атоме водорода, и межатомных полей в полупроводниковом кристалле ($\sim 10^7$ В/см). Такие поля в последнем случае приводят к изгибу энергетических зон полупроводника и существенно влияют на энергетику кристалла¹. Плотность электрической энергии в живой клетке ~ 100 Дж/см³.

Поэтому величина мембранного потенциала сильно влияет на весь ход физико-химических процессов в мембране, а значит и в клетке. Можно также сказать, что энергия электрического поля в мембранах, подобно конденсаторам, играет большую роль в поддержании устойчивого неустойчивого равновесия. Ее можно рассматривать как резерв свободной энергии, необходимой живому организму для функционирования и развития, наряду с энергией АТФ и перекисного окисления липидов. Процессы нервного и мышечного возбуждения связаны с изменениями потенциала и протеканием биотоков.

Биоток обусловлен движением не только электронов, но и главным образом ионов, участвующих в биохимических реакци-

¹ Горбачев В.В., Спицына Л.Г. Физика полупроводников и металлов. — М.: Металлургия, 1982.

избирательная проницаемость воды будет зависеть от состояния жидкости в различных системах биологического объекта.

Кроме того, для живого организма важны реологические свойства крови. Изменение электрических свойств живых организмов связано с перераспределением зарядов в организме при их движении, в том числе в потоке крови. Кровь представляет собой жидкость, состоящую из плазмы и форменных (клеточных) элементов и движущуюся по кровеносным сосудам. Форменные элементы (эритроциты, лейкоциты и тромбоциты) взвешены в плазме. *Эритроциты* содержат гемоглобин и углекислоту. *Лейкоциты* ответственны за иммунно-защитную функцию и уничтожение элементов, чужеродных для данного живого организма. *Тромбоциты* играют основную роль в процессе свертывания крови.

К физическим свойствам крови относятся электропроводность и магнитные моменты ее элементов. А. Л. Чижевский (1897— 1964) установил системную организацию движущейся крови и наличие в ней радиально-кольцевых структур, обусловленных электрическим взаимодействием ее элементов. Форменные элементы крови заряжены отрицательно, так же заряжены и стенки кровеносных сосудов. Происходит электростатическое отталкивание; величина зарядов сильно влияет на процессы свертывания и скорость оседания эритроцитов. Свертывание крови — это электростатическое притяжение клеток крови к поврежденному участку, потерявшему естественный отрицательный заряд. При движении крови по сосудам возникают также электродинамическое, электромагнитное и гидродинамическое взаимодействия потока заряженной жидкости со стенками сосуда.

Так же, как и в общем спектре электромагнитных волн, в организме можно выделить излучения разной частоты. В спектре неравновесных излучений любого биологического объекта имеются электромагнитные излучения всех частот, в том числе и радиодиапазона (ВЧ, СВЧ, КВЧ). Так, сердце можно рассматривать как поляризационный генератор СВЧ-волн. В процессе сокращения в нем, как в пьезоэлектрике, возникают высокочастотные колебания. СВЧ-поля распространяются по кровеносным сосудам, как по диэлектрическим волноводам. Так как проводимость стенок невелика, поля могут выходить за стенки такого кровеносного волновода при сгибах сосудов или изменении их диаметра, например, при образовании холестериновых отложений.

426

Это «просачивание» поля наружу сосудов может приводить к возникновению электромагнитных волн во всем организме и в том числе стоячих волн. Есть предположение, что в рост человека укладывается одна длина такой волны, от сердца до пальцев — $1/2$ волны, до головы — $1/4$ волны. Имеются также сведения, что экстремумы в распределении электрических и магнитных полей соответствуют так называемым чакрам — согласно терминологии восточной медицины и представлениям йоги. Если учитывать, что размеры человеческого тела разные, то, как утверждают экстрасенсы, у каждого человека свои чакры. В связи с этим можно предположить, что йогами, не известно как, но была изучена структура электромагнитных полей человека.

На поверхности кожи тоже может возникать биопотенциал, который связан как с внутренними электрическими полями, так и с трибоэлектрическим зарядом, возникающим из-за трения эпидермиса кожи. Эти потенциалы также отражают физиологические процессы в организме и могут быть зафиксированы соответствующей аппаратурой. Например, в так называемых биологически активных точках (БАТ) наблюдается значительное усиление электрического поля. Это широко используется в методах акупунктуры и электроакупунктуры для воздействия на определенный орган или процесс в живом организме.

Согласно китайской медицине и философии иглоукалывание приводит к восстановлению циркуляции энергии в организме.

В точках, имеющих пониженное электрическое сопротивление и повышенную концентрацию нервных волокон и микроциркуляторных сосудов, усиливается поглощение энергии из внешней по отношению к организму среды, в частности усиливается поглощение кислорода. Образуется как бы энергетический канал от активных биологических точек до соответствующего внутреннего органа. Согласно [178], энергетический канал можно представить как некую ускорительную систему из упорядоченных ионов мембран, перемещающих электроны вдоль канала с ускорением. Таким образом, инъекция электронов с острия хорошо проводящей иглы в начале канала при электроакупунктуре в найденной для каждого индивидуума своей биологической

точке осуществляет окислительно-восстановительные процессы в конце его. Тем самым энергетические каналы координируют протекание окислительно-восстановительных процессов, перераспределяя потоки заряженных частиц в те органы, где проходят эти реакции, усиливающие процессы жиз-

427

недеятельности или замедляющие их. Заметим, что ускоряющиеся электроны создают дополнительное внутреннее ЭМП, которое может изменить биополе человека.

В объектах живой природы обнаружены так же рецепторные точки, чувствительные не только к ЭМП, но и к полям другой природы, в частности, к восприятию инфразвука. Этим объясняется способность некоторых живых организмов находить добычу, предчувствовать циклоны, штормы, цунами, землетрясения, магнитные бури и ориентироваться в пространстве и времени, находить воду или дорогу к местам обитания или наличия пищи и т.д. Так, муравьи, пчелы и некоторые птицы хорошо ориентируются по Солнцу (и при этом каким-то образом учитывают перемещение его в пространстве и времени, может быть, по изменению излучений от Солнца или других физических полей). Пчелам также присуще чувство времени. Они не могут определять интервалы, т.е. длительность времени, но довольно точно знают, когда какой цветок раскрывается, и прилетают именно к этому времени, вероятно, улавливая изменения в состоянии физических полей в окружающей их природе.

Так же, как и в неживой природе, электрическое и магнитное поля живого организма взаимосвязаны. В крови животных и человека обнаружен биогенный магнетит, который, по-видимому, позволяет живому организму чувствовать изменения магнитного поля Земли. Так, А. Л. Чижевским было показано, что текущая кровь имеет упорядоченную структуру. Она поддерживается электрическими и магнитными полями эритроцитов, причем магнитное поле возникает за счет вращения эритроцитов вокруг своих продольных осей. Магнитное поле, которое создается биологическим объектом, значительно слабее (в 10—100 тыс. раз) геомагнитного поля. Однако в живом организме оно меньше по сравнению с электрическим, поглощается за счет диамагнитных, свойств тканей организма и дает больше непосредственной информации об активности мозга. Кроме того, на разработанных в ИРЭ суперпроводящем (чувствительный элемент которого охлажден до температуры жидкого гелия) квантовом интерферометре и градиентометре при хорошем подборе отношения сигнал/ шум удалось снять магнитокардиограммы и магнитоэнцефалограммы, позволяющие получить информацию о магнитных полях сердца и мозга человека. Возникновение локальных магнитных полей может быть вызвано движением и взаимодействием электронов и ионов в структурах биологического объекта.

428

15.1.2. Тепловое и другие виды излучений

Другим важным излучением живого организма является тепловое. Известно, что человеческий организм функционирует в довольно узком диапазоне температур (4—40 °С) и чрезвычайно чувствителен к тепловому балансу внутри него (недаром мы так часто меряем температуру при болезнях — это показатель состояния организма). Инфракрасное (ИК) тепловое излучение характеризует температуру организма через изменение температуры кожи. Оно несет информацию о сети капиллярного кровотока, обеспечивающего терморегуляцию тела. Образно говоря, на поверхности человеческого тела непрерывно демонстрируются «ИК-фильмы», отражающие его функционирование и открывающие возможности раннего обнаружения функциональных (и потому еще обратимых) нарушений.

Методика использования ИК-излучения в сочетании с традиционными медицинскими исследованиями позволяет определить различные изменения в организме. Так, простой рефлекторный тест — задержка дыхания на вдохе — в норме вызывает охлаждение кистей рук, обусловленное спазмом сосудов и регистрируемое чувствительной ИК-аппаратурой. Известны ИК-термореакции сердца и печени на физическую нагрузку и на прием сахара у пациентов со стенокардией и циррозом печени. Возможно использование термоэнцефалоскопии как метода ИК-визуализации функциональной динамики коры мозга. Это излучение наблюдается в диапазоне длин волн 3—14 мкм, интенсивность его ~ 10 мВт/см², что для всей поверхности кожи составляет около 100 Вт. Оно поглощается в биологических тканях на глубине около 100 мкм.

В организме человека могут возникать и комбинированные излучения, например при

взаимодействии электромагнитного излучения организма с его тепловым полем. Так, радиотепловое излучение дает информацию о динамике тепловых процессов внутренних органов и мозга. Это слабое излучение с интенсивностью в дециметровом диапазоне, однако в отличие от ИК-излучения глубина его поглощения в тканях — порядка нескольких сантиметров и оно дает информацию из более глубоких частей организма. Физиологическая активность любого внутреннего органа сопровождается выделением тепла и притоком крови и проявляется в увеличении яркости его радиотеплового свечения.

В диапазоне 0,15—0,20 ГГц возможна генерация акустоэлектрических волн в белково-липидных мембранах, которые могут

429

сильно изменить биохимические процессы в клетке. Низкочастотные акустические сигналы несут информацию о колебательных процессах таких внутренних органов, как легкие и сердце (акустические фононы и ультразвук). В диапазоне частот от 1 до 10 МГц ткани обычно прозрачны для акустических волн, но интенсивность таких волн мала (10—16 Вт/см²) в полосе частот до 100 КГц. Длина волны в этом диапазоне около 1 мм, что в 10 раз меньше длины волны радиотеплового излучения.

Акустотепловое излучение в ультразвуковом (УЗ) диапазоне дает распределение температуры внутри тела с более высоким пространственным разрешением, чем радиотепловое, из-за значительно меньшей длины волны УЗ-излучения по сравнению с обычным ЭМИ. Радио- и акустотепловое излучение может быть использовано для исследования тепловой динамики внутренних органов.

Наблюдается также излучение в видимом диапазоне частот ЭМП, так называемая оптическая хемилюминесценция. Она несет информацию о насыщении тканей организма кислородом. Предполагается, что такого рода слабое свечение может дать представление об ауре человека. Разрешение такого излучения ~ 1000 фотонов с 1 см².

Перераспределение и перемещение электронов может происходить и в результате химических процессов индуцированного транспорта веществ, обмена молекулами H₂O, CO₂ и других веществ через кожу, и это также несет информацию о состоянии организма и может быть зарегистрировано. Разработаны баллистические методы регистрации ритмов сердца через соответствующую проводящую среду без непосредственного контакта с телом, как при съемке электрокардиограммы (ЭКГ).

У многих организмов имеются электромагнитные органы. Обычно электрические поля, возникающие вокруг тела любой рыбы, очень небольшие, но у некоторых рыб соответствующие органы могут генерировать электрические разряды большой мощности. Так, у скатов разность потенциалов может достигать 300 В, у электрических угрей — до 650 В. Насекомые используют акустические сигналы, животные — звуковые, разнообразные по частоте и мощности. Для лисицы, например, отмечено 36 разных звуковых сигналов. Любопытно, что курицы и перепелки, общаясь с потомством, издают особые звуки. Их птенцы, даже едва вылупившиеся из яиц, уже способны отличать сигналы взрослых самок своего вида от звуков, издаваемых другими птицами.

430

15.2. Механизм взаимодействия излучений человека с окружающей средой

*Из тех, что мир прошли и вдоль и поперек,
Из тех, кого Творец на поиски обрек,
Нашел ли хоть один хоть что-нибудь такое,
Чего не знали мы и что пошло нам впрок?*

Омар Хайям

Ощущение - это обман наших чувств.

Р. Декарт

15.2.1. Электромагнитное и ионизирующее излучения

Внешние электромагнитные излучения, воздействующие на живые организмы, можно разделить на:

- излучение, приходящее на Землю из Космоса;
- излучение антропогенного характера;
- излучение биологического происхождения из живых организмов.

Основным источником ЭМИ на Земле является Солнце. Большая часть этого

излучения приходится на видимую часть его спектра, однако и в других диапазонах солнечное излучение оказывает сильное воздействие на биосферу в целом и на деятельность живых организмов. Солнечное излучение поступает на Землю через ионосферу и атмосферу. При этом поверхность Земли заряжена отрицательно, а атмосфера — положительно.

Ионосфера представляет собой газоплазменную оболочку и вместе с земной корой образует волноводную структуру, с помощью которой образуются единые электромагнитные условия для биосферы Земли в пределах больших областей (до 1000 км) в широком диапазоне частот излучения Солнца. Имеются три основных спектральных окна, прозрачных для ЭМИ: низкочастотное — до 5 Гц, радиочастотное — длина волны 0,8—30 м, оптическое — диапазон видимого света от 1000 до 290 нм, а также ИК- и УФ-излучения. ЭМИ с такими параметрами может проникать также из дальнего и ближнего Космоса. Напряженность электростатического поля у поверхности Земли составляет 100 В/м. Напряженность магнитного поля Солнца составляет около 50 гаусс, а геомагнитное поле Земли в 100 раз меньше.

431

Суточный максимум напряженности достигается на всей Земле в одно и то же время — в 19 часов по Лондонскому времени. Во время вспышки на Солнце образуется сгусток плазмы, который через 40—50 часов достигает орбиты Земли, возмущая ионосферу, и возникают магнитные бури, которые в высоких широтах Земли мы наблюдаем в виде красивого магнитного полярного сияния. Процессы, происходящие в атмосфере и литосфере Земли, также сопровождаются ЭМИ. Так, центры циклонов излучают ЭМВ с частотой 2 Гц, а землетрясения создают низкочастотные колебания (0,01 — 10 Гц) магнитных полей.

Внешние электрические и магнитные поля, электромагнитные излучения различных частот, акустические поля, а также химическое взаимодействие между живыми организмами (простым примером такого взаимодействия может служить собака, которая по запаху может определить, что ее боятся), которое условно можно назвать химическим полем, действуют на живые организмы и используются ими в процессе жизнедеятельности. Так, магнитные поля используются птицами при перелетах; для ориентации ультразвуковыми излучениями пользуются летучие мыши, киты и дельфины.

Среди внешних физических полей, оказывающих заметное влияние на живые организмы, можно также выделить геомагнитные пульсации и инфразвуковые волны [85, 147, 148]. Геомагнитные пульсации возникают в процессе взаимодействия магнитного поля Земли с потоками солнечной плазмы. Эти пульсации вызывают появление переменного электрического поля на уровне Земли. Амплитуды электрического поля геомагнитных пульсаций (около 50 — 60 В/м) сравнимы со средним значением градиента потенциала атмосферного электрического поля. Частоты пульсаций (0,005 — 5 Гц) оказались резонансными по отношению к характерным частотам биологических объектов, поэтому геомагнитные пульсации оказываются существенными для здоровья людей.

Еще одним специфичным фактором воздействия на живые организмы являются инфразвуковые волны. Существует легенда о «летучих голландцах» — кораблях, бороздящих моря и океаны без экипажей, которые могли покинуть их под воздействием инфразвука¹.

¹ Автору учебника также довелось испытать на себе не очень приятные физиологические ощущения от инфразвука при встрече атомохода «Ленин», на котором он работал в 60-х гг., с всплывающей атомной подводной лодкой в Северном Ледовитом океане.

432

Естественными источниками возникновения инфразвука являются области формирования циклонов, извержение вулканов, сильные грозы, взрывы метеоров, поверхность моря во время шторма и т.д.

Инфразвук может возникать и в результате человеческой деятельности: при ядерных и просто больших взрывах, движении ракет, самолетов, подводных лодок. Инфразвуковые волны распространяются на тысячи километров как бы по своеобразному волноводу. Это поле инфразвуковых и, более широко, электромагнитных инфраволн постоянно присутствует на Земле и может сильно возрастать (в десятки раз) при геомагнитных возмущениях.

Можно с уверенностью считать, что вся биосфера Земли находится в сфере действия полей различных колебательных процессов и в процессе эволюции приспособлялась к

условиям воздействия этих излучений. Биоритмы внутренних полей взаимодействуют с внешними ЭМП и ЭМИ, в том числе и с инфраволнами. Частоты электрической активности сердца, мозга и других органов лежат в том же диапазоне, что и частоты инфраволн. Было установлено влияние электромагнитных инфраволн на кальциевый обмен в клетках, изменение проницаемости мембран и электрической активности мозга, слипание эритроцитов и изменение многих биохимических процессов.

Это дает возможность предположить, что наличие всех этих полей могло быть одним из необходимых условий возникновения жизни на Земле. Известный специалист по изучению воздействия ЭМП на живые организмы Ю.А. Холодов обобщил эти представления: *«Как в плазме крови сохранились «воспоминания» о жизни в океане, так и в режиме некоторых биоэлектрических процессов слышатся отзвуки того электромагнитного «океана», в присутствии и участии которого зарождалась жизнь»* [147]. Являясь фактором, сопутствующим эволюции биосферы, эти поля служат связующим звеном между физическими процессами в Космосе и явлениями, которые возникают в биосфере в ответ на изменения физической среды.

Ионизирующим электромагнитным излучением будут являться потоки ионов и заряженных частиц, а также фотонное излучение, гамма- и рентгеновское излучение. Эти излучения называются ионизирующими потому, что, проходя через среду, они вызывают ее ионизацию. Корпускулярное излучение — это α - и β -излучение, протонное, нейтронное, потоки многозарядных

433 ионов и продуктов ядерных реакций деления. Гамма-излучение возникает при изменении энергетического состояния атомных ядер или при аннигиляции частиц (например, электрона и позитрона). Рентгеновское излучение связано с тормозным (при уменьшении кинетической энергии заряженных частиц) и характеристическим излучением (при изменении энергетического состояния внутренних электронов атома).

Все источники ЭМИ и ионизирующих излучений в целом разделяются на естественные и искусственные. К естественным относятся излучения Солнца, других космических объектов, α -, β -, γ -излучения многочисленных радионуклидов, рассеянных в породах Земли, в воде, воздухе и входящих в состав живых организмов. Совокупность всех этих излучений считается естественным (природным) электромагнитным и радиационным фоном. К искусственным относятся различные техногенные устройства и явления, создающие те или иные излучения (ядерные реакторы, ускорители, гамма-установки, в том числе для медицинских целей, ядерные взрывы, выбросы АЭС, установки промышленного производства и использования радиоактивных изотопов, бытовая техника — телевизоры, компьютеры, волновые печи, сотовые телефоны, ЛЭП, радиопередающие устройства с излучающими антеннами и многое другое, что человек придумал для удобства своей жизни).

Особую опасность представляет собой ионизирующее излучение, которое живой организм (по крайней мере, человеческий), в отличие от ЭМИ, не ощущает своими органами чувств, и поэтому сам организм не может предупредить себя об опасности. Неприятно для организма и то, что доза суммарного облучения обладает кумулятивным эффектом. Ионизирующее излучение вызывает в тканях, клетках и жидких средах организма образование химически активных свободных радикалов, обладающих большой окислительно-восстановительной способностью.

Заметим, что для человека свободные радикалы, содержащие активный кислород и стремящиеся присоединиться к белкам, способствуют нежелательным биохимическим изменениям в его организме. Они как бы «разъедают» сердце и другие жизненно важные органы (в том числе и сосуды), как ржавчина — железо. Однако активный образ жизни и регулярные тренировки предотвращают «заржавление» организма. Так, последними исследованиями С. Таддеи с коллегами из Пизанского университе-

434 та в Италии было установлено, что аэробические упражнения уменьшают выработку свободных радикалов. В этом случае кровяные артерии часто расширяются и сужаются («тренируются!»). Внутренний слой клеток (эндотелий), устилающий артерии, начинает выделять больше оксидов азота, который регулирует сокращение сосудов и делает их более гибкими и пластичными. В связи с этим, возможно, что при ионизирующем излучении свободных радикалов образуется меньше именно у людей, тренированных на большие аэробические нагрузки.

Основное радиационное воздействие состоит в нарушении физической регенерации клеток и тканей, изменении функции регуляторных систем, изменении иммунной и

Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

генной систем живого организма. Никакой другой вид излучения (тепловое, электромагнитное и т.д.), поглощенного живым организмом в том же количестве, не приводит к таким изменениям, какие вызывает ионизирующее излучение. В работе [106] приводится расчет, согласно которому смертельная доза ионизирующего излучения для млекопитающих (500 рад) соответствует поглощенной энергии ~ 5 Дж/кг. Если эту энергию подвести к телу в виде тепла, то оно едва ли нагрелось бы на $0,001^\circ\text{C}$, что соответствует тепловой энергии, заключенной в стакане горячего чая. Именно ионизация и возбуждение атомов и молекул среды обуславливают специфику действия ионизирующего излучения.

О воздействии ионизирующего излучения на живую и неживую природу за 60 лет¹ накоплен огромный фактический материал и опыт (к сожалению, и печальный) и имеется обширная литература, в том числе и справочники по нормам ионизирующего облучения. Укажем лишь некоторые из них для общего ознакомления [106, 147, 148].

С воздействием ЭМИ на процессы в объектах живой природы связано большинство физиологических расстройств организмов, поскольку клетки организмов в основном электрически поляризованы, а по нервным волокнам протекают биоэлектрические токи. Изменение параметров этих электрических процессов при изменении внешних полей и излучений переводит биологические системы в новое качественное состояние. Среди всего спектра ЭМИ наибольший биологический эффект дают световой и радиоволновый диапазоны.

¹ Первый ядерный реактор был запущен Э. Ферми в 1942 г. под трибунами стадиона Чикагского университета в США.

Поскольку физиологические процессы в живом организме связаны с формированием в нем динамических физических полей различной природы и созданием общего биополя, то естественно ожидать взаимодействия, в том числе и резонансного, с внешними излучениями и полями. Это взаимодействие внутренней и внешней среды организма наиболее всего проявляется для ЭМИ. Образование и разрушение объемных электрических зарядов и биотоков влияет на чувствительность живых организмов к амплитудно-спектральным изменениям ЭМИ.

Было установлено, что внешние ЭМП и ЭМИ заметно влияют на нервную (особенно сильно в широком диапазоне частот слабых ЭМП) и кровеносную системы, на иммунитет, т.е. степень устойчивости функционирования организма, резко увеличивают время задержки реакции организма на любые внешние факторы. Чувствительностью к полям и излучениям обладают клетки и внутриклеточные элементы — мембраны, ядра и митохондрии, а также гипоталамус, который отвечает за регуляцию тонуса симпатической нервной системы, эмоциональной среды, формирование чувства голода, жажды, регуляцию сна [146]. Х. Дельгадо показал, что чувствительность в целом организма к слабым ЭМИ является общебиологической закономерностью. Микроволновое излучение от компьютера при работе с ним 2—6 часов в день (как и бесконечное сидение перед домашним телевизором) в 5 раз чаще вызывает функциональные нарушения нервной системы, в 3 раза чаще — ухудшение состояния опорно-двигательного аппарата, в 2 раза увеличивает сердечно-сосудистые заболевания.

15.2.2. Возможности медицинской диагностики и лечения на основе излучений из организма человека

Из всех излучений следует отметить воздействие на живые организмы миллиметровых волн, на исследовании механизма которого разработана КВЧ-терапия, или так называемая волновая терапия. Это обусловлено с совпадением их частот с биоритмами сердца, мозга человека и мембран его клеток. Миллиметровые волны сильно поглощаются в среде и в организме человека проникают лишь на 300—500 мкм. Поэтому их воздействие проявляется через рецепторные и особенно биологически активные точки кожи.

Из биологии человека известно, что практически любой внутренний орган связан с определенными точками на поверхности

тела. Воздействуя тем или иным способом на них, можно влиять на здоровье человека. В настоящее время метод волновой терапии считается весьма перспективным, особенно в случае комплексных заболеваний; он практически может быть использован для лечения многих болезней и даже борьбы со старостью. Признаками старости могут быть многие

проявления, в частности состояние кожи и ее обезвоживание. Воздействие миллиметровых волн увеличивает ее гидратацию, благотворно влияет на нервную и иммунную системы, опорно-двигательный аппарат. Ожидается, что этот метод в целом поможет организму усилить его адаптивность и перейти на другой функциональный уровень, когда повышаются его возможности в борьбе с болезнями и старостью. Образно говоря, человек должен понимать воздействия на него, и легче всего это сделать на естественном для его организма языке миллиметровых волн.

Остановимся еще на одном способе электрического воздействия атмосферного воздуха — методе аэроионизации, разработанном А.Л. Чижевским. Этот процесс связан с образованием легких отрицательных аэроионов, которые передают свой заряд кислороду. Созданное им устройство практически ионизирует воздух и образует ионы кислорода — «аэроионы», по терминологии Чижевского. При использовании «люстры Чижевского» количество отрицательно заряженных аэроионов в воздухе уже через пять минут ее работы увеличивается с 50—100 в 1 см³ до 10 000. Эти аэроионы способствуют увеличению в коже газообмена и нормализации потенциала биологически активных точек, ускорению окислительно-восстановительных реакций и улучшению состояния сосудов.

Влияние легких аэроионов на рецепторы кожи способно изменить тонус центральной нервной системы и повысить биоэнергетику организма в целом. При этом электростатические системы кожи и крови непрерывно обмениваются своими электрическими зарядами, восстанавливая биоэнергетический потенциал и обмен веществ. Эффект аэроионизации особенно усиливается при использовании лазерной терапии. Квантовая энергия, являясь мощным биостимулятором, регулирует биохимические реакции на фоне насыщения тканей отрицательно заряженным кислородом.

Известны случаи воздействия на организм человека изменений магнитных полей в геопатогенных зонах Земли (Курская

437 магнитная аномалия, на Алтае, в Саянах, в Узбекистане, в так называемой Пермской зоне и других схожих по воздействию на человека районах): в крови увеличивалось содержание лейкоцитов, снижалась частота сердечных сокращений, уменьшалась амплитуда сигнала ЭКГ, ухудшались память, реакция, внимание, наступало обострение многих хронических болезней. Отмечалось влияние смены полярности в межплазменном магнитном поле Земли (ММП) на физиологические и психологические процессы: в отрицательных областях поля хуже делятся бактерии, ухудшается психическое состояние, чаще инфаркты у людей и т.д.

На большом статистическом материале также показано, что изменение состояния ММП в год рождения человека и год, предшествующий этому событию, заметно влияет на изменение роли левого или правого полушарий мозга в психической деятельности человека, образование логического или образно-интуитивного типа мышления, изменение числа левшей и правшей и т.д. Экспериментально обнаружено влияние ЭМП и ЭМИ на процессы мышления: в случае недостатка или избытка электромагнитных колебаний определенной частоты наблюдалось ухудшение работы мозга человека.

Существенно воздействие не только естественных, но и техногенных источников ЭМП и ЭМИ. Уже 10 лет назад выработка электроэнергии во всем мире составляла около $350 \cdot 10^{18}$ Дж, что сопоставимо с энергией, выделяемой в результате сейсмических процессов на Земле за год. Излучение от линий электропередач (ЛЭП) и всевозможных устройств радиосвязи также непосредственно влияют на биоту и здоровье людей. Энергия, выделяемая в радиодиапазоне в результате деятельности человека, в настоящее время становится сравнимой с энергией Солнца в видимом диапазоне спектра.

Таким образом, информацию о состоянии живого организма можно получить из пространственно-временного распределения воздействий рассмотренных выше полей и излучений от биологических объектов. Анализ этих излучений позволяет проводить бесконтактную (неинвазивную) диагностику на ранних стадиях различных заболеваний. Особая ценность этих новых методов диагностики заключается в том, что расширяются возможности изучения органов тела и мозга не в узком интервале частот видимого света, а на частотах, на которых эти органы «работают».

438 Картирование и визуализация физических полей органов биологических объектов на их «собственных» частотах позволяет наблюдать физиологическую жизнь в процессе изменений во времени. Эти динамические методы, в отличие от статической

Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

классической томографии, которая дает морфологическую картину тела, могут быть использованы для ранней диагностики задолго до возникновения патологии.

Биологически активные и рецепторные точки являются теми пропускными пунктами, где происходит обмен информацией в нужном направлении. Отметим, что наличие в живом организме реальных физических полей и возможность их измерения снимают мистичность представлений о сенсорных и экстрасенсорных способностях некоторых людей, которые в состоянии воспринимать и даже изменять локальные искажения этих физических полей. Сам механизм пока, конечно, не ясен до конца. Однако понятно, что необходимо создать условия для согласованного «считывания» информации и управления амплитудой, фазой и частотой излучений организма. Заметим, что, получая информацию через сенсорные каналы, человек остается на уровне неосознанных восприятий. Действительно, мы довольно часто, не осознавая, какую именно информацию получили, говорим себе: «Не знаю в чем дело, но чувствую, что это так (или не так!)». Может быть, сам организм нам подсказывает и мы эту информацию извлекаем из подкорки мозга? Или, попадая действительно в первый раз в какую-то ситуацию или место, мы начинаем ощущать, что это с тобой уже было или ты был в этом месте. Не проявляется ли здесь наше индивидуальное «я» из коллективного бессознательного? Дальнейшую информацию о физическом понимании полей и излучений, связанных с объектами живой природы, можно получить в обширной литературе [36, 106, 147, 148, 156].

Нам же для общего понимания проблемы достаточно осознания реального факта воздействия внешних физических полей на живой организм, их взаимодействия с внутренними полями и возможности получения и управления информацией этого взаимодействия. В частности, практически все виды ЭМП могут быть использованы для диагностических и лечебных целей. Общим физическим принципом такого лечения, по-видимому, можно считать концентрацию энергии на основных органах и тканях.

439

15.3. Устройство памяти. Воспроизводство и передача информации в организме

Если какую-то из наших способностей можно счесть самой поразительной, я назвала бы память. В ее могуществе, провалах, постоянстве есть что-то откровенно непостижимое, чем в любом из наших даров. Память иногда такая цепкая, услужливая, послушная, а иной раз такая путаная и слабая, а ещё в другую пору такая деспотичная, нам не подвластная! Мы, конечно, во всех отношениях чудо, но, право же; наша способность вспоминать и забывать кажется мне вовсе непонятной.

Джейн Остин

Психологи слишком долго пытались игнорировать реальность мозга, отдавая предпочтение физическим, химическим, математическим, литературным, лингвистическим, математическим и компьютерным аналогиям. Теперь пришло время заняться самим мозгом.

Д. Биндра

В конце концов обе стороны (психологии и физиологии) хотят отношения между мозгом и сознанием. Вы можете либо начать с сознания и уйти вниз, или с мозга и уйти вверх. Так что, если сравнивать это со строительством трансконтинентальной железной трансконтинентальной железной дороги, - вы начнете с двух концов и планируете встретиться где-то посередине... но может оказаться, что вы строите эту дорогу на разных континентах.

Д.Деннет

Природа памяти является одной из самых загадочных и важнейших проблем современной биологии, и с ней тесно связаны проблемы деятельности мозга, строения нервной системы, хранения и передачи информации в живом организме, а также проблемы обучения.

Память — самая долговечная из наших способностей, она определяет нашу индивидуальность и заставляет действовать тем или иным способом в большей мере, чем любая другая особенность нашей личности [124]. Для каждого из нас память уникальна. Она позволяет человеку осознавать себя и других людей личностями. Поэтому, потеряв память, человек утрачивает свое «я» и перестает существовать именно как человек. По существу наша жизнь есть путь от пережитого прошлого к неизвестному будущему через

настоящее.

Наше существование в настоящем связано с прошлым, это продолжение прошлого и формируется им благодаря наличию **памяти**. Как отмечал С. Роуз, *«именно память спасает прошлое от забвения, не дает ему стать таким же непостижимым, как будущее»*. Поэтому память определяется «стрелой времени» при-

440

дает направленность ходу времени, и в этом смысле связана и с физикой, синергетикой, историей, геологией, биологией, даже с развитием человеческого языка и в целом с эволюцией жизни.

Кроме того, память может не только отражать осознание прежнего опыта отдельного человека и всего человечества в целом, но и содержать информацию о прошлом. Почему бы не считать, что память — это не то, что помним мы, но то, что помнят нас [127].

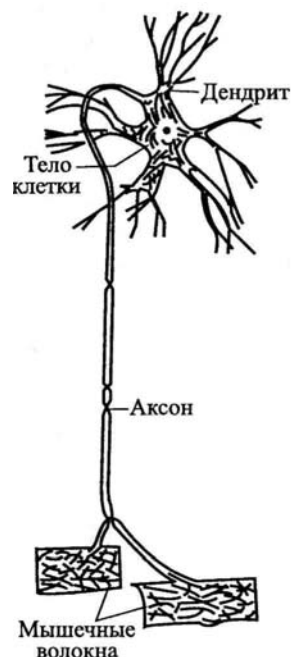
Из сказанного ясно, какой огромный объем представлений и понимания многих явлений и процессов подразумевается под «скромным» определением «устройство памяти». Здесь мы коснемся кратко лишь основных представлений относительно получения, передачи и хранения информации в виде памяти живого организма, отсылая заинтересованного читателя к специальной литературе, в том числе к увлекательным научно-популярным работам М. Ичаса [9], С. Роуза [124], ЛА. Блюменфельда и других ученых.

15.3.1. Физические процессы передачи информационного сигнала в живом организме

Рассмотрим подробнее нервную систему человека в связи с проблемой памяти. Главная функция нервной системы состоит в переработке и передаче информации от рецепторов органов чувств через центральную нервную систему к органам-исполнителям — эффекторам. Нервная система состоит из нейронов, синапсов и нервов. *Синапсы* — это соединения между нейронами, а *нервы* — это пучки отростков многих нейронов, своего рода многожильные кабели, которые осуществляют координацию функций организма и опосредуют его реакцию на различные воздействия.

Каждый *нейрон* имеет тело и отростки — *аксоны* и *дендриты*. Аксон — это длинный отросток, который проводит сигналы от тела нервной клетки, а дендрит — по направлению к нейрону, т.е. аксоны передают выходные сигналы, а дендриты — входные. Строение нейрона показано на рис. 15.3. У каждого нейрона имеется один аксон. Функциональной единицей нервной систе-

Рис. 15.3. Строение нейрона.



441

мы является моносинаптическая рефлекторная дуга — нервная цепь, образованная двумя нейронами. Стимул в виде электрического импульса передается по такой дуге и дает однозначный рефлективный («автоматический») ответ. Однако одна рефлекторная

дуга может взаимодействовать с другой, что приводит к большому разнообразию ответов. Схема такой дуги проста: рецептор — нейрон — эффектор (например, мышца). Вся система работает, как дверной звонок: нажимаем на кнопку, и раздается звонок. Однако реальна другая аналогия — сначала сигнал попадает на пульт (мозг), и там решается вопрос, кому этот сигнал предназначен.

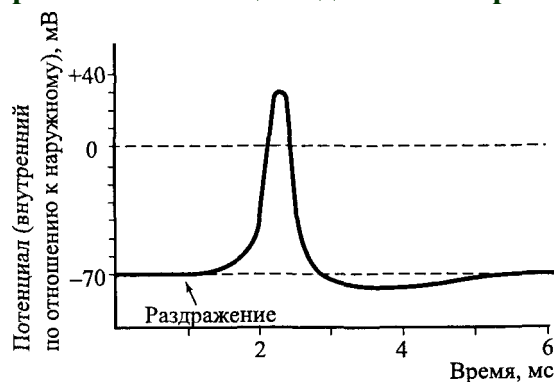
Как осуществляется образование и прохождение нервного импульса по нейронам и синапсам? Этот процесс обусловлен наличием электрических зарядов на наружных клеточных мембранах, что является всеобщей особенностью живых клеток. Нервный импульс представляет собой волну деполяризации, которая распространяется по аксону от тела клетки к нервному окончанию. В каждой клетке невозбужденной мембраны аксона до того, как до

нее дойдет волна деполяризации, имеется потенциал (~ -70 мВ).

Такой заряд, создающий мембранный потенциал покоя, обусловлен присутствием во внутри- и внеклеточной жидкости различных заряженных ионов, в частности Na^+ , K^+ , их неравномерным распределением по разным сторонам мембраны и избирательной проницаемостью мембраны. Когда из наружной среды попадают ионы натрия, происходит быстрый (около 1 мкс) скачок мембранного потенциала от -70 мВ до $(+20—40)$ мВ.

Такой скачок называется *потенциалом действия* (рис. 15.4). Изменение потенциала от -70 мВ до нуля приводит к полной

Рис. 15.4. Электрический потенциал действия нервного импульса.



442

деполяризации, и затем возникает обратная по знаку поляризация мембраны. Положительные ионы Na^+ переходят в клетку, и потенциал мембраны становится около $+40$ мВ в максимуме. Таким образом, поступление в клетку ионов натрия приводит к деполяризации мембраны и возникновению потенциала действия, который и распространяется по аксону в виде волны от тела клетки до ее выходного синапса. Потенциал действия, в свою очередь, служит сигналом для высвобождения в синаптическую щель нейромедиатора, вызывающего реакцию другого нейрона. Когда поступление ионов натрия прекращается, они выводятся наружу и устанавливается первоначальная разность потенциалов. Способность генерировать потенциал действия — уникальное свойство таких возбудимых клеток, как нейроны, причем это может быть электрическая, химическая и механическая стимуляция, в результате чего свойства мембраны в месте раздражения быстро изменяются.

Феномен человека, может быть, состоит также в том, что нейроны способны превращать слова обычного языка людей в слова-молекулы РНК и ДНК.

Это, конечно, упрощенная модель передачи сигнала в мозгу человека, восприятия и запоминания им информации от внешней среды. Отметим, однако, что согласно принципу дополнительности Бора чем больше известно о деятельности мозга субъекта, тем меньше информации можно получить о его психологическом состоянии. И наоборот, чем лучше мы знаем психологическое состояние, тем меньше данных о процессах в мозгу.

Принцип дополнительности проявляется также в том, что физические воздействия на мозг с целью изучения его деятельности здесь разрушают психологическую картину внутреннего мира субъекта, которую можно было бы «наблюдать» в полном объеме, только если никакого инструментального воздействия не существует. Поэтому, по мнению В.А. Лефевра, важно построить такую математическую модель внутреннего мира человека, в которой бы он осознавал самое себя, собственные мысли. Предполагается,

что в этой модели изменение самочувствия человека происходит за счет изменения осознанного образа себя. Человек чувствует и одновременно чувствует себя чувствующим. Заметим, однако, что дальнейшее изложение этих сложных проблем увело бы нас от общих концепций современного естествознания.

443

Нервная система позвоночных состоит из центральной (ЦНС) и периферической (ПНС). В ЦНС происходит переработка сигналов, и она состоит из головного и спинного мозга. ПНС, как следует из ее названия, осуществляет передачу сигналов на периферии, от органов чувств к железам, мышцам и т.д.; у животных — основном ПНС.

Нервная система у высших животных развилась постепенно из диффузионной нервной системы, где в определенных участках нейроны стали концентрироваться и в конце концов образовали центральную нервную систему — головной и спинной мозг («спиной чувствую»!). Первоначальная структура ЦНС — нервный тяж, идущий вдоль тела. Передняя часть его расширяется, образуя головной мозг (этот процесс называется цефализацией, от греческого «кефалос» — голова), а задняя часть становится спинным мозгом. Важнейшая часть головного мозга — два больших полушария, правое и левое. Среди важнейших функций мозга — его способность к переработке сенсорных данных, способность к формированию общих абстрактных понятий, т.е. категоризация, и память.

15.3.2. Физическая основа памяти

Физической основой памяти и способностью к обучению служат изменения эффективности нейронов и синаптических связей между ними при повторной стимуляции. Однако система памяти человеческого мозга отличается от двоичной системы памяти компьютера: элементы информации извлекаются не с помощью обращения к постоянному адресу их хранения — адрес можно изменять в зависимости от ассоциации идей, которые являются своего рода голограммами информации. В компьютере каждая хранящаяся в его памяти единица информации имеет свой определенный адрес — код, который нужно знать для ее извлечения.

Биологическая же память тоже использует адреса, но варьирует их в зависимости от ассоциаций мыслей, меняющихся у разных людей в разное время. Следовательно, изменения в мозгу при получении и переработке информации в процессе обучения или запоминания, «следы памяти», или, как их назвал канадский психолог Д. Хебб, энграммы, носят не локализованный, а распределенный характер. Они представлены не в отдельных «ячейках памяти», а в виде некоторых состояний системы мозга. Поэтому при повреждениях или разрушениях отдельных участков

444

мозга хранящаяся в памяти информация обычно не утрачивается совсем, хотя и извлечение ее становится менее эффективным.

Таким образом, человеческая память непредставима моделью компьютера. Она закодирована в десяти миллиардах нервных клеток, образующих наш мозг, и триллионах связей между ними — синапсов. Число нейронов в мозгу любого человека втрое больше, чем число живущих на Земле людей, а если учесть число синапсов (около 10^{14} — 10^{15}), то их больше в сто тысяч раз по сравнению с численностью населения во всем мире. Предположив образование одного синапса в секунду, можно подсчитать, что потребуется от 3 до 30 миллионов лет, чтобы закончить подсчет. Как сказал С. Роуз, *«этого вполне достаточно, чтобы хранить воспоминания о всей прошедшей жизни...»* [124].

Структурные изменения в нервной системе (рост отростков в нейронах, возникновение новых связей и лавинный характер передачи информации через нейроны) дают возможность обучения и хранения «следов памяти». Изменения в поведении, возникающие в результате опыта, развиваются на основе обучения и запоминания и могут быть закреплены на структурном уровне. Предполагается, что в процессе обучения центры памяти и обучения начинают работать синхронно, и между нейронами, задействованными при обучении и запоминании, усиливаются биохимические связи. Отметим также, что и на этом уровне реализуется принцип оптимальности информации в условиях дефицита энергии путем самоорганизации.

Можно предположить, что образование следов в памяти является живым процессом, который изменяется и наполняется новым содержанием каждый раз, когда мы его оживляем. Эффективность этого процесса возникновения энграмм определяется «усилением» работы синапсов. Схематически это выглядит так: если два нейрона, соединенные синапсом, подвержены одновременной стимуляции, то синапс становится

«сильнее» и легче передает сигнал от одного нейрона к другому. Если синапс станет более сильным, стимуляция только одного нейрона вызовет разряд и в другом, между ними установится ассоциативная связь. Такое упрощенное представление позволяет понять, почему активация каким-то стимулом одного нейрона может вызвать в памяти нечто иное, обусловленное активностью другого нейрона.

Сейчас установлено, что существуют две формы памяти: *лабильная кратковременная* и *постоянная долговременная*. Кратковременная — это такая память, в которой следы появляются сра-

445

зу же, она зависит от электрической активности нейронов мозга, и если активность прерывается, то следы исчезают. Через некоторое время следы могут перейти в долговременную память — так сказать, в «отдел» длительного хранения. Здесь уже информация не утрачивается после прекращения электрической активности нейронов. Она теперь закреплена в нервных связях и может храниться долго, иногда всю жизнь. Как отмечает К. Баулс, *«воспоминания — это информация, закодированная в нейронах»*, и физические структуры нашего мозга наполнены образами недавних, отдаленных и представимых нами будущих событий. По мнению К. Баулса, эти структуры и вызывают иллюзию течения времени. Существует еще деление на *эйдетическую (образную), зрелую, словесную, зрительную память, память о недавнем и давно прошедшем, процессы узнавания и воспоминания*. Отметим, однако, лишь, что запрограммированная в молекулах ДНК генетическая информация, можно сказать, контролирует каждый шаг нашей жизни, является сконцентрированной в молекулярной записи наследственной памятью прошедших веков эволюции. Об этом образно сказал в романе «Лезвие бритвы» российский писатель и геолог **И.А. Ефремов (1907—1972): «Наследственная память человеческого организма это результат жизненного опыта неисчислимых поколений, от рыбьих наших предков до человека, от палеозойской эры до наших дней. Эта инстинктивная память клеток и организма в целом есть тот автопилот, который автоматически ведет нас через все проявления жизни, борясь с болезнями, заставляя действовать сложнейшие автоматические системы нервной, химической, электрической и неведь какой еще регулировки. Чем больше мы узнаем биологию человека, тем более сложные системы мы в ней открываем».**

Можно разделить память еще на две формы, позволяющие отличить память человека и память животных. Из повседневной жизни нам хорошо известно, что домашние животные, собаки и кошки ведут себя так, как будто имеют память. Собаки узнают своих хозяев и отличают от незнакомых людей. Кошки, научившись открывать дверь, «запоминают» это на всю жизнь и постоянно пользуются своим умением. Это память, связанная с приобретением навыков, условных рефлексов, запоминающихся реакций на окружающую среду и требующих ответного действия, так сказать, память действия, моторная память. Она называется процедурной памятью и проявляется у человека в виде навыков движения (бег, плавание, лыжи, велосипед и т.д.).

446

Об отличии животных и человека остроумно заметил русский марксист **Г.В. Плеханов (1856—1918): «Собака не умеет ошибаться, зато она не умеет решать дифференциальные уравнения».**

Однако человеку присуща и декларативная, абстрактная память, память на названия, которой нет у животных. Это различие связано с различиями устройств мозга животных и человека. Мозг животных не способен к образованию абстрактных понятий и воссозданию в голове идеально отсутствующей ситуации. Имеются, тем не менее, некоторые экспериментальные наблюдения, свидетельствующие о зачатках памяти у животных, похожей на память человека. Так, волк, бегущий по одну сторону забора и желающий схватить зайца, убегающего от него по другую сторону, не пытается пролезть в щель, а «соображает», что можно поймать зайца, когда забор кончится, и бежит именно к концу забора.

Иначе устроен мозг человека, способный к обобщению внешних данных, образованию абстрактных понятий и воссозданию идеальных ситуаций, а не просто прямому восприятию окружающей ситуации. Заметим также, что чем ближе находятся организмы по уровню своего развития, тем полней может быть передача состояний от одного к другому. Именно по этой причине затруднена передача состояний посредством языка между человеком и животными.

С физической точки зрения возможность передачи состояний через код по нервной системе — это важный фактор, объединяющий компоненты высокоорганизованных

Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

систем, и на высших уровнях организации играет ту же роль, что химическая связь на атомном уровне. В этом смысле можно в шутку провести и такую аналогию: нейрон — как атом, а синапсы — как электроны. Раскрытие механизмов памяти еще далеко не закончено. Можно, например, выделить еще три формы биологической памяти: генетическую, открытие и расшифровку которой осуществила молекулярная биология; обычную, которая является функцией мозга (именно о ней и шла речь в этом разделе); и иммунологическую.

«Обычная» память, по-видимому, проявляется в топографической схеме связей между нейронами и в динамике нейронной системы. «Освоение» мозгом полученной информации должно сопровождаться изменением электрической активности нейронов, соединенных изменившимися синапсами. Еще раз подчеркнем, что понимание памяти возможно на пути исследования

447

мозга как целой самоорганизующейся системы, в которой постепенно происходят организация порядка из хаоса и обратные переходы от порядка к хаосу. Для этого понимания необходимо объединить в холистическом подходе разные методы познания человеческого организма: морфологию, описывающую изменения в пространстве; биохимию, описывающую состав на молекулярном уровне; физиологию, динамично описывающую изменения во времени.

15.3.3. Человеческий мозг и компьютер

Сравнение человеческого мозга с электронным компьютером несостоятельно еще по двум обстоятельствам. Во-первых, мозг по сравнению с детерминированной памятью компьютера не является закрытой системой. Мозг человека, как и его организм в целом, представляет собой открытую систему, сформированную собственной историей и находящуюся в непрерывном взаимодействии с природной и общественной окружающей средой, которая изменяет ее, но и сама система при этом подвергается изменению. Такая открытость приводит к неопределенности в работе мозга и поведении его «владельца». Мозг обладает способностью изменять свою структуру, физические, химические и физиологические процессы, свою реакцию в результате приобретения опыта и случайных обстоятельств в процессе развития. Недетерминированность на уровне нейронов и синапсов человеческого мозга по сравнению с компьютером показывает, что понимание работы мозга и разума лежит не в анализе работы отдельных его элементов, реакции которых непредсказуемы по своей природе, а в восприятии их на уровне целого. Сознание, разум, память возникают как свойства мозга в целом, а не как свойства отдельных его компонентов.

Не касаясь здесь специально проблем сознания человека, отметим все же, что организационным принципом сознания является язык. Изменение слов — это изменение понятий, а изменение понятий — это изменение поведения. Вербальное оформление понятий является первым шагом осознания ощущений и «мыслей» из бессознательного и подсознательного (по К. Юнгу)-И, может, поэтому, по Библии, «в начале было Слово...» — как первичное осознание человека человеком? В сознании человека появился образ того, что он видит, и, чтобы осознать это, он ввел (произнес) «Слово» как способ передачи своих ощущений другим людям, способ вербального общения и освоения пред-

448

ставлений и понятий природы. Заметим, что в условиях России, ее замкнутости, самодостаточности и информационной недостаточности русский человек очень чутко к слову как носителю информации. Следующим шагом осознания и передачи этого осознания другому было написание слова. Заметим, однако, что до сих пор отсутствует полная идентичность сказанного и написанного. В целом же сознание отражает законы и, как сказал М. Планк, *«человек мыслит законами природы»*.

Во-вторых, мы уже знаем, что в процессе жизни каждая клетка многократно заменяется, одни гибнут, рождаются новые, рвутся старые связи между ними и устанавливаются новые, причем это происходит миллионы раз. И при этом всеобъемлющем самоорганизующемся процессе, который и составляет существо биологической жизни, память сохраняется. Разве можно представить компьютерную память при постоянной смене человеком деталей компьютера? Человеческая же память, связанная со структурами его мозга и происходящими в нем процессами, сохраняется так же, как сохраняются формы тела, несмотря на непрерывный круговорот его молекулярных компонентов.

Синергетические представления о сложных механизмах процессов мышления подтверждают расширение числа подходов к решению жизненных проблем человека, которые «перебираются» в мозгу перед их принятием. Как сказал российский писатель В.В. Конеецкий, *«настоящий командир, беря на себя всю ответственность, не принимает окончательного решения до самого последнего момента»*.

В заключение приведем еще один пример отличия компьютерной памяти от человеческой. Компьютер помнит информацию в виде дискретной цифровой последовательности. Человек же запоминает информацию по смыслу, причем смысл подразумевает динамическое взаимодействие между мозгом человека и информацией. Это процесс, несводимый к количеству информации. Получается, что мозг человека работает не с информацией в компьютерном понимании этого слова, а со смыслом или значением, а значение — это исторически формируемое понятие, оно находит выражение в процессе взаимодействия человека с природной и социальной средой. Компьютер же просто (и быстро) перебирает всевозможные логические варианты, но не понимает и не оценивает их по смыслу. Иначе не было бы, например, таких «перлов» машинного перевода библейского изречения «The spirit is sound but the is weak» (плоть немощна, но дух бодр), как «водка крепкая, но мясо размокло»!

449

Таким образом, «компьютерное мышление» отличается от процессов в мозгу человека. Эти процессы значительно сложнее, и природа человеческого мышления до сих пор не раскрыта. Хотя возможности логического сверхбыстрого перебора шахматных комбинаций позволили компьютеру «Deer Blue» обыграть одного из чемпионов мира по шахматам Г. Каспарова.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие физические поля могут существовать в живом организме?
2. В чем сущность возникновения ЭМП в организме человека?
3. Что такое биопотенциал? Почему он образуется в клетках и тканях организма?
4. Почему живой организм ощущает ЭМП, а ионизирующее излучение — нет?
5. Назовите источники электромагнитных инфраволн.
6. Опишите действие внешних физических полей на человека.
7. В чем смысл взаимодействия внутренних и внешних физических полей для организма человека?
8. Как проходит нервный импульс по нейронам?
9. Что является физической основой памяти?
10. Чем отличаются память человека и память животных?
11. Какие физические методы можно применять для лечения человека?
12. В чем разница между мозгом человека и компьютером?

ЛИТЕРАТУРА

[22](#), [25](#), [60](#), [82](#), [83](#), [105](#), [120](#), [123](#), [143](#), [146](#), [147](#), [155](#).

Глава 16ю ФИЗИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ БИОСФЕРЫ И ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ

Самое плохое в жизни - то, что она проходит.

Эмиль Кроткий

Про зыбкий образ мира вопрошаешь -

Узнать ты слишком много замышляешь,

Из бездны океана он возник

И в бездну канет вновь, ужель не знаешь.

Омар Хайям

16.1. Структурная организованность биосферы

Существование всех живых организмов на Земле неразрывно связано с окружающей средой. Растения и животные находятся

450

не только в тесной зависимости от неживой природы и от других организмов, испытывая их воздействие и приспосабливаясь к ним, но и, потребляя разнообразные продукты окружающей среды, сами преобразуют природу. Потребляемые вещества, необходимые для жизни, называются *биогенами*. К ним относятся химические вещества, абсолютно необходимые для существования живых организмов и входящие в их состав (молекулы кислорода, азота, углерода и т.д.); вещества, возникшие в результате разложения остатков организмов, но еще не полностью минерализованные; вещества, образуемые растениями (например, лук, чеснок, хрен, так называемые *фитонициды*) и

Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

животными организмами и связанные с их жизнедеятельностью, а также вещества, которые оказывают стимулирующее действие на организмы (биогенные стимуляторы). К *абиотическим* компонентам окружающей среды, необходимым для существования живой природы, относятся атмосфера, почва, вода, солнечная энергия, воздействие радиации, электромагнитных и тепловых полей, т.е. такие условия воздействия окружающей среды, в которых живые организмы возникли и могут существовать.

16.1.1. Биоценозы

В процессе исторического развития и естественного отбора под влиянием конкретных природных факторов сложились различные группы организмов — сообщества, взаимодействующие со своей средой обитания и находящиеся в органическом единстве, образуя целостную динамическую систему. Такие сообщества организмов получили название *биоценозов*. Таким образом,

биоценоз — это такая совокупность растений, животных, грибов и микроорганизмов, населяющих участки суши или водоемов с более или менее однородными условиями существования, характеризующихся определенными взаимосвязями между собой, которую можно рассматривать как элементарную экологическую нишу.

Биоценоз представляет собой целостную, с сильной связью между внутренними элементами, но открытую систему, находящуюся в условиях вдали от равновесия. На такую неустойчивую и самоорганизующуюся систему существенно влияют слабые воздействия, которые могут создавать в ней согласованное, кооперативное поведение подсистем различных типов — отдельных особей, видов, популяций. В результате согласованного взаимодействия подсистем происходят процессы упорядочения и возникновения из хаоса определенных структур, их изменение и

451

усложнение. Как следует из синергетического метода изучения сложных самоорганизующихся систем, чем больше отклонение от равновесия, тем выше взаимосвязь и единство процессов, протекающих в отдаленных областях и не связанных друг с другом.

Наличие неустойчивостей увеличивает роль внешних воздействий, и даже очень малое воздействие может привести к значительным последствиям. Наглядный, хотя и несколько необычный пример такого слабого воздействия неустойчивости, возникшей при изменении начальных условий, приводит в своей книге «Колебания и волны для гуманитариев», написанной в классическом научно-популярном жанре, академик Д.И. Трубецков, описывая ситуацию из фантастического рассказа Брэдли «И грянул гром»: *«...некая фирма организует сафари в прошлом. Там проложена тропа, с которой нельзя сходить, чтобы не изменить условий в прошлом, которые являются начальными для настоящего. Однако один из охотников по трусости сходит с тропы и нечаянно раздавливает маленькую желтую бабочку. Начальные условия изменились. Экспедиция возвращается в настоящее, и ее члены видят, что изменился алфавит, избран другой президент, более того, у людей изменился цвет лица, разрез глаз, т.е. произошли изменения на генетическом уровне. Малое изменение начальных условий (раздавлена бабочка) привело к серьезным изменениям за конечное время»* [22].

В связи с этими «путешествиями» во времени можно еще раз заметить, что в рамках синергетики имеются представления [68, 69] о том, что будущее состояние системы (среды) формирует и изменяет и ее настоящее. Будущее, по терминологии С.П. Курдюмова и Е.Н. Князевой, «временит» настоящее, организует его. Об этом говорил еще немецкий математик Г. Лейбниц (1646—1716): *«Настоящее чревато будущим, иначе говоря, всякая субстанция должна в своем настоящем выразить все свои будущие состояния»*. Если мы знаем (или предполагаем), к чему придет система в будущем, то в настоящем должны быть ростки или условия этого будущего. В этом также проявляется целевая функция живого и его память — факторы, которые не учитывала классическая физика.

16.1.2. Геоценозы и биогеоценозы. Экосистемы

Можно выделить также отдельно участки земной поверхности с определенными природно-климатическими условиями, которые будут характеризовать географическую среду обитания живых организмов. Они называются *геоценозами*. Геоценозы как и

452

биоценозы, входят в качестве составных частей в более сложную, но также целостную

систему, которую наш соотечественник академик **В.Н. Сукачев (1880—1967)** назвал *биогеоценозом*. Примерами биогеоценозов являются водоемы (океаны, моря, реки, озера) и лесные массивы со всеми их обитателями. По классификации уровней организации живого биогеоценоз является элементарной единицей биогеоценотического уровня организации жизни на Земле, а составной частью биоценоза как раз и будет популяция. В естественных условиях наблюдается закономерная последовательность преобразований биоценозов с переходом в новое устойчивое состояние, которое можно рассматривать как своеобразный фазовый неравновесный физический переход в результате эволюции.

Примерами являются превращения озер в болота, смена форм растительности и т.д. Поскольку понятие биогеоценоза имеет, как мы видим, широкий смысл, иногда его называют экологической системой (*экосистемой*). Термин *экология* был введен немецким биологом Э. Геккелем в 1866 г. и означал взаимоотношения между сообществами животных и растений. Сейчас круг вопросов, относящихся к проблемам экологии, значительно расширился, вплоть до представлений концепции устойчивого развития биосферы, ее коэволюции с человеком и вообще возможности существования жизни на Земле в условиях интенсивного роста техносферы.

Таким образом, экосистема — это взаимообусловленный комплекс живых и абиогенных компонентов, связанных между собой обменом вещества и энергии, продукт совместного развития многих живых организмов, в ходе которого они не только приспособились друг к другу, но и изменились в результате эволюции. Каждая экосистема содержит и сложные, и простые компоненты, поэтому низшие организмы являются составной ее частью. Выпадение одного или нескольких компонентов (вспомним бабочку Брэдбери!) может привести к потере целостности или даже гибели определенного биогеоценоза.

16.1.3. Понятие биосферы

В современном естествознании проблемы жизни в целом на Земле объединяются общим понятием *биосферы*. Этот термин, выведенный в 1875 г. австрийским геологом Э. Зюссом (1831—1914), первоначально означал совокупность всех живых организмов на нашей планете. Однако в дальнейшем выяснилось, что

453
биосфера представляет собой единство объектов живой и неживой природы, вовлеченных в сферу жизни. Два основных компонента биосферы — живые организмы и среда их обитания — непрерывно взаимодействуют и влияют друг на друга. Как мы рассматривали в гл. 14, воздействие биотических (живых) факторов на абиогенные условия в значительной мере изменяет физическое, химическое и геологическое состояния нашей планеты. Именно поэтому биосферу нельзя рассматривать отдельно от неживой природы, а только в единой совокупности со средой обитания живых организмов — гидросферой, атмосферой и верхней частью литосферы, которые обеспечивают их необходимыми компонентами жизни — водой, кислородом, минеральными веществами и микроорганизмами. Можно даже сказать, что окружающая среда выступает неким регулятором жизненных процессов, причем не только в поставке необходимых веществ и контактом взаимодействия, но и во влиянии совокупности полей различной природы, обладающих энергетическими и информационными характеристиками.

Таким образом, биосфера — это вся совокупность связанных между собой биологическим круговоротом веществ и энергий биогеоценозов на поверхности Земли. С этим круговоротом связана миграция атомов химических элементов — их биогеохимические циклы, в ходе которых атомы большинства химических элементов проходят бесчисленное число раз через живое вещество. Так, например, весь кислород атмосферы совершает кругооборот в природе через живое вещество за 2000 лет, углекислый газ — за 200—300 лет, а вся вода биосферы за 2 млн лет. Разные организмы в разной степени способны аккумулировать из среды обитания различные элементы: содержание углерода в растениях в 200 раз, азота — в 30 раз превышает их уровень в земной коре. Состав, структура и энергетика биосферы определяются совокупной деятельностью живых организмов. В различных природных условиях биосфера принимает вид относительно независимых комплексов — биогеоценозов. Биосфера распространена неравномерно по земной поверхности, верхняя ее граница — 25—30 км, нижняя (в земной коре) — до 2—3 км, в воде — до 3—10 км.

Океан занимает около 71% земной поверхности Земли, но его биомасса составляет

всего 0,13% от суммарной массы живых организмов. Масса живого вещества сосредоточена в основном в сухопутных растениях. Сухопутные животные составляют 93%,

454
водные — 7%, растительность на суше — 92%, в воде — 8%. Одним из признаков живого и условием сохранения биоты и биосферы в целом является разнообразие видов живых организмов. К настоящему времени установлено, что число видов растений составляет 21%, а животных — 79% от общего числа объектов живой природы. Однако на 79% видов животных приходится всего 1% всей биомассы Земли. Отсюда можно сделать вывод [8], что чем выше уровень видовой дифференциации, тем меньше соответствующая ему биомасса. Такое распределение численности видов и их биомасс не случайно, а определяется ходом эволюции. Несмотря на то что животный мир более разнообразен и почти в четыре раза превосходит численность видов растений, на долю позвоночных и млекопитающих приходится менее 4%, поэтому на суше преобладают растения, а в воде — животные. Из процентного соотношения сухопутных и водных видов делается вывод, что возможность видообразования на суше, обусловленная процессами эволюции, выше, чем в воде. Отметим еще один общий закон: чем выше уровень дифференциации, тем меньше занимаемый видом объем.

16.1.4. Биологический круговорот веществ в природе

Биологический круговорот играет огромную роль в биосфере — он обеспечивает жизнь. Любая форма жизни неизбежно включается в этот процесс. Общее количество протоплазмы всех живых организмов, населявших Землю в течение многих миллиардов лет, намного превосходит массу нашей планеты. Следовательно, материя использовалась многократно. Химические элементы извлекаются из окружающей среды, входят в состав живой протоплазмы и возвращаются в окружающую среду для повторного использования. Распад, деструкция сложных органических соединений служит источником энергии. Образующиеся микроорганизмы, приспособленные практически к любым условиям, эту энергию извлекают.

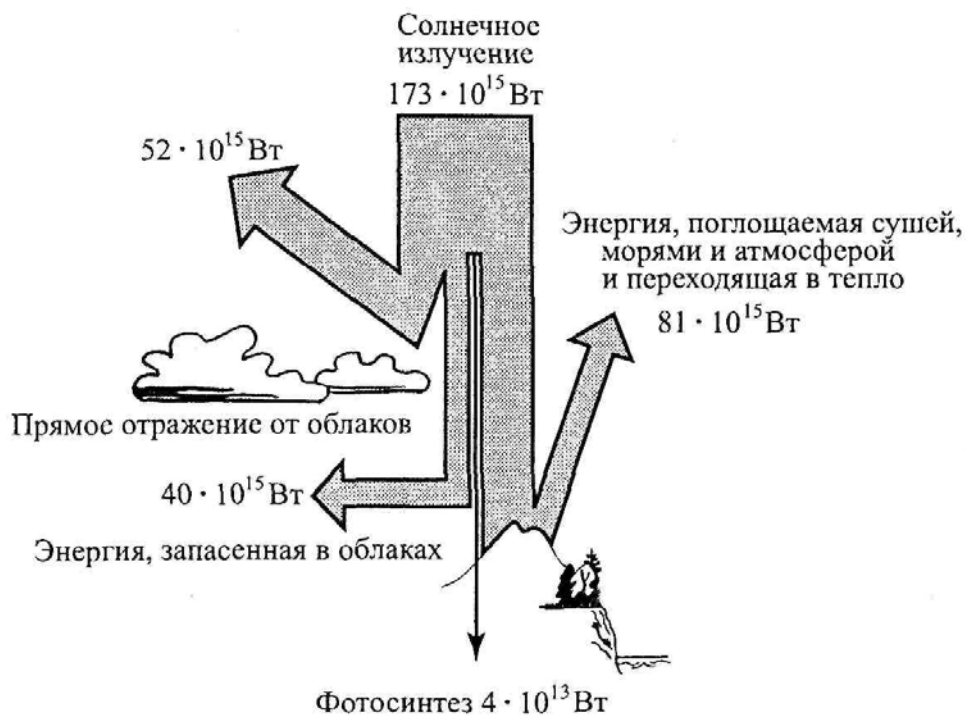
Важным условием существования биосферы и круговорота веществ в ней является получение и преобразование энергии в живых организмах. О роли и значении энергии в целом для живого мы уже говорили в § 11.2, а о том, как это происходит на клеточном уровне, — в § 12.4. Рассмотрим здесь возможность получения и использования энергии в биосфере, а затем и роль энергии в эволюции.

455

16.1.5. Роль энергии в эволюции

Основным естественным внешним источником энергии, используемой для поддержания жизни, является энергия излучения Солнца. Однако биосфера получает лишь небольшую часть всей солнечной энергии, поступающей на Землю. Ультрафиолетовая часть солнечного спектра, составляющая около 30% всей этой энергии, практически полностью задерживается озоновым слоем атмосферы. Половина достигающей Земли энергии превращается в тепло и затем рассеивается в космическое пространство. Около 20% энергии Солнца расходуется на испарение воды с огромных пространств океанов и морей и образование облаков в атмосфере Земли, и лишь около 0,02% используется биосферой (рис. 16.1).

Зеленые растения усваивают эту энергию непосредственно, поглощая молекулы хлорофилла в процессе фотосинтеза, преобразуют ее и запасают в виде энергии химической связи различных соединений в объектах живой природы. Это основной первичный процесс усваивания энергии Солнца, и от него зависит все существование биосферы. Животные, поедая растения, а хищники — травоядных животных, получают эту энергию, сжигая сахара, другие биологические накопители энергии и пита-

Рис. 16.1. Распределение солнечной энергии, поступающей на Землю.

456

тельные вещества с использованием кислорода. Сама переработка пищи в организме также сопровождается выделением энергии, часть ее запасается в форме энергии химических связей и затем может быть использована для совершения работы. Таким образом, животные не получают нужную им энергию непосредственно от Солнца.

Удовлетворение в целом энергетических потребностей живых организмов осуществляется в условиях равновесия, которое возникает между организмами в рамках возникающих экосистем. В каждой экосистеме имеются и автотрофы, которые переваривают в пищу вещества из неживой окружающей среды, и гетеротрофы, которые не производят необходимую им пищу и, тем самым, зависят от остальных непосредственных производителей энергии. Заметим еще раз, что все элементы, из которых состоят живые организмы, многократно используются в биосфере, обеспечивая биотический круговорот органических веществ с участием всех образующих биосферу организмов.

Каждый вид, популяция, биогеоценоз являются лишь звеньями в этом биотическом круговороте. Непрерывность жизни обеспечивается синтезом и распадом веществ, при этом каждый живой организм выделяет то, что может быть использовано другими организмами. Важную роль в круговороте играют микроорганизмы, превращающие останки животных и растений в минеральные соли и простейшие органические соединения, которые затем снова используются растениями для синтеза новых органических веществ. Энергетический обмен в биосфере отличается от круговорота веществ в ней, поскольку энергия частично рассеивается при переходе от растений к травоядным, а затем и плотоядным животным, и вследствие этого требуется постоянная подпитка биосферы солнечной энергией.

Роль энергии во всех проявлениях жизни огромна и несомненна, можно даже сказать, что главным фактором эволюции является энергетический.

За все время человеческой истории способность концентрировать и целенаправленно высвобождать энергию увеличилась (от каменного топора до ядерной боеголовки) на 12—13 порядков (в миллион миллионов раз!) [128].

Все биологические объекты и их эволюция тесно связаны с потоком энергии, пронизывающим все живое. По существу он является физической основой, на которой построена биологическая эволюция и которая создает предпосылки для естественно-

457

го возникновения регуляторных механизмов. Наличие энергетического потока является определяющим в существовании биологических структур и их динамики. Поэтому неудивительно, что в процессе эволюции появляются организмы, выработавшие сложные механизмы превращения и запасания энергии. Огромную роль (см. § 12.4)

играют превращения, происходящие в химических связях фосфорных соединений, в которых принимают участие белки и нуклеотиды.

Результатом появления многоклеточных форм жизни является потребность живого существовать в условиях избытка энергии как фактора, предохраняющего живое от гибели. Эволюция от прокариотов до эукариотов может рассматриваться как возможная эволюция фосфагенов, поскольку для мышц необходимы легкодоступные источники энергии, какими фосфаты и являются. Как отмечал Р. Фокс, организм может легко перемещаться, если его ткани «насыщены» энергией, и как раз для этого и нужны фосфагены. В результате естественного отбора в живых организмах, существующих за счет притока энергии, сохранились организмы, у которых сформировались ткани с более эффективным энергетическим обменом и способом утилизации энергии, с более совершенной регуляцией этих процессов и накоплением энергии.

Можно считать, что жизнь возникла благодаря потокам энергии и особым веществам, преобразующим энергию в живом организме.

16.2. Биогеохимические принципы В.И. Вернадского и живое вещество

Мир - мгновенье, и я в нем - мгновенье одно.

Сколько вздохов мне сделать за миг суждено?

Будь же весел, живой! Это бrenное здание

Никому во владенье навек не дано.

Омар.Хайам

То, что я понял, — прекрасно, из этого я заключаю, что и остальное, чего я не понял, - тоже прекрасно

Сократ

16.2.1. Живое вещество

Биосфера является единством живого и минеральных элементов, вовлеченных в сферу жизни. Большое значение для понимания эволюции жизни и роли всех процессов, происходящих

458

на Земле, в становлении и функционировании биосферы сыграли работы и идеи нашего выдающегося естествоиспытателя В.И. Вернадского. Им же было введено понятие *живого вещества* и сформулированы биогеохимические принципы. Согласно Вернадскому,

• *живое вещество — это совокупность всех живых организмов нашей планеты. При этом биосфера рассматривается как некое системное образование на основе внешней геологической оболочки Земли, включающее в себя как живое вещество всей планеты, так и среду обитания, которая преобразуется этим живым веществом.*

Заметим, что с энергетической точки зрения живое вещество является наиболее эффективным способом преодоления роста энтропии.

Тем самым была показана роль живого вещества в процессе эволюции Земли и неотделимость развития биосферы от геологической истории планеты. В этом смысле биосфера рассматривалась как самостоятельная часть геосферы, в которой масса живого вещества сравнима с массой горных пород, а его энергия сопоставима с такими геологическими явлениями, как горообразование, извержения, землетрясения. Живое вещество активно участвует в круговороте веществ и энергии в земной коре, причем его энергия значительно больше, чем энергия косного вещества.

Биосфера, по В.И. Вернадскому, включает в себя следующие элементы:

- живое вещество;
- косное вещество (без наличия живых организмов);
- биогенное, создаваемое и перерабатываемое организмами (газы, каменный уголь, известь, битум и т.д.);
- биокосное, возникающее при совместной деятельности организмов и абиогенных процессов (вода, почва, кора выветривания; таким образом, почву и осадочные породы можно рассматривать как результат преобразования биокосного вещества);
- радиоактивное вещество;
- вещество космического происхождения.

Вернадский предположил, что живое вещество биосферы выполняет и биогеохимические функции жизни, формирующие среду для существования живого. Это

— газовая (все организмы); кислородная (хлорофильные растения); окислительная
459

(бактерии, автотрофы); кальциевая (водоросли, бактерии); восстановительная (бактерии); концентрационная (животные и растения); разрушение органических соединений (грибы, бактерии); восстановительное разложение (бактерии); метаболизм и дыхание (все организмы). В результате совместного осуществления этих функций происходят образование различных соединений (карбонатов, сульфидов, фосфатов, соединений азота, железа, марганца и т.д.), их восстановление до других химических форм, концентрация в почвах и осадочных породах, синтез и разрушение органического вещества, т.е. те процессы, которые мы называем круговоротом веществ в природе.

В этом смысле единство состава и функционирования живой природы независимо от уровня представляющих их структур — это биогеохимическое единство. Можно считать, что геохимические процессы в биосфере задаются живым веществом и что геохимические процессы — это биогеохимические процессы; в этом состоит биогеохимическое проявление биосферы. Результатом деятельности живого вещества является формирование осадочных и образовавшихся из них метаморфических пород, полезных ископаемых, ландшафтов Земли и ее атмосферы.

16.2.2. Биогеохимические принципы В.И. Вернадского

В соответствии с представлениями, изложенными выше, В.И. Вернадский сформулировал два биогеохимических принципа:

- биогенная миграция атомов, вызванная энергией Солнца, процессы обмена веществ, рост и размножение организмов стремятся к максимальному проявлению;
- эта же биогенная миграция приводит к выживанию организмов, увеличивающих саму биогенную миграцию атомов биосферы.

В свете этих идей, подтвержденных современной наукой, можно также отметить и пять постулатов В.И. Вернадского, касающихся структуры и функций первичной биосферы:

- первобытная биосфера была функционально разнообразна;
- появление организмов произошло не в единичном порядке, а массово, в совокупности, должны были сразу появиться биогеоценозы;

- 460
- эти биогеоценозы — главная движущая сила геохимических преобразований, морфологические изменения не влияли на глобальные химические функции;
 - живые организмы порождают миграцию химических элементов в биосфере;
 - все без исключения функции живого организма в биосфере могут быть исполнены простейшими одноклеточными организмами.

Отсюда следует, что эволюцию Земли и затем образование и развитие биосферы В.И. Вернадский объединил через три фактора макроэволюции — космический, геологический и геохимический, которые самым тесным образом связаны с биологической эволюцией, и все они объединяются в энергетических процессах биосферы. Таким образом, можно дать еще одно определение жизни: жизнь — это могучая геологическая сила нашей планеты, формирующая облик Земли и создающая ее в образе живой планеты. Геологическая активность и роль живого вещества проявляются в его геохимических функциях — энергетической, деструктивной, средообразующей и транспортной.

Совокупность живых организмов в их совместном осуществлении жизненных процессов на Земле как раз и обеспечивает миграцию химических элементов в биосфере — основу круговорота жизни. Именно с этим обстоятельством связана определяющая роль живого вещества в становлении атмосферы, гидросферы и литосферы Земли. Источником необходимой для этого огромной энергии служит биогеохимическая энергия живого вещества биосферы. Исходя из развитых В.И. Вернадским представлений можно заключить, что жизнь на Земле существует примерно столько же лет, сколько существует сама Земля. Предполагается, что жизнь возникла в виде примитивной биосферы и связана в целом с эволюцией Земли и влиянием на нее живого вещества. Заметим, что только широчайшее разнообразие животных, растений и других форм жизни, возникшее в виде простейших организмов 3—3,5 млрд лет назад, обусловило выполнение всех функций живого вещества. Именно такая огромная роль живого вещества позволила В.И. Вернадскому образно говорить о вечности жизни на Земле.

461

16.3. Физические представления эволюции биосферы и переход к ноосфере

Мыслящий человек есть мера всему.

В.И. Вернадский

Зачем ты над загадкой жизни бился,

Тоскою и сомнением удручен?

В конце концов, когда сей мир творился,

Ты на совет ведь не был приглашен.

Омар Хайям

16.3.1. Основные этапы эволюции биосферы

Все развитие биосферы можно рассматривать как чередование этапов эволюции, прерываемой бифуркациями при переходе к новым качественным состояниям. В результате создавались все более сложные и упорядоченные формы живого вещества. Мы уже рассматривали в той или иной форме в целом проблемы *ЭВОЛЮЦИИ*. Приведем теперь общую схему *основных* этапов эволюции биосферы:

- появление простейших клеток — прокариотов (без ядра);
- появление более организованных клеток — эукариотов (с ядром);
- объединение клеток — эукариотов — с образованием многоклеточных организмов, функциональная дифференциация клеток в организмах;
- появление организмов с твердыми скелетами и формирование высших животных;
- возникновение у высших животных развитой нервной системы и формирование мозга, в котором происходят сбор, переработка и систематизация информации, ее хранение и управление на ее основе поведением и целенаправленной деятельностью живых организмов;
- формирование разума как высшей формы деятельности мозга;
- образование социальной общности людей — носителей разума.

Считается уже общепринятым, что появление человека в биосфере означает высшую ступень ее развития. Само появление человека представляет переход от простого биологического приспособления живых организмов к разумному поведению и целенаправленному изменению окружающей среды разумными су-

462
ществами. Живое вещество при этом активно приспосабливается к новым условиям существования и присутствия в природе.

При этом, как мы отмечали, происходит взаимное совместное влияние природы на человека и человека *на природу, и человек* теперь несет ответственность за эволюцию жизни. Человек значительно (и не всегда разумно, к сожалению) влияет на биосферу Земли — изменяет структуру ее поверхности, биоту, состав биосферы, меняет энергетический (тепловой) баланс, влияет на пространственно-временные факторы процессов на Земле, в том числе техногенных, и т.д.

Рассматривая эволюцию с общих позиций, мы убедились, что вектор ее развития направлен от чисто геологического к геолого-биологическому и биогеохимическому периодам и далее к новому этапу эволюции — появлению человека и возникновению социальной эволюции.

16.3.2. Ноосфера

Самые большие изменения в биосфере Земли наступили именно в этот последний, современный этап эволюции. Появление человека и его развитие, проявление разума в биосфере существенно изменили ситуацию на Земле, обуславливали переход биосферы в *ноосферу*, область сознательной деятельности человека и коллективной памяти, названной В.И. Вернадским научной мыслью. Можно считать, что ноосфера является новым состоянием биосферы, когда разумная человеческая деятельность становится определяющим фактором развития жизни на Земле.

Термин «ноосфера», предложенный французским философом Э. Леруа (1870—1954) в 20-х годах после докладов В.И. Вернадского на семинарах у А. Бергсона (1859—1941), в интерпретации этих ученых означал «сферу разума», или *«мыслящий пласт»*. Однако в отличие от них В.И. Вернадский подходил к ноосфере с материалистических позиций. Для него было очевидным, что биосфера под влиянием разумной человеческой деятельности и коллективной научной мысли переходит в качественно новое состояние

биосферы (названное им ноосферой), преобразованной из биосферы человеческой мыслью и трудом. Следует особенно подчеркнуть роль человека в переходе от биосферы к ноосфере, так как именно здесь проявился новый антропогенный фактор — человек стал использовать биосферу для удовлетворения своих потребностей за счет применения различных орудий труда, накопленных знаний и умений. Как отмечал французский пале-

463

онтолог, философ и биолог **Тейяр де Шарден (1881—1955)**, *«отличие человека как гомонизированного индивида от животного в том, что и животное что-то знает, но только человек знает о своем знании»* и в полной мере может использовать это знание на ноосферном этапе биосферы. Это означает, что важнейшим фактором, определяющим жизнь на Земле, становится разумная коллективная деятельность человека.

Используя представление о научной мысли, Вернадский отмечал, что *«перестройка научной мыслью (окружающего мира. — Авт.) через организованный человеческий труд не есть случайное явление, зависящее от воли человека, т.е. стихийный процесс, но есть стихийный природный процесс, корни которого лежат глубоко и подготавливались эволюционным процессом, длительность которого исчисляется сотнями миллионов лет... Создание ноосферы из биосферы есть природное явление, более глубокое и мощное, чем человеческая история. Оно требует проявления человечества как единого целого»*.

16.3.3. Преобразование биосферы в ноосферу

Переход от биосферы к ноосфере в соответствии с идеями В.И. Вернадского определяется следующими положениями:

- этот переход закономерен и неизбежен как естественный ход эволюции независимо от воли человека;
- человек рассматривается как составной элемент биосферы и выполняет ее определенные функции во времени и пространстве. Его появление в биосфере означает начало нового этапа в развитии Земли в целом;
- не только живое вещество, но и сам человек, вооруженный научной мыслью, становится величайшей геологической силой, кардинально изменяющей облик нашей планеты;
- переход от биосферы к ноосфере осуществляется за счет коллективных (когерентных) взаимодействий всех людей и их целостного влияния на природу. В этом смысле человечество действительно стало единым, независимо от расового, географического или имущественного положения. Это взаимодействие с учетом развития техносферы практически мгновенно передается во все уголки земного шара;
- необходимость продуманного использования энергетики в обществе. Развитие энергетики, открытие и применение новых

464

видов энергии, нужных человеку для его существования, не должно входить в противоречие с природой и нарушать ее регенерационные возможности для поддержания жизни;

- возможность разумного влияния на глобальные процессы, происходящие на Земле, как природного, так и социального характера.

Все эти преобразования по человеческому масштабу времени происходят в течение нескольких поколений, но в геологическом измерении они происходят мгновенно, и их можно, рассматривать как бифуркации в эволюционном процессе.

К анализу эволюции биосферы в ноосферу можно применить физические модели, использующие в первую очередь статистическое понимание процессов в природе и синергетические представления о нелинейных процессах в открытых системах вдали от равновесия. Образование диссипативных структур связано с когерентным поведением элементов, образующих систему, и обязательным для жизни уменьшением энтропии. Возникающие в результате слабых воздействий неустойчивости, необходимые для эволюции системы, сопровождаются процессами самоорганизации создания из хаотических движений и состояний, в том числе в неживой природе, высокоорганизованных структур живых организмов. Спонтанные процессы самоорганизации живого можно рассматривать как неравновесные кинетические фазовые переходы от неупорядоченного к упорядоченному состоянию через последовательность бифуркаций, развитие которых как раз и проходит через фазу неустойчивостей.

Для биологических объектов существуют два типа последовательностей бифуркаций. Один вызван неограниченным антропогенным воздействием, другой — ограниченными

изменениями при естественном протекании процессов в биосфере. Примером первого типа бифуркаций является биоценоз небольших озер. С ростом загрязнений наблюдаются последовательные скачкообразные изменения в составе популяций и их взаимосвязях. При определенных концентрациях загрязненных веществ жизнь в озере полностью прекращается и оно гибнет, становится мертвым. К другим примерам можно отнести плотины на больших и полноводных русских реках, дамбы в Финском заливе, в заливе Кара-Богаз-Гол на Каспийском море и др.

При естественном протекании процессов по второму типу идет бесконечная смена одних устойчивых состояний, одних форм другими через неустойчивости, когда управляющие этими

465 процессами малые параметры находятся в ограниченном диапазоне их изменений. Это соответствует естественному ходу эволюции живых систем к состояниям, далеким от равновесия, что физически обуславливается обменом веществ, энергией и информацией в них как открытых системах.

При любой последовательности бифуркаций система каждый раз делает случайный, но тем не менее необратимый выбор. Если система находится в некоторой точке той или иной ветви дерева бифуркаций, то это означает, что она прошла весь путь, отделяющий ее от первой бифуркации, через все промежуточные точки и в историческом развитии и измерении должна помнить свой путь. В этом заключается синергетическое понимание памяти. Последующая эволюция в значительной степени является следствием выбора в прошлом.

Наследственная информация живых организмов в виде последовательности оснований в молекулах нуклеиновых кислот в ядрах клеток создавалась в ходе эволюции в прошлом и с учетом ее участвует в эволюции в будущем. В этом смысле точки бифуркаций являются источниками инновации и диверсификации. Количество информации, которое содержит живой организм, определяется степенью его упорядоченности. При этом усложнение организма за счет получения информации уменьшает энтропию. А поскольку все живое борется против энтропии, то получение новой полезной информации (в этом, собственно, суть образования и науки) и есть борьба за жизнь!

В ноосфере так же, как и в биосфере, происходит замкнутый круговорот веществ, все утилизируется, снова переходит в полезный продукт и используется, но при этом человек активно участвует в этом процессе. Сам человек, его производительные силы становятся частью ноосферы, непрерывно обмениваются веществом, энергией и информацией с биосферой. Человек перестает быть просто потребителем, живущим только за счет биосферы, угнетающим и подавляющим ее. Он становится звеном в сложной системе «неживая природа — живая природа — человек — мышление человека». Предполагается, что каждый компонент системы вносит вклад в некое общее энергоинформационное поле, и тогда ноосферу можно рассматривать не только как сумму человеческих знаний, но и как физическое существование в пространстве совокупной информации продукта человеческого разума.

466 Ноосфера, как более высокоорганизованное состояние биосферы, может возникнуть и существовать только, если ее развитие проходит сознательно, направляется и организуется научной мыслью. В связи с этим резко возрастает роль науки как коллективного разума во всех областях человеческой деятельности, в том числе в овладении всеми формами движения материи, создании новых живых организмов методами генной инженерии и биотехнологии. Однако очень важно, чтобы направленное и согласованное развитие человека и окружающей его среды происходило коэволюционно и с учетом изменения характера взаимоотношений человека с природой. Это определяется возможностями человеческого интеллекта, который обязан взять на себя заботу и ответственность за судьбу нашей планеты.

16.4. Физические факторы влияния Космоса на земные процессы

Поэтому пусть не покажется странным, если позволю себе сказать, что легче понять образование всех небесных тел и причину их движений, короче говоря, происхождение всего современного устройства мироздания, чем точно выяснить на основании механики возникновение одной только былинки или гусеницы.

И. Кант

Природа такой же уникум, как картины Рафаэля Уничтожить ее легко, воссоздать невозможно

А. П. Бородин

Солнце является основным источником энергии для жизни на Земле, и огромное количество процессов на нашей планете связано с его излучением. Вся биосфера открыта Космосу, и, образно говоря, она **«купается в потоках космической энергии»**. Перерабатывая эту энергию, живое вещество преобразует всю нашу планету. В этом смысле можно считать, что происхождение, образование и функционирование биосферы является результатом действия космических сил.

Космические факторы, влияющие на биогеохимические процессы и на климат Земли, определяются ее пространственным расположением относительно Солнца (наклон земной оси к плоскости орбиты Земли), расстоянием Земли от Солнца, условиями прохождения солнечных лучей и главным образом процессами, происходящими на Солнце, которые называют в целом

солнечной активностью. Поэтому изучение ее и установление природы солнечно-земных связей имеет огромное значение буквально для всех процессов, протекающих на Земле. Основой солнечно-земных связей является влияние солнечной активности на неустойчивость тех процессов, которые проходят на Земле, в ее атмосфере и околоземном космическом пространстве. В работах Л.А. Шелепина [30, 31, 87] рассмотрены механизмы воздействия излучения Солнца на магнитосферу, тропосферу, гидросферу, литосферу и биосферу Земли и дана общая схема солнечно-земных связей (рис. 16.2).

Уже достаточно давно, начиная с середины XVIII в., была установлена цикличность появления солнечных пятен с периодом

Рис. 16.2. Общая схема солнечно-земных связей.

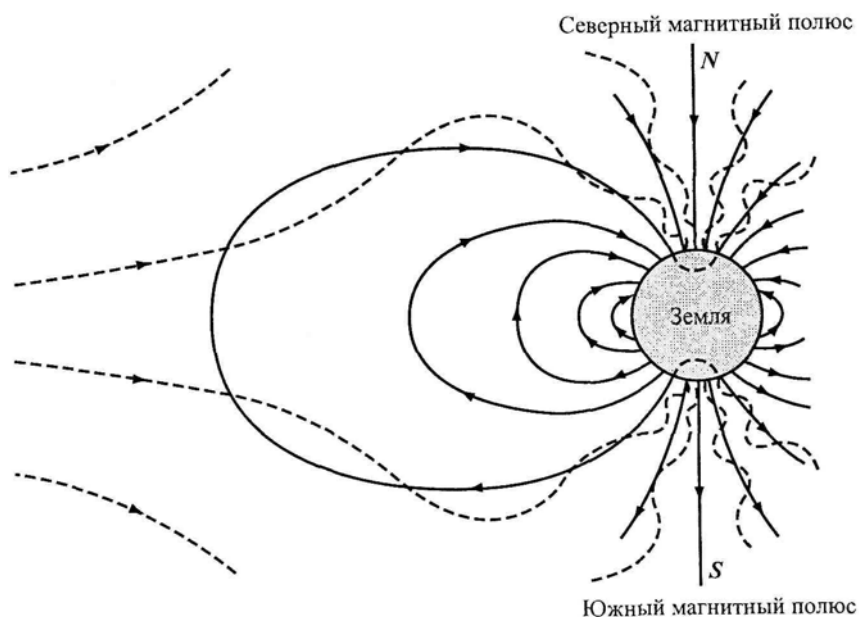


около 11 лет, которые связывают с протуберанцами — плазменными образованиями в солнечной короне. В результате увеличения солнечной активности Солнце извергает огромное количество вещества и энергии, в том числе и в сторону Земли. Причину такой цикличности объясняют в настоящее время так называемой моделью солнечного «динамо». Вещество, перемещаемое внутри Солнца в результате его вращения и

конвекции, взаимодействует с его магнитным полем и приводит в действие «динамо» — электрический генератор тока, превращающий механическую энергию в энергию магнитного поля. Когда заряженные частицы движутся вместе с межзвездным веществом, перемещается и связанное с ними магнитное поле (рис. 16.3).

В 2000 г. наблюдался пик солнечной активности в ее 11-летнем цикле изменения. С этим циклом связан и полный 22-летний магнитный цикл, в результате которого происходит изменение полярности магнитных полюсов Солнца во время наступления максимума солнечной активности. Такой поворот солнечных магнитных полюсов зафиксирован на рубеже третьего тысячелетия. Магнитные полюсы Солнца останутся теперь до следующего пе-

Рис. 16.3. Взаимодействие заряженных частиц от Солнца с магнитным полем Земли.



469

рехода, который, как установлено многолетними наблюдениями, происходит с регулярностью часового механизма. Подобное происходит и с изменением магнитного поля Земли: Северный и Южный магнитные полюсы меняются местами. Некоторые специалисты (С.Э. Шноль, Г.Н. Матюшин) связывали такие изменения магнитных полюсов Земли с эволюцией перехода от обезьян к человеку, считая, что инверсии магнитного поля активизировали мутации. За 4 млн лет прошли 4 эпохи различной магнитной полярности. Австралопитек жил в эпоху, когда ситуация с магнитными полюсами была противоположной нынешней. Питекантроп (690 тыс. лет назад) появился, когда также произошла переполусовка, неандерталец (НО тыс. лет назад) — при очередной переполусовке, и последний раз смена полюсов произошла при появлении человека 30—40 тыс. лет назад. Природа этих загадочных явлений так же, как и в целом довольно строгой цикличности солнечной активности, пока остается неизвестной.

Имеются также предположения, что положение земной оси по отношению к Солнцу не совсем стабильно. Время от времени, тоже пока по неясным причинам, она довольно резко смещается назад или вперед по отношению к своему обычному положению. При этом на всей нашей планете также резко меняется климат: в тропических лесах выпадает снег, а тундра оказывается под палящим Солнцем. Возможно, что и известные оледенения и дальнейшие отступления ледников также обусловлены сдвигом оси Земли. Такие глобальные катастрофы приводили как к вымиранию многих видов животных и растений, так и к гибели целых цивилизаций.

16.4.1. Связь Космоса с Землей по концепции А.Л. Чижевского

Поскольку было установлено, что процессы на Солнце происходят циклически, то естественно было бы ожидать их проявление в цикличности процессов на Земле. Такие связи были отмечены различными учеными, и проявились они в изменении климата, оледенениях, сезонных изменениях растительности, вспышках болезней и т.д. Однако

только начиная с работ известно русского естествоиспытателя А.Л. Чижевского [29, 151], впервые систематически изучавшего влияние космических факторов на земные процессы в широком диапазоне явлений, можно говорить о новом глобальном подходе к изучению эволюции

470

Земли как в естественно-природном, так в социально-культурном развитии. В частности, он установил зависимость между солнечной активностью и частотой различных эпидемий на Земле. Вспышки различных болезней очень точно соответствуют изменениям в активности Солнца. Чижевскому удалось установить, что от активности Солнца зависит частота несчастных случаев, преступлений, внезапных смертей и падежа скота, а также целый ряд других явлений: уровень озер, грунтовых вод, сток рек, толщина донных отложений ила, количество льда в полярных морях, повторяемость засух, ураганов, ливней, годовые температуры. .

А.Л. Чижевский определял жизнь как способность живого организма пропускать сквозь себя поток космической энергии, а биосферу считал местом трансформации космической энергии, подчеркивая тем самым, что жизнь — в значительной степени явление более космическое, чем земное. В своей работе «Земное эхо солнечных бурь» он писал: *«Эрруптивная деятельность на Солнце и биологические явления на Земле суть соффецты одной общей причины — великой электромагнитной жизни Вселенной. Эта жизнь имеет пульс, свои периоды и ритмы Жизнь не является результатом случайной игры только земных сил. Она создана воздействием творческой динамики Космоса на инертный материал Земли. Она живет динамикой этих сил, и каждое биение органического пульса согласовано с биением космического сердца — этой грандиозной совокупности материальных объектов Вселенной. За огромный промежуток времени воздействия космических сил на Землю утвердились определенные циклы явлений, правильно и периодически повторяющиеся как в пространстве, так и во времени. На Земле всюду находим циклические процессы, являющиеся результатом воздействия космических сил. В этом бесконечном числе циклических процессов сказывается биение общемирового пульса, великая динамика природы, различные части которой созвучно и гармонично резонируют одна с другой»* [151]. В этих словах ясно и красиво выражена глубинная сущность связи Космоса и нашей Земли!

Многие разработки и идеи Чижевского применяются в практической космонавтике, например явление метахромазии бактерий, позволяющее прогнозировать солнечные эмиссии, опасные для человека как на Земле, так и в Космосе. Позднее С.Э. Шнолем с сотрудниками были обнаружены космофизические корреляции процессов не только в биологических объектах,

471

Александр Леонидович Чижевский



А.Л. Чижевский — ученый-энциклопедист, один из создателей, наряду с другим нашим великим соотечественником В.И. Вернадским, космического естествознания, основоположник космической биологии, гелиобиологии, аэроионофикации и электрогемодинамики, историк, поэт и художник, гуманитарная культура которого позволяет ясно и образно описывать исследуемые явления. В специальном меморандуме, принятом на 1-м Международном конгрессе по биологической физике и космической биологии в 1939 г. в Нью-Йорке, отмечалось: *«гениальные по новизне идеи, по широте охвата, по смелости синтеза и глубине анализа труды поставили профессора А.Л. Чижевского во главе мира и сделали его истинным Гражданином мира, ибо его труды — достояние человечества»*.

В истории мировой науки даже среди выдающихся ученых найдутся немногие, про

которых современники могли бы сказать, как про А.Л. Чижевского, что их многогранная деятельность олицетворяет по глубине и разносторонности *«для нас, живущих в XX веке, монументальную личность да Винчи»*. Он был избран почетным (потому что, конечно, в Америку его не пустили) президентом конгресса, который выдвинул его на Нобелевскую премию. Выдвигая А.Л. Чижевского в 1939 г. на Нобелевскую премию, д'Арсонваль, Бранли и **Ланжевен (1872—1946)** видели в нем *«одного из гениальных натуралистов всех времен и народов»*. На здании университета Сорбонна среди барельефов великих ученых мира находится и барельеф А.Л. Чижевского.

Однако мировое признание не уберегло ученого от репрессий. С 1942 по 1945 г. он был репрессирован. И.В. Сталину (1879—1953), предпочитавшему все катаклизмы в обществе объяснять одной классовой борьбой, не понравились его выводы о связи войн, революций и других массовых потрясений в обществе с числом солнечных пятен. В заключении А.Л. Чижевский организовал небольшую лабораторию в лагерной больнице и после формального освобождения продолжал там работать, чтобы завершить очередной цикл испытаний своего удивительного оздоровительного устройства, известного теперь под названием «люстра Чижевского».

Известный отечественный физик **Д.И. Блохинцев (1908—1979)** писал о нем и его картинах: *«...быть может, самое главное, о чем говорят эти картины, как и стихи ... заключается в том, что они раскрывают перед нами образ истинно великого русского человека в том смысле, в котором он всегда понимался в России. Необходимой и неотъемлемой, обязательной чертой этого образа были не только успехи в той или иной науке, а создание мировоззрения. Наука, поэзия, искусство — все это должно было быть лишь частью великого гуманиста и его деятельности»*. Президент РАН О.Л. Кузнецов отмечал: «...это был талант редкий, способный к одновременному охвату и мыслью, и чувством не только логической стройности, но и красоты мира».

Установление А.Л. Чижевским влияния космических факторов на земные процессы поставило его в один ряд с пионерами космического естествознания К.Э. Циолковским, В.И. Вернадским и другими выдающимися русскими космистами, в работах которых отражены взаимосвязи Космоса, биосферы и человека. Следует отметить и непосредственный интерес А.Л. Чижевского к освоению космического пространства, многолетнюю его дружбу с К.Э. Циолковским и посильную поддержку, которую А.Л. Чижевский ему оказывал.

но и в химических, физико-химических и чисто физических явлениях (радиоактивный распад) с изменениями слабых электромагнитных полей в околосолнечном пространстве — магнитными бурями, изменениями знака межпланетного поля и состоянием ноосферы.

Отметим также, что при циклическом характере физиологических процессов в организме человека существенную роль в его

472

жизнедеятельности может играть резонанс внешнего малого возмущения и когерентного характера внутренних процессов в живой системе. Общая картина взаимосвязей внутри Солнечной системы настолько разнообразна, что все ее составные элементы — само Солнце, планеты, Земля, околосолнечное и межпланетное пространства — необходимо рассматривать как целостную, но существенно неравновесную систему, в которой роль неустойчивос-

473

тей и слабых воздействий как управляющих параметров сильно возрастает, и они могут приводить к значительным и непредсказуемым последствиям (вспомните бабочку в Рио-де-Жанейро!).

В последние годы идеи А.Л. Чижевского о наличии многосторонних космо-земных связей подтверждены в работах по влиянию геомагнитного поля и солнечной активности на биоритмы артериального давления, частоту сердечно-сосудистых заболеваний, поведение эритроцитов, свертывание крови, содержание гемоглобина, гомеостаз живых организмов, почвообразование, барическое давление и циркуляцию атмосферы, осадки, генезис рельефа Земли, по прогнозу неблагоприятных периодов в гео- и биосфере, погоды, эпидемий и т.д. Таким образом, периодичность солнечной активности является одним из важнейших факторов, влияющих на жизнь на Земле.

16.5. Физические основы экологии

*Раньше природа устрашала человека,
теперь человек устрашает природу.*

Ж.И. Куст

Он не только не ждет милости от природы, но и не берет их, когда она ему их дает.

В. Александров

Будучи составной частью биосферы, человек сильно зависит от окружающей среды.

Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

Так, без воздуха человек может прожить лишь 3 минуты, без воды — 3 дня, без пищи — 30 дней. Существует весьма узкий диапазон допустимых значений состава воздуха, воды и пищи. То же относится и к внешним параметрам: температуре, давлению, влажности, облучению и значениям различных физических полей [87].

16.5.1. Увеличение антропогенной нагрузки на окружающую среду

Однако с ростом технических и научных достижений человек, обеспечивая себе комфортные условия существования, резко увеличил антропогенную нагрузку на окружающую среду, нарушив при этом сбалансированность биосферы, ее биологическое равновесие и способность к самоочищению. Например, от сжигания ископаемого органического топлива в атмосферу за год выбрасывается около 5,8 млрд. тонн углерода, соответствующих 20 млрд. тонн углекислого газа. Чтобы накопить такое количест-

474
во углерода в процессе фотосинтеза и поглощения углекислого газа из атмосферы, природе требуется почти миллион лет!

Достижения НТР коренным образом изменили мир. Человек овладел новыми технологиями, материалами, средствами, коммуникациями и энергетическими возможностями. За последние 100 лет произошло увеличение скорости передвижения в 10^2 раз, связи — в 10^7 , обработки информации — в 10^9 . Человек действительно, как говорил В.И. Вернадский, становится глобальной планетарной силой, и его деятельность во всех сферах существенно влияет на природу Земли. Адаптационные возможности природных систем подходят к своему пределу, нарушается устойчивость природы как естественной среды обитания человека. Демографические проблемы населения Земли мы обсуждали в п. 14.5 и отмечали экологический предел его роста. При росте населения за последние 140 лет в 4 раза нагрузка на биосферу возросла в 100 раз, а энерговооруженность человечества выросла в 1000 раз. Причем технические возможности человека реализуются вовсе не адекватно энергетическим затратам — на производство автомобилей уходит половина всего производимого металла, транспорт потребляет 15—20% всей расходуемой энергии, около 25% ученых работают в области военных разработок и 40% всех расходов на научные исследования тратятся на войну и т.д. Люди становятся биологическими жертвами экономического развития общества.

За год в мире извлекается из недр 120 млрд тонн руд, горючих ископаемых, различных строительных материалов, выплавляется 800 млн тонн металлов. В то же время эффективность использования сырья составляет не более 5—7%, а 93—95% уходит в отходы, загрязняя атмосферу и природные водоемы. Это антропогенное загрязнение обусловлено бесхозяйственной, неразумной деятельностью человека. Металлургические предприятия дают до 34% загрязнений, тепловые станции — 27%, нефтяная промышленность — 12%, химическая — 9%, газовая — 7%. По данным ООН общая площадь разрушенных почв за всю историю человечества составляет 20 млн км², что больше совокупной площади, используемой в настоящее время в мире в сельском хозяйстве. Урбанизация природной среды и рост городского населения сильно уменьшают возможности производства продовольствия.

Большие города занимают обширные территории и насчитывают до 40% населения Земли. В отдельных странах процент го-

475
родского населения еще выше: в Аргентине — 83%, Уругвае — 82%, Австралии — 75%, США — 80%, Японии — 76%, Германии 90%, Швеции — 83%. Помимо крупных городов—миллионеров быстро растут городские агломерации или слившиеся города. Таковы Вашингтон — Бостон и Лос-Анджелес — Сан-Франциско в США, города Рура в Германии, Москва, Донбасс и Кузбасс в СНГ. Они представляют собой искусственно поддерживаемую среду обитания, для которой поток новых средств существования, чистый воздух и вода приходят извне, а внутри резко возрастают отходы. Изменяются все экосистемы, накапливаются вредные вещества в почве, воде, в биоте. При малой подвижности воздуха тепловые аномалии над городом охватывают слои атмосферы в 250—400 м, а контрасты температуры могут достигать 5—8 °С. С ними связаны температурные инверсии, приводящие к повышенному загрязнению, туману и смогу. Над крупными городами атмосфера содержит в 10 раз больше аэрозолей и в 25 раз больше газов. При этом 60—70% газового загрязнения дает автомобильный транспорт. Растут заболеваемость и смертность. 35% населения промышленно развитых городов страдает

заболеваниями, связанными с окружающей средой.

Даже и в сельской местности человек ухитряется портить природу. Так, по данным департамента здравоохранения штата Нью-Йорк (США), деревенская семья из четырех человек, ежедневно сжигающая мусор на своем дворе, выпускает в воздух больше токсических соединений (в основном соединения хлора — диоксины и фураны), чем средний мусороперерабатывающий завод. Примеси диоксинов в воздухе разрушают иммунитет, вызывают рак и гормональные расстройства. В целом на всей Земле, составляя по своей биомассе тысячные доли процента живого вещества, человечество создает в тысячи раз больше отходов, чем вся биосфера. Рост их удваивается каждые 15 лет.

Разрушается природная среда и в целом на планете. Изменяется состав атмосферы. Концентрация CO_2 в атмосфере возрастает ежегодно на 0,4%, и за последние 100 лет в результате деятельности человека в атмосферу поступило около 360 млрд. тонн углекислого газа, до 400 млн тонн аэрозолей, увеличилось содержание фреонов, которые разрушают озоновый слой, защищающий все живое на Земле от жестокого ультрафиолетового излучения Солнца.

Поскольку CO_2 служит регулятором теплового энергетического баланса на поверхности Земли, увеличение его содержания в

476

атмосфере приводит к возникновению парникового эффекта, что может привести к 2050 г. к возрастанию уровня Мирового океана на 2 метра выше нынешнего и привести к затоплению низменных территорий, где проживает около трети населения мира. В водную среду обитания человека ежегодно сбрасывается огромное количество промышленных и сточных вод (до 600 млрд. тонн), содержащих до 300 млн тонн железа, 2,3 млн тонн свинца, 7000 тонн ртути, 6000 тонн фосфора и других вредных веществ, что значительно загрязняет мировой океан, сокращает его биоту и видоизменяет или даже сокращает пищевые ресурсы человека.

В океан выливается 0,5% от общей добычи нефти. Во время ирано-кувейтской войны в океан вылито около 2 млн тонн нефти (ежегодное попадание нефти в океаны составляет до 10 млн тонн), что ведет к необратимым процессам в экосистеме океана. Ежегодно стораёт около миллиона тонн нефти, промышленная загазованность приводит к попаданию в атмосферу окислов серы и азота. Возвращаясь на Землю в виде кислотных дождей, они закисляют и поражают почвы, водоемы, леса. Происходит деградация почв, вокруг Аральского моря ежегодно выдувается свыше 150 млн тонн земли. В целом на Земле опустыниванием охвачена территория, равная по площади Северной и Южной Америке.

Наблюдается дефицит пресной воды (суточная потребность человека в воде возросла до 2,5 литров). Гидросфера Земли содержит 1,5 млрд км³, однако более 96% из них — это соленая вода морей и океанов, покрывающая до 70% всей ее поверхности. Меньше 3% составляют запасы пресной воды, которую только и может потреблять человек в обычных условиях. Эти запасы в основном являются подземными и ледниковыми. Темпы роста потребления пресной воды возрастают. Так, в сутки на все нужды человек затрачивает в среднем до 150—200 литров, а в больших городах — до 500—600 литров. Это ведет к истощению невозобновляемых водных ресурсов. В то же время каждый день на Земле умирают 25 тыс. человек из-за плохого качества воды.

Происходит сокращение естественных мест обитания, темпы ежегодного уничтожения лесов составляют около 10 млн км². За последние 50 лет на нашей планете было уничтожено около 60% лесов, которые справедливо считаются легкими Земли, так как они дают основную массу кислорода, необходимого для существования живого мира. Австралия уже потеряла 75% своих лесов, Латинская Америка — 38%, Африка — 23%, и темпы вырубки

477

непрерывно растут. Для восстановления необходимого для человека отношения между кислородом и углекислым газом в атмосфере огромную роль играют растения и протекающий в них процесс фотосинтеза. Этот баланс регулируется естественным образом в основном лесами и океанами. Кроме того, леса удерживают влагу в почвах, препятствуя тем самым засухам, ветровой и водной эрозии, а хвойный лес еще и выделяет фитонциды, которые убивают различные болезнетворные бактерии. Поэтому вырубка лесов также является причиной возникновения инфекционных заболеваний. В сочетании с угрозой уничтожения планктона при загрязнении морей и океанов это может создать угрозу воспроизводству необходимого для жизни кислорода.

Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

В XX в. возникла созданная только человеком угроза радиоактивного загрязнения окружающей среды за счет развития ядерной энергетики, испытаний ядерного оружия и накопления радиоактивных отходов. В настоящее время в мире нет ребенка, в костях которого не содержалось хотя бы небольшого количества стронция-90 [87]. Предполагается, что к середине XXI в. масса радиоактивных элементов в объектах биосферы возрастет в 10 раз.

Большой урон для экологии России нанесли и сами ядерные испытания. На российских полигонах произведено более 180 поверхностных и подземных ядерных взрывов. Техногенные катастрофы, связанные с ядерной энергетикой, типа «Чернобыля», приобретают планетарный характер, и их отдельные последствия еще не известны и не поняты до конца. Накоплены огромные запасы радиоактивных отходов от активных зон атомных подводных лодок (АПЛ) и атомных ледоколов (АЛ), промышленных реакторов и установок. Их надежная утилизация и захоронения требуют таких значительных финансовых средств, которые не может себе позволить нынешняя экономика России. Требуется также разработка новых технологий, связанных с ядерной энергетикой. Такие же проблемы имеются и в других развитых странах (США, Англии, Франции), использующих ядерные энергетические установки (ЯЭУ), и встанут перед странами третьего мира, стремящимися войти в ядерный клуб. Намечается тенденция решить проблемы захоронения и переработки ядерных отходов за счет России. Горе-политики из Государственной Думы РФ и лоббисты из атомного ведомства России пытаются доказать экономическую целесообразность превращения нашей страны в мировую свалку радиоактивных отходов. Но мы должны

478 помнить, что деньги-то уйдут, а возможное радиоактивное заражение останется навсегда. Необходимы глобальные меры и усилия всего человечества для собственного спасения от радиоактивной угрозы.

Примеров неразумного, потребительского отношения человека к природе каждый из нас может привести сколь угодно много. Поистине, человек никогда не брал с природы столько дани и не оказывался столь уязвимым перед мощью, которую сам же и создал. Постепенно управляющие возможности человека приходят в противоречие с созданными им производительными силами и сохранением окружающей среды. Несмотря на огромную самоочищающую способность биосферы, человек становится основной опасностью для ее стабильности. Антропогенное воздействие на биосферу поставило под угрозу существование присущих ей биотических процессов и позволяет считать, что глобальная экологическая катастрофа может стать реальной в результате такой деятельности человека на Земле.

Истощение и загрязнение природной среды приводит к разрушению экологических связей, образованию огромных пространств на Земле, где уже невозможно в деградированной среде осуществлять обмен веществ и энергии. Это резко ухудшает жизнедеятельность человека, сокращает ареал его обитания и изменяет его генетический фонд. Заметим, что состояние окружающей среды в России в настоящее время официально признано экологическим кризисом.

16.5.2. Физические принципы ухудшения экологии

Физическими основами современной экологии являются те же представления о термодинамике открытых неравновесных систем и их самоорганизации, которые были рассмотрены в гл. 11. В процессе образования диссипативных структур в открытых системах отток энтропии наружу может уравновесить ее производство в самой системе при протекании неравновесных процессов развития и установится то стационарное состояние, которое Бергаланфи [2] назвал «текущим равновесием». Процессы самоорганизации в результате обмена энергией, веществом и информацией с окружающей средой позволяют поддерживать это состояние текущего равновесия при условии, что потери на диссипацию извне, из окружающей среды компенсируются.

Вся биосфера Земли в состоянии текущего равновесия существует за счет отрицательного баланса энтропии [87]. Свето-

479 вое излучение от Солнца является более энтропийно ценной энергией, чем тепло. Это излучение за счет фотосинтеза в биосфере преобразуется в другие виды энергии, в частности в тепло, которое уходит в мировое пространство в виде равновесного теплового излучения Земли. Приток энергии на Землю в виде электромагнитного

излучения Солнца уравнивается оттоком теплового излучения от Земли, и при этом энтропия уменьшается.

Можно считать, что вся жизнь на Земле существует лишь потому, что поглощаемое Землей излучение в среднем имеет более высокую частоту, чем излучаемое. Этим же объясняется и причина казавшейся парадоксальной и противоречащей второму закону термодинамики (для изолированных систем!) направленности процессов в живой природе, где, как мы знаем, биологические объекты эволюционируют от простейших форм к высшим организмам.

Загрязнение окружающей среды обусловлено термодинамическими законами, применимыми к неравновесным открытым системам и заложенными в самой природе. Загрязнение является следствием неэффективного использования или дополнительного увеличения энергии для удовлетворения потребностей человека. Энергетика в этом отношении — та область человеческой деятельности, которая оказывает самое разрушительное действие на природу. При этом, потребляя запасенную в природных системах энергию ископаемых горючих, человек вносит в биосферу хаос и разрушает упорядоченность, созданную благодаря свободной энергии солнечного излучения. Таким образом, физической причиной экологического загрязнения является рост энтропии.

Термодинамический подход к экологии применим к изучению не только загрязнения среды, но и цепей питания живых организмов (последовательностей передачи вещества и энергии) и экологической смены сообществ. При поедании животными растений (или других животных) наряду с синтезом живого вещества происходит значительное рассеивание энергии. Количество энергии, передаваемой на следующий трофический уровень, всегда меньше энергии, полученной предыдущим уровнем [103, 104]. Эффективность передачи энергии составляет лишь 5—20% и трофические цепи имеют всего 4—5 звеньев. Выпадение того или иного звена в этой цепи может полностью изменить характер биоценоза.

480

Различные диссипативные структуры реализуются в открытых экологических системах. Модель Вольтерра — Лотки [45] для системы «хищник — жертва» описывает взаимодействие между элементами биоценоза. Например, рост численности зайцев приводит к увеличению питания для волков, но уменьшает количество травы, необходимой для питания зайцев. Поэтому через какое-то время численность зайцев уменьшится, а численность волков увеличится. Количество травы увеличивается, но запасы пищи для волков уменьшаются, и их численность падает. Тогда поголовье зайцев снова растёт, и процесс повторяется.

В общем случае, когда хищники слишком сильно размножаются, жертвы уничтожаются интенсивней. Численность жертв падает, это вызывает нехватку пищи для хищников и как следствие — уменьшение их популяции. Тогда численность жертв снова увеличивается. Налицо автоколебательный процесс, и, как следует из теории колебаний, режим с определенным периодом оказывается устойчивым. Здесь мы подошли к проблеме физической и биологической устойчивости животного мира.

16.6. Принципы устойчивого развития

Постоянство внутренней среды есть условие свободной жизни организма.

К. Бернар

Берегите эти земли, эти воды,

Даже маленькую былинку любя.

Берегите всех зверей внутри природы

Убивайте лишь зверей внутри себя.

Е- Евтушенко

Им бы теперь, попивая сакэ,

Наслаждаться прекрасной картиной.

Нет, ходить зачем-то народ,

Топчет на улице снег

Т. Мунэтакэ

16.6.1. Оценки устойчивости биосферы

Биосфера, являясь целостной согласованно функционирующей системой, как любая диссипативная структура, имеет пределы своей устойчивости, и проблема изучения стабильности и устойчивого развития биосферы является одной из самых фундаментальных. При выходе за эти пределы система проходит через цепь бифуркаций,

скачкообразно меняет свои свойства и может прекратить свое существование. До интенсивного развития техносферы за последние 50 лет антропогенные воздействия не достигали этих пределов. Однако в настоящее время планетар-

481

ная сила человечества достигла такого могущества, что быстрые катастрофические изменения могут произойти настолько стремительно и неожиданно, что мы уже ничего не сможем изменить, а границы устойчивости окажутся существенно ниже, чем это представляется на первый взгляд.

Н.Н. Моисеев отмечал, что индикаторами приближения к бифуркационному состоянию биосферы являются перечисленные выше условия загрязнения окружающей среды, потепление климата, утоньшение озонового слоя, уменьшение биоразнообразия, необратимое изменение связей в биогеоценозах и т.д. [93—95]. Предположение о возможной потере биосферной устойчивости подтверждается компьютерными имитациями последствий ядерной войны, проведенными Н.Н. Моисеевым и его сотрудниками.

В них в отличие от модели американского астронома К. Сагана были использованы разнообразные данные по глобальной взаимосвязи атмосферы и океана, выпадения осадков и изменения температуры в разных частях Земли. Было показано, что в результате «ядерной зимы» биосфера, возмущенная ядерными взрывами и общепланетарными пожарами, лишь через год сможет вернуться в состояние равновесия, но качественно отличное от исходного, в котором уже не будет условий для существования жизни в современном виде.

Качественные оценки устойчивости биосферы как целого могут быть проведены на основе использования химического принципа Ле Шателье. Напомним, что этот принцип реализуется в том, что если на систему, находящуюся в равновесии, воздействовать извне, то в ней усилятся те процессы, которые ослабляют влияние, производимое воздействием. Положение равновесия также сместится в сторону ослабления эффективности внешнего воздействия. Таким образом, неблагоприятные условия живая природа регулирует по этому принципу, и если принцип Ле Шателье перестает действовать в биоте, то она и окружающая среда теряют устойчивость.

Любые живые особи представляют собой сложнейшие типы скоррелированности на молекулярном, клеточном, организменном, популяционном и даже социальном уровнях [7]. Главной особенностью жизни является то, что в силу сложности корреляций любой конкретный тип скоррелированности в биоте всегда неустойчив и непрерывно распадается с течением времени. Для отдельного организма это означает смерть. Поэтому со-

482

хранение этой скоррелированности живых особей возможно только в рамках популяции этих особей, причем необходимым условием сохранения природы в целом является необходимость разнообразия (многообразные экосистемы), а для устойчивости популяций — наличие конкурентно взаимодействующих особей. Скоррелированность различных видов в сообществах обеспечивает биотическую регуляцию и выполнение принципа Ле Шателье в биосфере по отношению к возмущениям окружающей среды.

Естественная биота не использует невозобновляемых ресурсов для поддержания своего существования. Это следует из постоянства запасов органического и неорганического углерода в биосфере, а современное энергопотребление человеческого общества на 90% основано на невозобновляемых ресурсах, нарушая тем самым устойчивость природных систем и загрязняя их. Необходимо подчеркнуть, что биосфера как целое, стремящаяся к устойчивости и выживанию в соответствии с принципом Ле Шателье, предпринимает и усиливает действие против неразумного поведения человека, угрожающего самому ее существованию, и может измениться так, что в ней не будет места человеку.

Каждый живой организм адаптирован к своей экологической нише, в которой он может устойчиво существовать и развиваться. В этом смысле ноосферу можно рассматривать как экологическую нишу устойчивого существования и развития цивилизованного человека в условиях НТР только при сохранении естественной биоты на больших территориях Земли и сокращении общего энергопотребления и оптимизации роста населения до экологически разрешенного уровня. Тогда смысл жизни каждого человека будет заключаться в выполнении необходимой работы по производству и генетической стабилизации человечества как биологического вида, его культуры, цивилизации и, конечно, окружающей среды.

Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

Отметим еще одну экологическую опасность для человека, связанную с разработкой и использованием генетически модифицированных растений (ГМР) или, как еще называют, трансгенных организмов и растений. В сельскохозяйственной практике человека уже давно применяются пестициды, которые уничтожают вредные для роста и развития растений вирусы и другие простейшие организмы, но они уже способны вторгаться и в естественную генную природу растений с далеко не ясными по-

483

следствиями для здоровья человека. Примером является рекламируемый трансгенный картофель, который защищен от колорадского жука, но безопасен ли он для человека?

Трансгенные организмы, обладая наперед заданными человеком генетическими свойствами, могут коренным образом видоизменить характер всех взаимодействий живых систем, населяющих агроценозы и агроландшафты. Если пестициды токсически воздействуют на биоту, то ГМР сами создают биоту. Воздействие рукотворной биоты на людей и животных, многократно усиленное безграмотным обращением с еще не изученными ГМР, может стать действительно токсигенным для человечества. Избежать такой ситуации возможно только в результате перехода от огульной ядохимизации к иммуностимуляции. Недавно в РФ открыт феномен индуцированной устойчивости с помощью вызывающих ее веществ — так называемых элисторов. Это грибы, бактерии, вирусы и продукты их метаболизма. Не изменяя генома растения, они резко активизируют его защитные силы.

В целом же такая ситуация с ГМР еще раз показывает, насколько хрупки взаимоотношения человека с природой. Для того чтобы человечество выжило на Земле, выбор между продолжением насилия над природой и осознанной необходимостью быть с ней в экологическом мире и согласии практически и исторически неизбежен.

16.6.2. Концепция устойчивого развития и необходимость экологического образования

В связи с проблемой устойчивости экосистем возникла необходимость разработки концепции устойчивого развития. Термин «sustainable development», провозглашенный на знаменитой конференции по окружающей среде и устойчивому развитию в Рио-де-Жанейро в 1992 г., по мнению Н.Н. Моисеева, неудачно трактуется, особенно в России, как устойчивое развитие, достичь которого можно лишь технологическими и организационными мерами по преодолению существующих экологических трудностей. В то время как понятие «unsustainability» в популяционной динамике означает, что развитие любого вида не должно нарушать стабильности его экологической ниши и имеет более глубокий смысл коэволюции природы и человека.

По своему замыслу принятие этой концепции должно было стимулировать разработку общей стратегии развития человеческого общества на базе экологически целесообразного природо-

484

пользования, сохранения благоприятного для людей состояния окружающей среды, обеспечивающего приемлемое качество жизни для нынешнего и последующих поколений людей. Эту концепцию можно рассматривать в конечном итоге как переход общества к ноосфере.

Совершенно очевидно, что сейчас недостаточен наивно-трогательный подход: просто доброе отношение к природе человека, близкого к ней. Экспоненциально ухудшающаяся ситуация требует глубокого, сознательного, активного спасения природы. Но это может сделать только образованный человек. Такой развитый творчески и обогащенный научными знаниями человек не только не станет неосторожно мешать природе, но и сможет построить правильную модель своей коэволюции с биосферой. Реализация такой коэволюции невозможна без глубокого изучения природы, которое достигается научными методами на основе холистической мировоззренческой парадигмы современного естествознания. Поэтому в основе экологического образования должен лежать курс концепций современного естествознания, развивающий целостное представление об окружающем нас мире¹.

Очень важно также «услышать», что подсказывает нам сама природа, уловить вектор движения к этой парадигме из отобранных природой для нас понятий и общих законов. Примером такого общего, хорошо и давно известного понятия, проявляющегося и в живой, и неживой природе, является представление о гармонии. Оно, как мы неоднократно отмечали, выражается в пропорции «золотого сечения», принципы

которого охватывают все уровни организации материи, мышление и сознание человека, биосферу и экологию.

В связи с этим возрастает роль современных и адекватных физических моделей как инструмента научного осмысления природы. Можно и нужно согласиться с Н.Н. Моисеевым, что *«именно естественные науки способны точно описать ту запретную черту, которую люди ни при каких обстоятельствах не имеют права переступить»* [95]. Только целостное научное понимание мира с нравственных позиций позволит правильно организовать экологическое образование и воспитание и решать многочисленные экологические проблемы.

¹ См.: Горбачев В. В. Современное естествознание и экологическое образование // Сб. Тр. конф. по эколог. образованию. — Пущино, 1998; Горбачев В. В. Экологические проблемы общества с позиции современного естествознания // Сб. «Физика и механика на пороге XXI.» — № 2, МГУП, 1998.

485

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объясните принципы взаимодействия живых организмов и окружающей среды.
2. Дайте ваши представления о биогеоценозах.
3. Опишите причины экологических проблем.
4. Что такое биологический круговорот веществ?
5. Какова роль энергии в эволюции?
6. Перечислите биогеохимические принципы В.И. Вернадского.
7. Как Вы представляете себе живое вещество?
8. Сформулируйте представление Вернадского о ноосфере.
9. В чем опасность «парникового эффекта»?
10. Опишите последствия «ядерной зимы».
11. В чем заключаются принципы устойчивого развития?
12. Как проявляется влияние Космоса на земные процессы.
13. Что такое ноосфера и антропный принцип?
14. Перечислите синергетические аспекты живой природы.
15. Какова роль солнечно-земных связей в биосфере Земли?
16. Каковы причины истощения природной среды?

ЛИТЕРАТУРА

[2](#), [4](#), [5](#), [6](#), [7](#), [8](#), [23](#), [31](#), [33](#), [36](#), [42](#), [43](#), [45](#), [51](#), [52](#), [68](#), [69](#), [79](#), [87](#), [90](#), [94](#), [95](#), [96](#), [102](#), [107](#), [117](#), [119](#), [126](#), [132](#), [136](#), [137](#), [138](#), [150](#).

Глава 17. ФИЗИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ САМООРГАНИЗАЦИИ В ЭКОНОМИКЕ

Знать, чтобы предвидеть, предвидеть, чтобы управлять

Огюст Конт

*Всегда вокруг развившейся идеи,
сулящей или прибыль, или власть,
немедленно клубятся прохиндеи,
стараясь потеснее к ней припасть*

И. Губерман

Применение физических представлений к такой сложной области человеческой деятельности, как экономика, представляет значительный интерес, но одновременно сопряжено с большими трудностями. Это связано с несколькими обстоятельствами. Во-первых, это обусловлено большим разнообразием факторов, влияющих на развитие экономической системы, и различных теорий, во многом опирающихся на разрозненный эмпирический материал. Несмотря на развитие этих экономических теорий и как следствие — использование различных моделей и вариантов эволюции экономики, очень часто экономические прогнозы противоречат реальной динамике жизни. Во-вторых, это обусловлено трудностью использования научных методов исследования

486

экономических проблем общества. Экономические интересы общества большей частью требуют решения именно практических, реальных проблем жизни человека в достаточно короткие периоды времени, и ошибки здесь могут привести уже отнюдь не к абстрактным последствиям. В значительной мере прогнозы существующей экономики основаны на линейных представлениях (от «наличного» или «остаточного» принципа) и вследствие этого — на административно-командных методах управления при государственном планировании. Рыночные же методики, давая успех в конкретных условиях, также не дают однозначного результата при их всеобщем применении.

Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

Несомненно, что экономика перестала быть описательной, во многом эмпирической, но еще не стала и точной количественной наукой, законы которой бесспорны и реально подтверждены практикой человеческой деятельности. Весьма приблизительно здесь можно провести аналогию между классической физикой и постнеклассической. По-видимому, и в экономической науке наступает момент бифуркации ее развития с использованием новых идей и взглядов. Таким новым подходом может быть развитие в экономике синергетических представлений.

Возникает некий обоснованный соблазн разработки общего алгоритма динамики общества на основе универсальной модели самоорганизации общества как целостной системы с его экономическими, социальными, политическими и другими укладами [40, 41]. Конечно, в нашем общеобразовательном курсе «Концепции современного естествознания» мы не должны рассматривать конкретные экономические теории и модели. (По этому вопросу имеется весьма обширная литература [58, 72, 73, 91, 98, 110].) Здесь приведены общие соображения о возможности использования универсальных представлений старой и новой физики для описания других сложных систем разной природы, в том числе и экономических.

Долгое время тормозом развития экономических моделей и оправдывающихся прогнозов являлось большое количество подчас разрозненных параметров, учесть значительную часть которых казалось невозможным. Сейчас стало ясно, что для этого необходимы точные статистические наблюдения и анализ показателей, причем очень важна методика учета данных и обработки результатов. В Советском Союзе существовала система показателей, которая отражала только стоимость материальных потоков. На Западе же была создана такая статистическая система,

487
которая отражала все экономические отношения, не разделяя их на материальные потоки и услуги, — система национального счетоводства. Такая система позволяет формализовать представления о любых экономических и социальных образованиях — государстве, населении, корпорациях, малом бизнесе и изменениях описывающих их параметров. Изучение особенностей их массового поведения дает возможность строить математические модели, в которых отражалось бы все существенное, влияющее на экономическое развитие, и использовать новые технические разработки в области компьютерных технологий и, конечно, физические представления рассмотренного нами в общем виде синергетического подхода при анализе таких сложных открытых неравновесных систем.

По поводу сложности экономики приведем интересную историю об отношении к этой проблеме двух известных ученых — лауреата Нобелевской премии по физике, одного из основателей квантовой физики М. Планка и основателя современной математической логики известного философа и общественного деятеля (основателя в том числе Пагоушского движения ученых) Бертрانا Рассела. М. Планк начинал свою деятельность как экономист, но затем оставил эту профессию, потому что она показалась ему слишком трудна. Когда об этом узнал Рассел, то заметил, что это странно, так как он бросил экономическую теорию потому, что она слишком проста. Об этой истории рассказал автор самого популярного учебника по экономике, лауреат Нобелевской премии по экономике, бывший физик из Массачусетского технологического института (США) Пол Самуэльсон.

По-видимому, правы оба. Любой смысленный человек может освоить базовые экономические принципы и успешно «делать деньги» в бизнесе. Однако правота Планка в том, что для объяснения механизма экономического развития, динамики производства и сбыта, регулирования рынка цен и товаров, установления четкой взаимосвязи всего того, что реально происходит в экономике, необходимо нечто большее, чем одна наука, нужно что-то, лежащее на полпути между наукой и интуицией, и, может быть, даже искусством. Можно также отметить «проникновение» физиков и их методов в экономику: из 40 Нобелевских лауреатов по экономике почти все они имеют физическое или математическое образование.

С возникновением синергетики открываются новые возможности поиска универсальных принципов самоорганизации и

488
эволюции сложных систем. Это позволяет проводить конкретное моделирование ситуаций и развития в экономике, политике, социологии, культуре, а также в других сферах человеческой деятельности и прогнозировать развитие реальных событий [68].

Следовательно, физические представления нелинейной динамики развития сложных систем
Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

открытых систем, возникновения порядка из хаоса, неустойчивости и равновесия, эволюции таких систем в пространстве и времени вполне могут быть применимы к различным экономическим системам. Как нам уже известно, огромное количество явлений в мире являются именно нелинейными процессами и, соответственно, описываются нелинейными функциями.

Линейные функции в экономике «прямолинейны»: они дают простор директивным командам и действуют как указание администратора — меньше или больше. Говоря физическим языком: одинаковому приращению аргумента линейной функции соответствует одинаковое приращение самой функции. Нелинейная функция ведет себя по-другому: одному и тому же приращению аргумента может соответствовать разное поведение функции.

Аналогичная ситуация и в экономике: одна и та же экономическая модель дает разные результаты в разных странах с различными социально-экономическими укладами. В неравновесных открытых физических системах с диссипативными структурами мы сталкивались с этим неоднократно, рассматривая положительные и отрицательные обратные связи при образовании порядка из беспорядка.

17.1. Экономическая модель длинных волн Н. Д. Кондратьева

Одной из экономических моделей, очень близких к физическому пониманию широкого класса колебательно-волновых процессов и их общности для процессов самой различной природы, является теория длинных волн, разработанная в 20-е годы прошлого века отечественным экономистом Н.Д. Кондратьевым. Эта модель длинных волн в экономике, названных им *большими циклами конъюнктуры*, широко используется до настоящего времени в прогнозах развития экономики, особенно в США, а сейчас и у нас в стране. На основе этой модели были точно предсказаны спады в экономике, в частности мировой экономической кризис в конце 30-х гг. и энергетический кризис в конце 70-х гг. прошлого столетия [72, 73].

489

К сожалению, Н.Д. Кондратьев, ученый с мировым именем (циклы экономического развития получили название кондратьевских волн или циклов) прожил недолгую жизнь (46 лет) и не был признан у нас в стране. В 1920 г. им был создан Конъюнктурный институт, которым он руководил до 1928 г. Он участвовал в разработке пятилетних планов, для которых главным считал не количественный, а качественный характер, основанный на научном анализе тенденций и пропорциональности развития, в том числе на предположении существования длинных волн в экономике капитализма, а также возможности на базе этого прогнозирования развития социалистической экономики.

В 1930 г. его обвинили в создании несуществующей «трудовой крестьянской партии», боровшейся с огульной коллективизацией сельского хозяйства в СССР и с форсированной индустриализацией за счет перекачки средств из сельского хозяйства и тем самым якобы ставящей на основе его теории цель реставрации капитализма. Н.Д. Кондратьева заключили в Суздальский политический изолятор на несколько лет, и в 1938 г. он был расстрелян за «усиление антисоветской деятельности» в тюрьме. Единственной «деятельностью», которой Н.Д. Кондратьев занимался в тюрьме, была работа над рукописями о закономерностях экономического роста и письма жене [22]. В 1987 г. он был реабилитирован.

Идеи Н.Д. Кондратьева, основанные на вероятностном подходе при исследовании статистических рядов экономических показателей, и предсказания развития капитализма встретили в 30-е годы прошлого века отрицательную реакцию большинства экономистов в нашей стране, отстаивавших собственный, социалистический путь развития стран. Однако сейчас, когда, по образному выражению М. Тэтчер, перед нашим обществом стоит сложнейшая задача *«перехода от социализма к капитализму»*, представления Н.Д. Кондратьева о циклических колебаниях развития экономики имеют особый интерес, в том числе в связи с возможностью их общезначимого синергетического обоснования.

Исследования, выводы и сама модель длинных волн Н.Д. Кондратьева были основаны на эмпирическом анализе большого числа экономических показателей (индексы цен, государственные долговые бумаги, номинальная заработная плата, показатели внешнеторгового оборота, добыча полезных ископаемых, в том числе золота, промышленное производство металлов,

490

необходимых для развития экономического хозяйства, — чугуна, стали, свинца и т.д.)

различных стран на значительных промежутках времени (100—150 лет). С помощью метода наименьших квадратов из построенных числовых рядов выделялись тренды (гладкие кривые, лучше всего приближающие исходный ряд к собранным статистическим данным), и затем полученные результаты усреднялись с помощью «девятилетней скользящей средней». Усреднение позволяло сгладить колебания, происходящие чаще, чем в девять лет. Длина цикла оценивалась как расстояние между соседними пиками и спадами [22, 91]. Полученные таким образом статистические данные и обработанные современными на то время математическими методами результаты позволили Н.Д. Кондратьеву визуально выделить во всех рядах показателей волны с периодом 48—55 лет, характеризующие рост и спад производства.

Н.Д. Кондратьев пришел к выводу, что колебательные движения в экономике представляют собой процессы отклонений от равновесных состояний, к которым стремится экономика, и при этом отклонения носят циклический характер. Отметим, что такие представления возникли не на «пустом месте» — им в той или иной степени предшествовали работы **К. Маркса (1818—1883)**, **С. Джевонса (1835—1882)**, М.Н. Туган-Барановского, **Парвуса (А. Гельфанда) (1896-1924)**, **К. Каутского (1854-1938)**, **В. Парето (1848—1923)** и других ученых, а затем они были развиты некоторыми современными экономистами. Эмпирически было зафиксировано наличие определенных циклов в экономическом развитии, откуда следовало, что такой колебательный процесс охватывает практически все стороны воспроизводительного процесса и является имманентным свойством экономики в целом [91].

Все предыдущие модели экономического развития и отчасти сама теория длинных волн Н.Д. Кондратьева основаны на экономической статистике — положении равновесия, а кризисы рассматриваются как флуктуации, неизбежные, но не дающие развития. В известном смысле здесь можно провести сравнение с классической физической статикой и классической термодинамикой, поскольку сам Н.Д. Кондратьев рассматривал экономическую систему как замкнутую и все процессы, происходящие в ней, рассматривал как вызванные эндогенными, а не экзогенными причинами.

В современном синергетическом представлении самоорганизующаяся сложная система требует для своего развития откры-

491

тости, необходимого обмена с окружающей средой энергией, материей и информацией. А окружающая среда для экономической системы представлена природно-биологическими процессами, которые являются циклическими, развивающимися по законам естественных космо-планетарных ритмов, и это, конечно, должно проявляться и в развитии экономических процессов.

17.2. Обратимость и необратимость процессов в экономике

Понятие циклов в какой-то мере отражает представление об обратимости процессов, в то время как динамика самого развития сложных систем связана с нелинейной необратимостью. Классическая экономика использует квазистатические методы, согласно которым развитие от одного устойчивого состояния (и оно рассматривается как равновесное!) к другому происходит циклически, хотя и с учетом флуктуаций — кризисов. Синергетическая же экономика учитывает развитие во времени через неустойчивости методами нелинейной динамики. Эти неустойчивости и нелинейности являются принципиально источниками разнообразия и сложности экономической динамики, а не случайностями, не дающими развития экономической системы, как своего рода стохастический шум в классической экономике. Кроме того, для биологических структур устойчивым может быть и неравновесное состояние, когда сложная система устойчива вдали от равновесия. *«Мир — это постоянное развитие, вечная неустойчивость, а периоды стабилизации — лишь краткие остановки на этом пути»*, — отмечал российский географ А.Д. Арманд [33].

Синергетический подход тем самым позволяет снять некое противоречие между необратимостью процесса экономической эволюции и циклическостью этого процесса. Вспомним, что именно синергетика смогла снять противоречие между биологической эволюцией Дарвина и физической эволюцией Больцмана. Поэтому в целом, наверное, методологически более правильно говорить не о циклах, а именно о колебательных процессах, используя разработанный аппарат физико-математических методов и моделей для исследования таких процессов (включая и автоколебательные процессы), имеющих глубокую и широкую аналогию в реальных природных и социально-экономических

явлениях [22, 58].

492

Н.Д. Кондратьев и его последователи подчеркивали, что необходимо анализировать не только кризисы, но и всю совокупность волнообразных движений в экономике [58, 91, 162]. К функциональным категориям в экономике относятся производство, обмен, распределение и потребление. В процессе производства при наличии имеющихся ресурсов и технологий создается некоторое количество товаров и услуг. Через распределение и потребление реализуется само функционирование экономики, которое определяется производством, а обмен является звеном между производством, распределением и потреблением и регулируется рынком. В физическом понимании рынок — это экономическое пространство—время, в котором происходит купля—продажа произведенных товаров и услуг с помощью денег, взаимоотношение между производителем и покупателем—потребителем через спрос и предложение. Поведение экономической системы обусловлено, таким образом, совокупным спросом и совокупным предложением, взаимоотношение между которыми регулируется конкуренцией.

Механизм рыночной конкуренции в экономике выполняет функцию, аналогичную диссипации энергии в природных процессах и системах: возникает саморегулирующийся процесс соответствия производства и потребления, продажи и купли услуг и товаров. Взаимодействие конкуренции и саморегулирующихся рыночных цен на товары и услуги создает доход и прибыль. Не останавливаясь здесь на механизме действия этих параметров, так же как и на роли и функции денег, капитала, инвестиций, сбережений, кредита и других экономических категориях (об этом можно узнать в литературе по экономике), отметим, что существенную роль в понимании эволюции экономической системы играют как раз представления об экономическом равновесии и неравновесии, статической и динамической устойчивости.

17.3. Синергетические представления устойчивости в экономике

Равновесным можно считать такое состояние экономики, когда любой образующийся в нем излишек или недостаток товаров, услуг, капиталов и денег со временем стремится к нулю. Физически это означает, что состояние устойчиво, если система возвращается к нему при малых отклонениях, и неустойчиво при больших отклонениях. При экономическом равновесии совокуп-

493

ный спрос равен совокупному предложению, инвестиции равны сбережениям, цены и заработная плата стабильны, деньги выполняют в основном функцию средства обращения.

Если равновесие устойчиво, то в системе возникает механизм его самоподдержки. Если в какой-то момент времени сбережения стали превышать инвестиции, то возникает избыточное предложение денег и норма процента уменьшается, делая более выгодными инвестиции и менее выгодными — сбережения. В результате инвестиции растут, а сбережения сокращаются, регулируя соотношение инвестиций и сбережений. Если же, наоборот, инвестиции превышают сбережения, то эффективность инвестиций уменьшается из-за падения спроса на товары и услуги, а сбережения растут, и снова восстанавливается равенство инвестиций и сбережений. Выполняются закон отрицательной связи и принцип Ле Шателье, который, как мы видели в экологии, реализуется в соотношении «хищник — жертва».

Примером положительной обратной нелинейной связи (режим с обострением) может служить известная эмпирическая закономерность выражаемая словами: «деньги — к деньгам!»

В отличие от статического равновесия динамическое равновесие связано с экономическим ростом, при котором все произведенные товары и услуги находят сбыт и все платежеспособные потребности удовлетворяются, и оно в общем случае неустойчиво и ведет к возникновению неравновесия в экономике. С возникновением неравновесия в экономике начинают проявляться свойства сложной системы и экономическая система через бифуркации может перейти на новые иерархические уровни развития.

Устойчивая система в условиях неравновесности не только сама активно генерирует энергию, но и отбирает ее из окружающей среды для перестройки своей структуры. Это обусловлено тем, что саморазвивающаяся открытая система уменьшает, как мы это отмечали, свою энтропию за счет увеличения ее в окружающей среде, причем в

экономической развивающейся системе роль связанной («омертвленной») энергии, т.е. энтропии, играют сбережения (они не работают напрямую на эволюцию системы), а роль свободной энергии — инвестиции. Таким образом, самоорганизующиеся экономические системы в рыночных условиях являются открытыми системами, свободно обменивающимися с другими системами общества (например, социальными или политическими структурами) материальными, энергетическими и информационными потоками. Для рынка — это свободное дви-

494

жение капитала, рабочей силы и товара. В условиях внешних воздействий, созидательной роли диссипации социально-экономических процессов, связанных с действием индивидумов — членов общества, и реальной конкуренции процессов организации структуры и дезорганизации процесса подъема экономики система становится активно-неравновесной и несимметричной. Она «сама» уходит от максимума энтропии, т.е. от состояния равновесия, становится нелинейной и тем самым подчиняется законам нелинейной экономики.

17.4. Физическое моделирование рынка

При синергетическом моделировании рынка как самоорганизующейся системы необходимо анализировать взаимовлияние спроса и предложения в нелинейных условиях, проявляющихся в виде самоорганизации ценообразования и в производстве товаров, и рассматривать эти процессы в общем случае как гармоническое взаимодействие хаоса и порядка в сложных системах [40, 41, 75, 91, 131].

Одной из основных характеристик социально-экономических процессов является то, что они не обладают постоянной во времени структурой и все происходящее в них изменения идут за счет внутреннего саморазвития и они лишь частично зависят от внешних воздействий. Последние, по существу, запускают структурный механизм, действие которого определяется внутренней природой сложной самоорганизующейся системы. Другими словами, в процессе своего развития система в какой-то мере самодостаточна и развивается по своим законам, участвуя в противоположных процессах — организации порядка структур и их беспорядка — хаоса, диссипации энергетических и материальных потоков.

В качестве структуры в экономике может выступать как сформировавшаяся фирма в качестве производителя товара, так и процесс, например, организации производства, купли—продажи товаров и т.д. Диссипативное начало хаотического нерегулируемого процесса в открытой экономической системе может «перевесить» «работу» источника организации регулярного процесса или структуры, и тогда устойчивые структуры возникнуть не могут. Если же потребление превышает производство, то появление новых организаций невозможно — хаос потребления не дает возможности возникновения устойчиво организованных фирм и предприятий, и без помощи извне — дополнительных

495

ассигнований и инвестиций или перестройки в потреблении — экономического роста не будет.

С другой стороны, при отсутствии диссипации организация спонтанно возникнуть не может. Как это и положено для развития сложных систем [68], диссипация выступает как необходимый элемент саморазвития. При частичном перепроизводстве, т.е. появлении излишка какого-либо товара, предложение превышает спрос на этот товар. В качестве диссипации выступает убыток предприятия, что останавливает дальнейшее производство непотребляемого и, следовательно, неэкономичного товара и сохраняет систему от ненужного растрачивания ресурсов.

Для современной экономики России характерно, что концентрированная энергия, образованная в ходе первоначального накопления и приватизации, не используется в структурном преобразовании экономики страны, а начинает работать в экономике других стран. Другими словами, вместо поглощения внешних потоков энергии происходит потеря внутренней энергии и вещества, что сопровождается усилением неустойчивости системы.

17.5. Циклический характер экономических процессов в модели Н.Д. Кондратьева

В работах Н.Д. Кондратьева рассматривается несколько видов равновесных состояний при циклическом развитии (он назвал их равновесием первого, второго и третьего Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

порядков).

Равновесие первого порядка, по Н.Д. Кондратьеву, осуществляется между обычным рыночным спросом и предложением. Отклонения от него вызывают краткосрочные колебания длительностью 3—3,5 года. Это есть циклы в товарных знаках. *Равновесие второго порядка* образуется в процессе формирования цен производства путем перераспределения капитала и вклада его в оборудование. Это циклы средней продолжительности. *Равновесие третьего порядка* связано с изменением запаса «основных капитальных благ». К ним Н.Д. Кондратьев относит основные промышленные средства, здания, инфраструктуру, квалифицированную рабочую силу, обслуживающую данный технический способ производства. Этот запас должен находиться в равновесии со всеми факторами, которые определяют существующий технический способ производства. Однако он периодически нарушается и возникает необходимость образования нового та-

кого запаса «основных капитальных благ», которые бы удовлетворяли складывающемуся новому техническому способу производства [91].

Отметим, что Н.Д. Кондратьев еще до возникновения нынешнего понимания синергетического механизма развития экономики предположил, что такое обновление «основных капитальных благ», отражающее движение научно-технического прогресса, происходит не плавно, а скачками («толчками»), т.е. дискретно, и является материальной основой больших циклов конъюнктуры. Существенно также и то, что он не придавал абсолютного смысла точным качественным значениям циклов различных экономических параметров, а подчеркивал вероятностный характер трендов развития. В своей работе «Большие циклы конъюнктуры» он писал, что *«считать доказанным окончательно и точно наличие таких циклов нельзя, но имеется большая вероятность их существования»* [73].

В своей циклической теории длинных волн Н.Д. Кондратьев выделил фазы подъема, спада и периодов перехода между ними и показал, что эти периоды влияют на экономические процессы факторов социального и политического развития, придав этой теории в рамках концепции колебательных процессов целостный характер общей социально-экономической эволюционной закономерности.

Циклический процесс развития экономики, по Н.Д. Кондратьеву, состоит в развитии четырех фаз цикла: повышательной волны, перелома повышательной волны, понижательной волны и ее перелома. Согласно работам [40, 91], процессы смены фаз экономики в модели длинных волн связаны с волновой природой развития.

Повышательная волна является фазой подъема и периодом более открытого состояния экономической системы. Она вызвана обновлением и расширением основных капитальных благ, радикальным изменением и перераспределением основных производительных сил. Это обусловлено усиливающимся социально-экономическим метаболизмом (усиление внешнеэкономических контактов) и внутренним свободным перетеканием капитала. Для этого требуются значительное накопление (концентрация) капитала на предыдущем этапе, возможность перемещения свободного капитала, возникновение новых точек роста.

Такая фаза характеризуется ростом производства, внедрением новых технических средств и изобретений, также возникших на

предыдущем этапе, созданием новых производительных сил, меняющих структуру хозяйственных связей. Эта фаза повышательной волны происходит тогда, когда внедрение новой техники дает возможность увеличить норму прибыли. Применительно к научной компоненте современного естествознания обновление технологического базиса военной и гражданской промышленности в данной фазе цикла предполагает количественный рост научной сферы, дополнительные финансовые возможности и расширение социальной базы науки. Этому периоду свойствен высокий динамизм развития экономики и одновременно обострение конкуренции и борьбы на внешних рынках и разделения сфер влияния на внутренних. Образование новых предприятий и усложнение структуры экономического сообщества порождает структурные неоднородности, а тем самым и неустойчивости.

Эти процессы сопровождаются повышением активности социальных групп, заинтересованных в росте производительных сил, что обостряет борьбу против устаревших социально-экономических отношений, социальные конфликты и борьбу различных социальных классов. Создаются условия для социальных и даже военных

конфликтов. В целом же эта фаза соответствует усложнению и упорядочению экономических структур и в синергетическом подходе является режимом зарождения нового порядка.

Фаза перелома повышательной волны начинает проявляться, когда инвестиции капитала в крупные проекты повышают спрос на капитал, что приводит к его концентрации. Потраченная на внутреннюю и внешнюю борьбу энергия развития уменьшается, начинает угасать. Усиливающиеся диссипативные процессы замедляют темпы развития. Возникающие внешнеполитические и внутрисоциальные потрясения своими непроизводительными для развития экономики затратами также ослабляют темпы накопления и повышают спрос на капитал. При дорожании капитала возникает его дефицит и соответственно уменьшается темп его инвестирования в капитальное строительство и перевооружение хозяйства, что в целом ведет к снижению активности хозяйственных процессов и снижению цен.

Происходит некоторая стабилизация, капитал как бы стягивается к новым возможным точкам роста. Однако это не обязательно приведет к их реализации — развитие идет бифуркационно, и поток времени находится в постоянном конструировании нового, а это означает, что будущее развитие не детерминировано раз и навсегда: оно вероятно. С позиции синергетики —

498

это фаза закрепления достигнутого порядка. Можно сказать, что система сама регулирует ситуацию, экономит силы на упорядочении. В точке перегиба происходит смена знака обратной связи. Сначала внедрение новых технологий и экономический рост взаимно усиливают друг друга. Затем экономическая конъюнктура начинает подавлять внедрение новых технологий и положительная обратная связь сменяется на отрицательную. Этот процесс взаимодействия экономики и технологии проявляется и в других точках перегиба при смене фаз за счет взаимного стимулирования и торможения этого взаимодействия и определяет возникновение автоколебательного режима развития.

Дальнейшее изменение фаз цикла приводит к фазе спада, длительной депрессии в экономике. *Это — кондратьевская понижательная волна*, характеризующаяся стремлением к удешевлению производства, поиску новых технологий, структурных изменений, приводящих к потере темпов развития, экономическому кризису. Приостанавливается рост процента на капитал, и идет его понижение в процессах развития экономики; он аккумулируется в банковских группах.

В этой фазе сельское хозяйство страдает при депрессии больше, чем промышленность, консерватизм его развития больше, чем в мобильной промышленности, более гибко реагирующей на конъюнктуру рынка. В такой ситуации цены на сельскохозяйственные продукты падают, снижается покупательная способность, наблюдается переток капитала из сферы сельского хозяйства в промышленность.

В конце понижательной волны также возникает точка *перегиба к фазе перелома*, когда капитал начинает дешеветь, создавая предпосылки для новых его вложений в строительство и новые технологические проекты и крупные фирмы. Согласно работе [91], главным фактором на этом этапе является вложение капитала в радикально новую производственную технику. В синергетическом представлении при этом социальной системе как бы передается негэнтропийный импульс, прилив дополнительной свободной энергии, которая тратится на освоение новых ресурсов.

Имеющиеся на этом этапе старые структуры, стремящиеся нарушить порядок и хаотизировать экономику, тормозят перестройку экономического организма, но объективные условия развития уже подвели систему к новым бифуркациям.

Момент наибольшего удаления от равновесия в фазе понижательной волны соответствует максимуму энтропии за счет хаоти-

499

зации системы. Тем не менее характер функционирования диссипативных структур через эти бифуркации способствует переходу от имеющегося хаоса экономической системы к упорядоченности. Поэтому во время выхода системы из кризиса в ее развитии доминирует антиэнтропийный процесс — движение к максимальной упорядоченности и стабильности.

В целом же, как уже можно заметить, в процессе колебательного процесса развития от подъемов до кризисов в недрах каждой предыдущей фазы зарождаются предпосылки для образования последующей.

На основе анализа циклического развития экономики, колебательного характера ее развития Н.Д. Кондратьев предлагает четыре *«эмпирические правильности»* — Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

эмпирические закономерности, выведенные им на основе большого фактического материала [73].

1. В начале повышательной волны происходят глубокие изменения в экономике — расширение внедрения новой техники и технологии, интеграции и кооперации в экономических процессах стран и наднациональных корпораций, кардинальные изменения в способах производства, добычи полезных ископаемых, интенсификация использования энергии.

2. На период повышательной волны из-за социально-экономических неустойчивостей приходится значительно больше, чем в других фазах, социальных потрясений — войн и революций. Налицо экспансия капитала, с развивающимся социальным неравенством и возможность продолжения экономических преобразований силовыми, в том числе военно-политическими, методами.

3. Периоды понижательной волны сильнее воздействуют на сельское хозяйство, что сопровождается его длительной депрессией.

4. В фазе повышательной волны средние циклы характеризуются краткостью депрессий и интенсивностью подъемов, а в фазе понижательной волны наблюдается обратный процесс.

17.6. Модель колебательных процессов в экономике

Согласно представлению Н.Д. Кондратьева о циклическом характере экономических процессов следует говорить о наличии нескольких колебательных процессов с разными фазами и амплитудами, а также о наложении их друг на друга, возникновении ангармонических колебаний и взаимодействий первой, второй и последующих гармоник колебательного процесса. Поэтому фи-

500

зическая модель нелинейных колебательных процессов в более широком смысле, чем кондратьевская теория длинных волн, при современном синергетическом представлении социально-экономических процессов позволяет количественно оценивать и более точно прогнозировать эти процессы и одновременно создает общую научную базу описания и понимания реальных процессов в природе и обществе. Предполагается, что в точках перегиба фаз происходят синхронизация этих колебательных процессов и согласование ритмов развития для разных уровней иерархии системы. При этом взаимосвязь подсистем различных иерархических уровней осуществляется путем резонансного взаимодействия, подобно маятниковым часам, стоящим на одной полке [3].

В моменты кризисов, хаотических нарушений сложившегося порядка в технико-экономической, административно-управленческой и других подсистемах эти системы становятся наиболее восприимчивы к импульсам, приходящим с других уровней иерархии. Поэтому кризисы играют роль механизма, повышающего согласование, гармонизацию частот в иерархических структурах. Большое количество природных и социальных структур, для которых типична волновая динамика протекающих в них процессов, подчиняются единым и всеобщим законам самоорганизации сложных систем, а кондратьевская модель развития экономики логично вписывается в эти представления как инструмент или схема эволюции в целом для многих социальных процессов, хотя и не является исчерпывающей и окончательной.

В рамках теории самоорганизующихся систем неэффективное управление экономикой обусловлено попытками применить к ней такие методы воздействия, которые не адекватны ее внутренним тенденциям, по терминологии Е.Н. Князевой, «насилованию» реальности [68]. Следовательно, необходимо знать законы самоорганизации этих сложных сред — систем и правильно применять малые управляющие параметры, когерентно, самосогласованно влияющие на эволюцию системы в нужном направлении и приводящие к возникновению собственных аттракторов развития, свойственных самой системе, т.е. в соответствии с собственными тенденциями организации среды.

В соответствии с механизмом функционирования диссипативных структур в сложных самоорганизующихся системах наблюдается закономерный переход от хаотичности к упорядочению. Во время выхода экономики из кризиса имеет место негэнтропийный процесс, т.е. движение экономической системы к упорядочению и стабильности. Таким образом, кризис в эконо-

501

мике — это такой же необходимый процесс, как и другие фазы автоколебательного процесса. А.А. Богданов (Малиновский) (1873—1928) в своей работе «Тектология:

всеобщая организационная наука» отмечал: *«кризис есть нарушение равновесия и в то же время процесс перехода к некоторому новому равновесию»* [37]. Производство и потребление взаимодействуют друг с другом, подобно одновременному наличию и хаоса, и порядка в саморазвитии сложной системы любой природы, образуя типичную диссипативную структуру. В этом смысле кризис является реальным процессом, не подверженным ни государственному регулированию, ни стихийному рынку. Он требуется для саморазвития экономической системы.

Можно предположить, что движущим фактором развития экономики и в целом общества является неравномерность развития, которая в рамках гармонических соотношений между целым и его частями (см. сноску на с. 212), экономикой в целом, производством и потреблением как ее неотъемлемыми частями для сложных систем любой природы может быть описана в терминах «золотого сечения» по методу Фибоначчи.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие физические представления и модели можно использовать в экономике?
2. Опишите модель длинных волн в экономике Н. Д. Кондратьева.
3. Какова роль кризисов в циклическом развитии экономики?
4. Что такое космо-планетарные ритмы и циклы экономики?
5. Сопоставьте понятия синергетики и эволюции экономики.
6. Как можно описать эволюцию экономического развития?
7. Какие этапы, по Н. Д. Кондратьеву, проходит циклический процесс развития экономики?
8. Дайте Ваши представления об экономическом развитии и глобализме.
9. В чем заключается движущий фактор эволюции в экономических системах?
10. Опишите физическую модель нелинейных колебательных процессов в экономике.
11. Что понимается под синергетической экономикой?
12. Как происходит развитие цикла в эволюции экономических процессов?
13. Какова роль энтропии в экономике?
14. Что понимается под обратимостью и необратимостью экономических процессов?
15. Дайте определение понятиям равновесия и неравновесия в экономике.
16. Каковы Ваши представления целого и частей в эволюции экономических систем и процессов?
17. Можно ли описать экономические категории и процессы в рамках модели «золотого сечения» по методу

ЛИТЕРАТУРА

[33](#), [37](#), [40](#), [41](#), [58](#), [72](#), [73](#), [91](#), [109,127](#), [161](#).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ЭВОЛЮЦИОННО- СИНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПАРАДИГМА: ОТ ЦЕЛОСТНОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ К ЦЕЛОСТНОЙ КУЛЬТУРЕ

*Во всем подслушать жизнь стремясь,
Спешат явления обездушить,
Забыв, что если в них нарушить
Одушивляющую связь, то больше
Нечего и слушать*

И. Гёте

*Все книги об истории - поток,
печальным утешением текущий,
что век наш не беспочвенно жесток,
а просто развивает предыдущий.*

И. Губерман

В настоящее время в научном сообществе все настоятельнее проявляется естественное желание использовать физические принципы становления и развития неживой и живой природы и идеи синергетического подхода для описания поведения сложных неравновесных самоорганизующихся систем для решения обществоведческих проблем гуманитарных наук.

Новая мировоззренческая парадигма, основанная на холистических представлениях синергетики, устраняет различия между естествознанием и обществоведением и дает возможность создать универсальную эволюционно-синергетическую картину мира. Понятия синергетики и аппарат нелинейного мышления превращают изначально гуманитарно-интуитивные методы описания социальных, экономических, психологических, исторических и других объектов и систем гуманитарной природы из описательных (констатирующих) в научно обоснованные (прогнозируемые). Футурологические перспективы развития человечества при этом основываются на возможности эволюции перехода материи от более вероятных хаотических состояний к менее вероятным, *но* реально *возможным* и более организованным упорядоченным состояниям.

Символично, что эта методология физических принципов синергетики может применяться даже в таких традиционных гуманитарных представлениях, как, например, механизмы творчества. А.П. Назаретян приводит оригинальный пример использования пригожинского перехода от хаоса к порядку в рождении

503

стихов А. Ахматовой (Горенко) (1889—1966): *«Когда б вы знали, из какого сора
растут стихи, не ведая стыда»*. Универсальный эволюционизм, по терминологии Н.Н. Моисеева, характеризующийся увеличением числа уровней устойчивого неравновесия, объединяет развитие и физической Вселенной, живой природы, и социальной истории общества.

В современном естествознании закономерно укладываются представление о единой модели универсальной эволюции и концепция глобального эволюционизма, в котором четко прослеживается переход от космогенеза, геогенеза, биогенеза к антропосоциогенезу и ноосферогенезу. Вселенная развивается в пространстве и времени как единое природное целое; в таком понимании проявляется главная закономерность глобального эволюционизма — направленность развития этого мирового целого на повышение своей структурной организации.

Вся история Вселенной, от момента сингулярности до возникновения человека, может быть представлена в виде единого процесса материальной эволюции, самоорганизации, саморазвития материи. При таком подходе очевидна познавательная аксиологическая сущность глобального эволюционизма в установлении и познании пространственно-временного образования уровней и иерархического строения материи, более глубокое понимание внутренней логики развития космического порядка вещей, логики развития Вселенной как целого [15].

В рамках физических представлений синергетических моделей цивилизация в целом и конкретное общество являются сложными неравновесными системами, устойчивость которых обеспечивается взаимодействием внешних и внутренних причин развития.

Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

Совокупность механизмов, включающих орудия и другие материальные объекты, языки, мифологию, мораль и т.д., т.е. то, что представляет собой понятие культуры, также может быть выражена в таких параметрах целостного эволюционного развития самоорганизующихся систем, как нелинейность процессов, бифуркации отдельных фаз развития и эволюционные катастрофы.

Согласно А.П. Назаретяну, такая трактовка культуры, как антиэнтропийного механизма, показывает на изначальную противоречивость социоприродных и внутрисоциальных процессов, а, поскольку стабилизация неравновесного состояния возможна только за счет роста энтропии в соприкасающихся системах, функционирование социальных, исторических, этнических и

504

других сообществ неизбежно сопровождается разрушениями окружающей среды и антропогенными кризисами. *«Все зависит от всего и определяется всем»*, как сказали бы древние философы-естествоиспытатели, а мы сейчас определяем такую ситуацию через когерентное взаимодействие самоорганизующихся систем, используя энергетические соотношения неравновесной термодинамики.

Развитие общества зависит от его адекватного социального ответа на действие внешних условий, стремящегося вернуть систему—общество к исходному равновесию, и от характера внутренних противоречий между обществом и природой. Возможная временная стабилизация этих отношений определяется согласованностью параметров культурного развития и может быть нарушена чрезмерной активностью самого общества.

Современное естествознание становится, по существу, постнеклассической интегративной наукой, в которой в первую очередь должны использоваться достижения новой, синергетической физики. При этом наблюдается тенденция перехода от собственно познавательной сущности науки к научному методу решать проблемы экономического, социального, политического и культурного характера и делать обоснованные прогнозы будущего развития.

Наука является важнейшим составным элементом общечеловеческой культуры, и в этом направлении многое уже современным человеком осознано. Однако необходимо соответствие культурной среды такому состоянию общества, когда законы постнеклассической науки оказались бы востребованными и признаны обществом. И более того, необходима соразмерность понимания сущности науки, содержания самого знания и развития познавательных способностей человека.

Такой взгляд требует, чтобы постнеклассическая наука, как часть культуры, являлась гуманитарной по своим понятиям. В ее основе должны лежать новые принципы нравственности и системы нравов, универсальные для всей нашей планеты несмотря на различие цивилизаций народов, но при этом, конечно, не противоречащие законам природы. *«Мы на пороге новой культуры — синтеза глобального духовного сознания и глобального научного знания»*, — писал Н.Н. Моисеев.

Только в этом случае, как отмечали А.Д. Суханов и О.Н. Голубева цитируя известного отечественного философа и психо-

505

лога М.К. Мамардашвили, *«наука является культурой в той мере, в какой в ее содержании выражена и репродуцируется способность человека владеть им же достигнутым знанием Универсума и источниками этого знания и воспроизводить их во времени и пространстве, т.е. в обществе, что предполагает, конечно, определенную социальную память и определенную систему кодирования. Эта система кодирования, воспроизводства и трансляции определенных умений, опыта, знаний, которым дана размерность человечески возможного, и есть наука как культура»*. В этом четком определении как в зеркале отражена необходимость сознательного сочетания естественно-научного и гуманитарного подходов к изучению мира природы, человека и его социума и применению их в практике человеческой деятельности.

Можно привести большое количество примеров, подтверждающих, что синергетические модели современной постнеклассической физики применяются к сложным гуманитарным системам в динамической истории цивилизаций, возникновении этносов, самоорганизации социально-экономических процессов, возникновении кризисов развития человеческого общества, принципов устойчивого развития и глобализма.

Роль синергетической методологии состоит в исследовании и разработке принципов построения организации системы, ее возникновения, развития, самоусложнения и проявляется в спонтанном возникновении порядка и организованности из беспорядка и хаоса в результате самоорганизации в открытых, диссипативных и нелинейных сложных

Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

системах. Такой подход позволяет построить единые математические модели описания коллективных самоорганизующихся систем и дать реальный прогноз развития будущего [22, 33, 62, 96]. Это связано с тем, что имеется некоторое структурное и функциональное подобие многих сложных физических, природных и общественно-социальных систем, состоящих из большого числа элементов, и универсальный закон движения этих элементов. К таким образованиям, собственно, и применимо понятие коллективных систем из хаотически взаимодействующих элементов, иерархически самоорганизующихся в системе по законам статистической физики и синергетики.

Оказывается, для таких систем различной природы имеется много общего, что выявляется в рамках синергетики: они

506 открыты, организуются в диссипативные структуры, в том числе временно устойчивые, развиваются тем не менее нелинейно через неустойчивости. Характер их становления определяется также нелинейным воздействием слабых управляющих сигналов, и в них широко проявляются флуктуационные процессы колебательного характера развития в пространстве и времени при изменении энергии. Примеры и описания некоторых таких систем и процессов приводятся в работе [22].

В связи с этим в анализе сложных систем значительно возрастает роль физических и математических моделей и в целом моделирования процессов различной природы, рассмотрения конфликтных ситуаций и принятия решений. Все чаще требуется при этом учитывать истинную структуру интересов и целей субъектов. Иногда даже в принятие решений по важнейшим, судьбоносным, как говорят, действиям в сознание вмешиваются интуиция, мировоззрение, совесть, эмоции и даже упомянутый нами «здравый смысл», что, как говорил Н.Н. Моисеев, *«уже лежит за пределами математики»*.

Особенно важной сейчас, в условиях стремительно развивающегося экологического кризиса, становится проблема формирования коллективных решений и последующих за этим коллективных действий, что может помочь разрешению конфликтов, когда каждый из субъектов должен поступиться чем-то из своих собственных интересов во имя достижения общих целей. Чтобы решить такого рода проблемы, следует — пишет Н.Н. Моисеев [96] — использовать, в соответствии с принципом неопределенности Бора, представления из «другой» для него (Моисеева — *авт.*) области — экономики. Возможность выбора взаимоприемлемого коллективного решения он видит в использовании принципа итальянского экономиста Парето: соглашение (компромисс) справедливо и может быть принято лишь тогда, когда его нельзя улучшить одновременно для всех участников конфликта. В случае обмана, нечестности в процессе реализации решения должны быть гарантии, на языке синергетики и нелинейной динамики — устойчивость решения. Лауреат Нобелевской премии в области экономики Нэш предложил следующий подход: компромисс должен быть таким, чтобы участник компромисса, который не выполняет своих обязательств, несет определенные потери. Компромиссы, обла-

507 дающие этим свойством, получили название компромиссов, устойчивых по Нэшу. К их числу относится большинство конфликтов, порожденных экологическими факторами. В более общем смысле это решение обусловлено нормально реализуемой обратной связью.

Примером социального контроля разрешения конфликта на «научной основе» являются также представления В.А. Лефевра [80, 81] о рефлексивном управлении с использованием понятий психологии. Рефлексивное управление — это информационное воздействие на объекты, для описания которых необходимо употреблять такие понятия, как «сознание» и «воля». Объектами могут выступать как отдельные люди, так и семья, группа лиц, страна, нация, общество, цивилизация.

С социально-психологической точки зрения экономический рынок представляет собой множество конфликтов, каждый из которых, разрешаясь, превращается в сделку. Система, по Лефевру, может успешно работать только при условии, что участники способны уступать друг другу, сохраняя при этом свое индивидуальное достоинство. Отсюда делается вывод, что традиционные макроэкономические модели, в основе которых лежат лишь представления о научной рациональности без учета психологической особенности участников принятия коллективных компромиссных решений, являются, по-видимому, недостаточными (требуют привлечения дополнительных представлений, по принципу Бора!). Существующие сейчас модели не позволяют понять глубокие причины конфликтов, раздирающих сегодняшний мир, и в Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

значительной степени носят моральный, чем экономический, характер.

В.А. Лефевр показал, что имеются два типа культур, в которых по-разному относятся к моральным ценностям. В культурах первого типа достоинство людей учитывается, и оно возрастает, когда они устанавливают отношения компромисса друг с другом, а в культурах второго типа достоинства людей не учитываются: они бескомпромиссны друг к другу. В силу этих особенностей в культурах первого типа легко возникает и реализуется процедура разрешения конфликтов, а в культурах второго типа сама по себе такая процедура не появляется. Официальная культура Советского Союза в силу идеологических причин («Кто не с нами, тот против нас!») принадлежала ко второму типу. Может быть, и поэтому в нашей стране возникли определенные труд-

ности при попытках перехода к рыночной экономике и резкой демократизации общества.

Процесс неминуемой глобализации затрагивает достоинство и другие моральные ценности миллионов людей из различных государств и социальных групп. Чтобы хотя бы приблизительно представить себе, что нас ждет в будущем, необходимо научиться создавать такие модели, в которых моральное измерение человека было бы представлено в ясных понятиях и терминах.

Поэтому в поведении человеческого общества (возникновение и развитие цивилизаций и этносов, ход исторического процесса, социально-экономические структуры, социально-психологические проблемы человека, обществоведческие аспекты деятельности человека — этика, мораль, его духовная компонента; философия познания, тренды развития науки и образования и даже оценки будущего) наглядно проявляются закономерности, характерные для коллективных систем физической природы, и, следовательно, к этим системам можно и нужно применять физические основания синергетики. Синергетический подход к истории развития природы и общества показывает тенденцию к росту сложности нелинейных самоорганизующихся систем, но именно они и обеспечивают всеобщую эволюцию на всех уровнях ее социальной организации для человека, общества и культуры. Исторически развивающиеся системы социально-экономической природы представляют собой даже более сложный объект по сравнению с «классическими» саморегулирующимися системами, так как с течением времени они могут быстрее формировать новые уровни своей организации и значительно менять свою структуру.

Действительно, к исследованию и описанию развития общественных систем применимы многие физические понятия и величины или их производные, в том числе и фундаментальные представления о пространстве, времени и энергии. Ни одна обществоведческая наука просто не может не учитывать фактора времени. Ему принадлежит определяющая роль как в физике, так и в тех процессах, которые описываются этими науками. Например, в экономике важно знать колебания во времени различных рыночных показателей.

Пространство, как другой фундаментальный физический фактор, также необходимо учитывать в развитии различных

социологических и политологических систем. Оно входит базовым понятием в геополитику, в стратегию войн за передел территорий государств в различные исторические эпохи. Представления об энергии также влияют на развитие процессов не только в природе и живых организмах, как это было рассмотрено в физике живого, но и в социально-исторической сфере, и, конечно, изменения ее необходимо учитывать. В экономике понятие энергии связано с таким понятием, как «стоимость товаров и услуг». Проводя аналогию с ролью АТФ в получении и обмене энергии в клетке, как функции денег, можно и в экономике сказать, что энергия «похожа» на деньги: ее можно накапливать, но она приносит больше пользы, когда ее тратят.

Такие представления не всегда просто выразить в параметрах самих обществоведческих систем (например, как однозначно трактовать в экономике такое физическое понятие, как температура?). Однако в рамках развития синергетического подхода в социальных науках можно установить новые содержательные взаимосвязи и корреляции между физическими и социально-экономическими факторами. С другой стороны, может происходить и обратный процесс физического осмысления социально-экономических явлений, что в целом опять-таки на синергетическом поле понятий позволяет говорить, например, о структуризации хаотических систем — образовании живого организма, этноса, государства, социальной системы и экономического рынка

товаров и услуг.

В социально-экономических системах и некоторые другие физические понятия и принципы могут быть использованы. Это — известные законы сохранения в механике движения (импульса, момента импульса и энергии), законы сохранения массы и энергии, понятие численности элементов системы, принципы причинно-следственной связи и эргодичности, устойчивости процессов движения и развития, траекторий в пространстве и времени и т.д. В целом можно заключить, что изменения в социально-экономической жизни, более широко — в деятельности человеческого сообщества и даже отдельного человека отражаются в изменении фундаментальных физических величин. Более того, учитывая «подгонку» физических мировых констант основных фундаментальных взаимодействий и связь этой «подгонки» с антропным принципом, можно предполо-

510

жить, что этот принцип проявляется и в сфере общественно-социальных взаимодействий людей, т.е. можно прогнозировать изменения в этой области исходя из сущности и возможностей человека. Может быть, все изменения в этой сфере тоже происходят объективно, но в «определенном коридоре», заданном антропным принципом. И эти законы такие же, каких мы сами заслуживаем!

Существующая сегодня концепция Универсума носит в основном физический характер. Человек с его знанием, совестью и другими морально-этическими качествами, к сожалению, пока плохо вписывается в физические модели. Однако можно надеяться на построение такой модели Универсума в будущем, в которой не было бы непроходимой пропасти между человеком и физическим миром. Мы можем ожидать создания определенных, управляющих человеческой природой законов, не менее фундаментальных для Универсума, чем те, которые управляют физическим миром. Заметим, что антропный принцип — первая ступень на этом пути.

Таким образом, убедившись в необходимости целостного естествознания, по существу, уже возникающего, мы должны сделать следующий шаг — к целостной общечеловеческой культуре, применяя общий, единый эволюционно-синергетический подход к природе, обществу и человеку. Самоорганизация общественных процессов отражает единство институтов культуры, политики и экономики, становится ведущей и развивающейся идеей человеческого взаимопонимания и общественного развития.

Для настоящего времени характерна динамическая смена научных парадигм как сложившихся научных стереотипов с учетом интегративного характера наших знаний о мире, как духовном, так и материальном. Фундаментальные исследования как основа процесса познания и в будущем не потеряют своего значения. Однако сохранение высокого статуса фундаментальных знаний должно сочетаться с расширением разработок прикладного характера, связанных с удовлетворением потребностей социума. Огромную роль здесь должны играть моральные принципы гуманитарной составляющей культуры, обеспечивая условия жизни как отдельных видов животного и растительного мира, так и в целом живого вещества на Земле, сохранения биоты и перехода к ноосфере, стратегии устойчивого равновесия естественных

511

экосистем и разумного развития нового информационного когерентного общества и цивилизаций [69, 139, 160, 161]. Наука, знание (образование) и культура — это единственный вид коллективной собственности, от использования которой ее объем и ценность только возрастают.

Динамика развития современного естествознания, понимаемого нами в широком смысле, как было изложено в курсе, такова, что мышление человека вынуждено приспосабливаться к этим сменам научных парадигм практически при жизни одного поколения. В этом состоит значимость и непреходящая ценность самой науки, являющейся связующим мостом между прошлым и будущим современной культуры.

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. *Бауэр Э.С.* Теоретическая биология. М.—Л., 1935.
2. *Бераланфи Л.* Общая теория систем. Системные исследования. М., Наука, 1969.
3. *Бор Н.* Атомная физика и человеческое знание. М., Мир, 1958.
4. *Вернадский В. И.* Живое вещество и биосфера. М., Наука, 1994.
5. *Вернадский В. И.* Размышления натуралиста: пространство и время в живой и неживой природе. М., Наука, 1975; Научная мысль как планетарное явление. М., Наука, 1991.
6. Глобальный эволюционизм. М., 1994.
7. *Горшков В. Г.* Физические и биологические основы устойчивости жизни. М., 1995.
8. *Дубнищева Т.Я.* Концепции современного естествознания. Новосибирск, 1997.
9. *Ичас М.* О природе живого. М., Мир, 1994.
10. *Капица С.П.* Сколько людей жило, живет и будет жить на Земле. М., 1999.
11. *Капра Ф.* Дао физики. СПб. Орис, 1992.
12. *Кемп П., Армс К.* Введение в биологию. М., Мир, 1988.
13. *Климонтович Н.Ю.* Без формул о синергетике. Минск, Выс. шк., 1986.
14. *Медников Б.М.* Аксиомы биологии. М., Знание, 1982.
15. *Найдыш В.М.* Концепции современного естествознания. М., Гардарики, 1999.
16. *Николис Г., Пригожин И.* Познание сложного мира. М., Мир, 1990.
17. *Новиков И.Д.* Эволюция Вселенной. М., Наука, 1990.
18. *Новиков И.Д.* Куда течет река времени. М., Наука, 1990.
19. *Планк М.* Единство физической картины Мира. М., Наука, 1966.
20. *Пригожин И. Р.* Конец определенности. Время, хаос и новые законы природы. Ижевск, 1999.
21. *Пригожин И.* От существующего к возникающему. Время и сложность в философских науках. М., Наука, 1985.
22. *Трубецков Д.И.* Колебания и волны для гуманитариев. Саратов, Комедие, 1997.
23. Философия, наука, цивилизация. М., 1999.
24. *Шноль С.Э.* Физико-химические факторы биологической эволюции. М., 1979.
25. *Шрёдингер Э.* Что такое жизнь с точки зрения физики? М., Атомиздат, 1972.
26. Энциклопедия «Современное естествознание» в 10 томах, т. 1, 2000, т. 2, 2001.
27. *Дж. Шрёдер.* Шесть дней творения и Большой Взрыв. Поиски гармонии между современной наукой и Библией. Иерусалим — Москва, 2000.
28. *Хокинг С.* От Большого Взрыва до черных дыр. М., Мир, 1990.
29. *Чижевский А.Л.* Физические факторы исторического процесса. Калуга, 1924.
30. *Шелепин Л.А.* Вдали от равновесия. М., Знание, 1987.
31. *Шелепин Л.А.* Солнечная активность и Земля. М., Знание, 1980.
32. *Шкловский И. С.* Вселенная, жизнь, разум. М., 1987.

513

Дополнительная

33. Анатомия кризисов. М., Наука, 2000.
34. *Арнольд В.И.* Теория катастроф. М., Наука, 1990.
35. *Барашенков В.С.* Кварки, протоны и Вселенная. М., Знание, 1987.
36. Биоэнергетика человека. Энциклопедия. М., 1994.
37. *Богданов А.А.* Тектология. Всеобщая организация науки. М., 1989.
38. *Бойко С.В.* Физика и эволюция. Пушино, 1997.
39. *Вайнберг С.* Первые три минуты. М., Энергоиздат, 1981.
40. *Василькова В. В.* Порядок и хаос в развитии социальных систем. СПб, 1999.
41. *Василькова Н.Н.* Циклы и ритмы в природе и обществе. Моделирование

природных периодических процессов. Таганрог, 1995.

42. Вернадский В.И. Философские мысли натуралиста. М., Наука, 1988.

43. Вернадский В.И. Научная мысль как планетарное явление. М., Наука, 1991.

44. Владимиров Ю.С. Фундаментальная физика, философия и религия. Кострома, 1996.

45. Волькенштейн М.В. Биофизика. М., Наука, 1988.

46. Вольтерра В. Математическая теория борьбы за существование. М., 1976.

47. Гамов Дж. Моя мировая линия. М., Наука, 1994.

48. Гейзенберг В. Философия и физика. Часть и целое. М., Мир, 1989.

49. Гейзенберг В. Шаги за горизонт. М., Прогресс, 1987.

50. Гинзбург В.Л. О физике и астрофизике. М., Знание, 1980.

51. Голицын Г.А., Петров В.М. Гармония и алгебра живого. М., Знание, 1990.

52. Горбачев В.В. Концепции современного естествознания. М., МГУП, ч. I, 1999, ч. II, 2000.

53. Горелик Г.Е. Почему пространство трехмерно. М., Наука, 1982.

54. Гранин Д. Зубр. М., 1987.

55. Дарвин Ч. Происхождение видов. М., 1987.

56. Девис П. Случайная Вселенная. М., Мир, 1989.

57. Дубровский В. Н. Концепции пространства — времени. М., Наука, 1991.

58. Занг В. Б. Синергетическая экономика. Время и перемены в нелинейной экономической теории. М., Мир, 1999.

59. Кадомцев Б.Б. Динамика и информация. М., Наука, 1998.

60. Кальоти Дж. От восприятия к мысли. О динамике неоднозначного и нарушениях симметрии в науке и искусстве. М., Мир, 1998.

61. Казютинский В. В. Философия естествознания XX века. Итоги и перспективы. М., 1997.

62. Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г. Г. Синергетика и прогнозы будущего. М., Наука, 1997.

63. Карери Дж. Порядок—беспорядок в структуре материи. М., Мир, 1980.

64. Кендрию Дж. Нить жизни. М., 1968.

65. Кибернетика и ноосфера. М., Наука, 1986.

66. Кизель В.А. Физические принципы дисимметрии живых систем. М., Наука, 1985.

67. Клайн М. Математика. Поиск истины. М., Мир, 1988.

514

68. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Законы эволюции и самоорганизации сложных систем. М., Наука, 1994.

69. Князева Е.Н. Одиссея научного разума. Синергетическое видение научного прогресса. М., 1995.

70. Козырев Н.А. Избранные труды. Л., ЛГУ, 1991.

71. Компанеец. Симметрия в макро- и микромире. М., Наука, 1978.

72. Кондратьев Н.Д. Основные проблемы экономической статики и динамики. М., 1997.

73. Кондратьев Н.Д. Большие циклы экономической конъюнктуры. В кн.: «Проблемы экономической динамики». М., 1989.

74. Концепция самоорганизации в исторической ретроспективе. М., Наука, 1994.

75. Коробко Г. И. Основы структурной гармонии природных и искусственных систем. Ставрополь, 1995.

76. Кузнецов В.П., Идлис Г.М., Гутина В.Н. Естествознание. М., Агар, 1996.

77. Кун Т. Структура научных революций. М., Прогресс, 1975.

78. Левитан Е.П. Физика Вселенной. М., 1976.

79. Левич А.П. Структура экологических сообществ. М., 1980.

80. Леонардо да Винчи. Избранные произведения в 2-х томах, СПб, Олма-пресс, 1999.

81. Лефевр В.А. Конфликтующие структуры. М., 1973.

82. Лефевр В.А. Формула человека. М., Прогресс, 1991.

83. Lefevr V.A. Algebra of consience. Dordrect — Holland, 1982.

84. Лефевр В.А. Космический субъект. М., Инкварто, 1996.

85. Либерман Е.А. Как работает живая клетка. Новое в жизни, науке, технике. Сер. Биология. М., Знание, 1990.

86. Линде А.Д. Физика элементарных частиц и инфляционная космология. М., 1996.

87. Лисичкин В.А., Шелепин Л.А., Боев Б.В. Закат цивилизации или движение к ноосфере. М., 1997.
88. Луи де Бройль. Революция в физике. М., Мир, 1965.
89. Марутаев Н. Гармония как закономерность *природы*. М., Стройздат, 1990.
90. Мах Э. Познание и заблуждение. М., Изд. С. Скимунта, 1909.
91. Медоуз Д.Х., Медоуз Д.Л., Рандерс Й. За пределами роста. М., Мир, 1991.
92. Меньшиков СМ., Клименко АД. Длинные волны в экономике. М., 1989.
93. Моисеев Н.Н. Человек и ноосфера. М., Мол. гвардия, 1990.
94. Моисеев Н.Н. Восхождение к Разуму. М., 1993.
95. Моисеев Н.Н. Современный антропогенез и цивилизованные разломы. М., МНЭПУ, 1994.
96. Моисеев Н.Н. Современный рационализм. М., МНЭПУ, 1995.
97. Моисеев Н.Н. Расставание с простотой. М., Аграф, 1998.
98. Нарликар Дж. От черных облаков к черным дырам. М., Энергоиздат, 1989.
99. Наука и безопасность России. М., Наука, 2000.
100. Небел Б. Наука об окружающей среде. Как устроен мир. М., Мир, 1993.
101. Новиков И.Д. Как взорвалась Вселенная. М., Наука, 1988.
102. Новиков И.Д. Черные дыры и Вселенная. М., Наука, 1985.
- 515
103. Одум Ю. Экология, т.1;2. М., Мир, 1986.
104. Одум Г., Одум Э. Энергетический баланс природы и человека. М., Прогресс, 1978.
105. Окунь Л.Б. Элементарное введение в физику элементарных частиц. М., Наука, 1985.
106. Павлов А. И. Электромагнитные поля и жизнедеятельность. М., МНЭПУ, 1998.
107. Пахомов Б.Я. Становление современной физической картины мира. М., 1985.
108. Петухов С.В. Геометрия живой природы и алгоритмы самоорганизации. М., 1988.
109. Поппер К. Логика и рост научного знания. М., Мир, 1983.
110. Порядок и хаос в *развитии* социально-экономических систем. Томск, 1998.
111. Пригожин И., Стенгерс И. Время, хаос, квант. К решению парадокса времени. М., Мир, 2000.
112. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. М., Мир, 1986.
113. Проблемы пространства и времени в современном естествознании. М., 1990.
114. Простые соотношения в Природе. М., Наука, 1996.
115. Пуанкаре А. О науке. М., 1983.
116. Раушенбах Б.В. Пристрастие. М., Аграф, 1997.
117. Рапопорт Н.А. Генетическая дискретность и механизм мутаций. М., Наука, 1996.
118. Реймерс Н.Ф. Экология. М., 1994.
119. Рейхенбах Г. Философия пространства—времени. М., Прогресс, 1985.
120. Риккерт Г. Науки о природе и науки о культуре. М., 1998.
121. Рис Э., Стенберг С. От клеток к атомам. М., Мир, 1988.
122. Розенталь И.Л. Проблемы начала и конца Метагалактики. М., Наука, 1985.
123. Розенталь И.Л. Геометрия, динамика, Вселенная. М., Наука, 1987.
124. Роуз С. Устройство памяти. М., Мир, 1995.
125. Самоорганизация в природе и обществе. СПб, Наука, 1994.
126. Самоорганизация и наука. Опыт философского осмысления. М., Арга, 1994.
127. Синергетика, Тр. сем. МГУ, 1998, №1, 1999, №2.
128. Синергетическая парадигма. М., Прогресс — традиция, 2000.
129. Сноу Ч. Две культуры. М., 1973.
130. Сони» А. С. «Физический идеализм». История одной идеологической кампании. М., 1994.
131. Современная картина мира. Формирование новой парадигмы. М., 1997.
132. Сорока Э.М. Структурная гармония систем. Минск, 1984.
133. Сорохтин О.Г., Ушаков СА. Глобальная эволюция Земли. М., Изд-во МГУ, 1991.
134. Спиридонов О. П. Фундаментальные физические постоянные. М., Высшая школа, 1991.

135. Тарасов Л.В. Мир, построенный на вероятности. М., Просвещение, 1984.
136. Тимофеев-Ресовский Н.В., Воронцов Н.Н., Яблоков А.В. Краткий очерк теории эволюции. М., 1977.
137. Тимофеев-Ресовский Н.В. Очерки, воспоминания, материалы. М., 1993.
138. Тюрюканов А.Н., Федоров В.М., Тимофеев-Ресовский Н.В. Биосферные раздумья. М., 1996.
139. Урсул А.Д. Переход России к устойчивому развитию. М., 1998.
- 516
140. Фейнберг Л.Е. Кибернетика, логика, искусство. М., Радиосвязь, 1981.
141. Фейнберг Е.Л. Две культуры. Интуиция и логика в искусстве и науке. М., Наука, 1992.
142. Фейнман Р. Характер физических законов. М., Наука, 1969.
143. Фридман А.А. Мир как пространство и время. М., Наука, 1965.
144. Хазен А.М. Разум природы и разум человека. М., 2000.
145. Хесин Р.В. Непостоянство генома. М., Наука, 1984.
146. Хокинг С. Геометрические идеи в физике. М., Мир, 1983.
147. Холодов Ю.А. Шестой незримый океан. М., Знание, 1978.
148. Холодов Ю.А. Магнитное поле биологических объектов. М., 1987.
149. Чернин А.Д. Физика времени. М., Наука, 1987.
150. Чернявский Д. С. Синергетика и информация. М., Знание, 1990.
151. Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. М., Мысль, 1976.
152. Шарден П. Т. Феномен человека. М., Прогресс, 1987.
153. Шмальгаузен И.И. Организм как целое в индивидуальном и историческом развитии. М., 1982.
154. Эйнштейн А. Физика и реальность. М., Наука, 1965.
155. Эйнштейн и теория гравитации. М., Мир, 1979.
156. Электромагнитные поля в биосфере. М., Наука, 1984.
157. Энгельгардт В.А. Познание явлений жизни. М., 1985.
158. Эрвин Бауэр и теоретическая биология. Пущино, 1993.
159. Этткинс П. Порядок и беспорядок в природе. М., Мир, 1987.
160. Югай Г.А. Общая теория жизни: диалектика формирования. М., Мысль, 1995.
161. Яковец Ю.В. История цивилизаций. М., 1997.
162. Яковец Ю.В. Циклы. Кризисы. Прогнозы. М., Наука, 1999.
163. Х. Лэйси. Свободна ли наука от ценностей. М., Логос, 2001.
- 517

ТЕМЫ КУРСОВЫХ РАБОТ, РЕФЕРАТОВ И ДОКЛАДОВ

1. Наука и научное познание [3, 5, 6, 8, 15, 23, 26, 33, 48, 49, 50, 52, 56, 61, 76, 99, 100, 109, 115, 128, 142]
2. Поиски единой теории Природы [8, 26, 50, 52, 56, 62, 76, 115, 128]
3. Физическая картина Мира [19, 21, 26, 52, 74, 76, 107, 128, 142]
4. Взаимодействие и взаимосвязь естественных, технических и гуманитарных наук [3, 5, 8, 11, 22, 42, 47, 48, 49, 62, 68, 75, 76, 77, 93, 96, 115, 116, 125, 126, 132]
5. Астрономическая картина Мира [17, 28, 32, 35, 39, 50, 52, 56, 78, 101]
6. Материя. Специфика микро-и макромира [8, 35, 52, 86, 105, 142, 154]
7. Строение и эволюция Вселенной [5, 8, 13, 17, 28, 32, 35, 39, 42, 52, 78, 84, 98, 101, 102, 107, 113, 114, 122]
8. Модель Большого Взрыва [8, 17, 19, 28, 32, 35, 39, 50, 52, 56, 78, 84, 86, 98, 101, 107, 122, 143, 149]
9. Пространство и время в классической и постнеклассической физике [18, 21, 52, 53, 57, 70, 71, 86, 90, 113, 116, 119, 143, 149]
10. История естествознания [3, 5, 8, 11, 14, 23, 42, 47, 48, 50, 52, 62, 74, 77, 76, 90-95, 107, 115, 116, 125, 126, 131, 154]
11. Принципы неопределенности и дополнительности в естествознании [3, 8, 19, 21, 48, 49, 50, 52, 107]
12. Синергетика и проявление ее законов в природе и обществе [8, 13, 21, 52, 68, 74, 96, 111, 112, 123, 125, 126]
13. Математика и современное естествознание [52, 53, 59, 67, 116, 123, 132, 146]
14. Симметрия—асимметрия в неживой и живой природе [52, 71, 116]
15. Самоорганизация в живой и неживой природе [5, 8, 13, 21, 42, 52, 62, 68, 74, 75, 95, 111, 112, 114, 125, 126, 150]
16. Эволюция представлений о пространстве и времени [5, 18, 21, 52, 53, 57, 70, 86, 90, 113, 116, 119, 143, 149]
17. Вселенная, Жизнь, Разум [32, 44, 52, 93]
18. Термодинамика необратимых процессов [13, 16, 21, 22, 30, 52, 63, 68, 111, 112, 125, 159]
19. Хаос и упорядочение [8, 13, 16, 21, 22, 34, 52, 62, 63, 68, 111, 112, 125, 159]
20. Теория катастроф [13, 34, 52, 62]
21. ОТО и СТО. Их роль в эволюции знаний о Природе [50, 52, 107, 108, 154]
22. Характер физических законов [8, 11, 19, 25, 39, 44, 48, 49, 52, 59, 107, 142, 154]
23. Законы сохранения и симметрия [8, 19, 52, 107, 142]
24. Структура организации материи. Элементарные частицы [8, 35, 52, 76, 86, 100, 105]
25. Пригожинская концепция «от существующего к возникающему» [8, 16, 20, 21, 52, 68, 74, 111, 112]
26. Энтропия и ее роль в построении современной картины Мира [8, 16, 19, 21, 30, 52, 93, 96, 100, 104, 107, 111, 112, 125]
27. Философские основания физики [5, 8, 11, 23, 42, 44, 48, 49, 52, 74, 77, 90, 107, 115, 119, 131]
28. Синергетика и информация [8, 52, 59, 71, 74, 93, 96, 125, 126, 128, 140, 150]
29. Фундаментальные принципы в современном естествознании и их всеобщность [3, 8, 19, 42, 44, 48, 49, 52, 76, 90, 96, 107, 142]
30. Физическая и биологическая эволюции [5, 8, 12, 13, 16, 19, 21, 30, 42, 52, 62, 64-68, 93, 96, 100, 104, 107, 111, 112, 125, 133, 160]
31. Физика и геометрия Геометродинамика. [28, 52, 123]
32. Физические основы самоорганизации [13, 16, 21, 52, 68, 74, 111, 112, 125, 126, 128]
33. Пространство, время, гравитация [5, 8, 35, 50, 52, 53, 57, 78, 102, 113, 123, 143, 149, 155]
34. Динамический и статистический хаос. Критерии степени упорядоченности в процессах самоорганизации [8, 13, 16, 21, 22, 30, 52, 63, 93, 111, 112, 125]

35. Чем занимается астрофизика [8, 17, 28, 32, 35, 39, 50, 52, 78, 86, 98, 101, 102, 107, 122, 123]
36. Единство Человека и Природы [5, 8, 11, 13, 25, 32, 42, 52, 62, 74, 77, 90, 93, 96, 100, 104, 107, 116, 126, 128, 131, 134]
37. Физика и религия [11, 44, 48, 49, 52, 90, 116]
38. Физика открытых систем [8, 13, 16, 21, 22, 30, 52, 62, 68, 74, 93, 96, 125, 126]
39. Фундаментальные физические постоянные и физическая картина Мира [8, 13, 19, 21, 52, 68, 107, 111, 112, 125, 135, 142, 143]
40. Вероятностный характер физических законов [8, 13, 16, 19, 21, 52, 93, 96, 107, 111, 112, 125, 126, 142]
41. Энтропия и информация [8, 16, 52, 59, 111, 125, 126, 150]
42. Механическая картина Мира [19, 52, 59, 76, 107, 134]
43. Сущность специальной теории относительности [8, 52, 154]
44. Рождение и эволюция звезд [17, 19, 28, 32, 50, 52, 78, 98, 101, 122]
45. Хаос, пространство, самоорганизация [8, 13, 16, 21, 30, 93, 96, 111, 112, 125, 126, 128]
46. Синергетика и принципы самодвижения материи [5, 8, 13, 16, 21, 30, 42, 52, 68, 93, 111, 112, 125, 126, 128]
47. Что такое жизнь с точки зрения физики [8, 25]
48. Принципы наименьшего производства энтропии [8, 16, 21, 22, 111, 112]
49. Гравитация [8, 50, 102, 134, 154, 155]
50. Электромагнитная картина Мира [8, 17, 18, 19, 28, 52, 101, 102, 107, 122, 123, 134]
51. Принципы неопределенности Бора в естественных и гуманитарных науках [3, 8, 11, 19, 48, 50, 52, 96, 107, 116, 140]
52. Понятие о внутреннем, активном, астрономическом и биологическом времени [8, 16, 18, 21, 52, 68, 70, 107, 111, 112, 143, 149]
53. Фундаментальные законы Природы [5, 8, 19, 21, 44, 48, 49, 74, 76, 107, 134, 142]
54. Проблемы механики движения в классической физике [8, 19, 76, 107, 114]
55. Понятие об общей теории относительности [8, 28, 32, 154]
56. Античастицы и антивещество [8, 17, 101, 107]
57. Бифуркации, динамический хаос и теория катастроф [8, 13, 21, 30, 34, 59, 62, 68, 91, 111, 112, 125, 126]
- 519
58. Симметрия природы и природа симметрии [8, 71, 75, 116]
59. Структура и иерархия объектов неживой и живой природы [3, 8, 35, 76, 86, 100, 105]
60. Принципы оптимальности [8, 52, 114]
61. Понятие об аттракторах [8, 21, 34, 52, 62, 65, 74, 111, 112, 125, 126]
62. Вероятностный мир и законы эволюции [8, 30, 52, 59, 68, 74, 75, 96, 100, 107, 111, 112, 135]
63. Понятие о физическом вакууме [11, 17, 18, 28, 44, 50, 52, 101, 102, 107, 122, 123, 134]
64. Черные дыры [8, 17, 18, 28, 32, 50, 52, 78, 86, 98, 101, 102, 122, 149]
65. Развитие представлений о времени от древности до наших дней [8, 16, 18, 19, 21, 52, 68, 70, 76, 107, 111, 112, 113, 119, 143, 149]
66. Природа и мысль [5, 11, 42, 84, 93, 107, 131, 32]
67. Статистические законы и вероятностный детерминизм [8, 19, 52, 107, 135, 142]
68. Фундаментальные взаимодействия [8, 19, 21, 52, 74, 75, 107, 123, 142]
69. Космос и Разум [5, 11, 32, 42, 52, 50, 84, 93, 94, 131]
70. Антропный принцип и современная естественно-научная картина Мира [8, 21, 32, 52, 62, 74, 76, 93, 107, 122, 134, 142, 149]
71. Сценарии происхождения Вселенной [8, 17, 18, 32, 35, 39, 50, 86, 101, 102, 122, 123, 143]
72. Теории Великого объединения физических полей [8, 17, 18, 28, 50, 52, 98, 101, 102, 107, 122, 123, 134]
73. Понятие динамического хаоса [8, 13, 16, 21, 30, 52, 59, 62, 68, 93, 111, 125, 126, 128]
74. Необратимость процессов в природе и стрела времени [13, 18, 21, 52, 62, 68, 107, 113, 122, 149]

75. Уровни организации материи [8, 52, 75, 76, 105, 107, 134]
76. Земное эхо солнечных бурь [5, 29, 31, 32, 42, 52, 84, 100, 107, 134, 151]
77. Элементарные частицы и структура Вселенной [8, 35, 52, 76, 100, 105, 143]
78. Порядок — беспорядок в природе [8, 13, 16, 21, 22, 30, 34, 52, 62, 63, 68, 111, 112, 125]
79. «Золотое сечение» и гармонизация процессов в неживой и живой природе [52, 75, 114, 116, 132]
80. Космомикрофизика [8, 17, 18, 28, 32, 50, 52, 101, 102, 105, 122, 123, 134]
81. Проблема внеземных цивилизаций [8, 32, 52, 93, 96, 102, 134]
82. Генетика и квантовая физика [6, 8, 9, 14, 24, 25, 36, 52, 68, 117, 121, 137, 145, 147, 149]
83. Физические основы экологии [4, 5, 6, 7, 14, 26, 38, 41, 52, 70, 79, 87, 93, 97, 99, 103, 106, 118, 120, 138, 139, 144]
84. Особенности биологического развития материи [4, 5, 7, 8, 9, 12, 14, 23, 24, 26, 33, 38, 41, 51, 52, 68, 87, 93, 108, 136, 138, 154, 157, 158]
85. Физические модели биологии [2, 5, 7, 8, 9, 12, 14, 20, 24, 33, 36, 38, 45, 51, 52, 64, 66, 68, 87, 106, 108, 120, 127, 144, 157, 158, 162]
86. Понятие ноосферы и ее роль в природе [4, 5, 8, 33, 41, 52, 58, 65, 87, 93, 94, 96, 136, 138]
87. Единство человека и природы [4, 5, 8, 26, 32, 33, 41, 51, 52, 60, 64, 68, 69, 80, 82, 87, 89, 91, 93, 94, 95, 137, 144, 149, 151, 152, 153, 157, 158, 160, 161, 162]
- 520
88. Эволюционные теории в биологии [2, 6, 7, 8, 12, 14, 38, 52, 68, 93, 94, 120, 136, 137, 138, 153, 157]
89. Пространство и время в живых системах [4, 5, 20, 41, 51, 52, 70, 119, 157]
90. Разум и информационное поле [9, 51, 52, 60, 82, 93, 94, 108, 124, 144, 148, 156]
91. Физическая модель памяти [9, 52, 71, 82, 124, 126]
92. Учение В.И. Вернадского о биосфере [4, 5, 8, 41, 52, 95, 136, 137, 138]
93. Естественно-научные модели происхождения жизни на Земле [8, 15, 52, 93, 133, 136, 138, 160]
94. Роль информации для живых организмов [8, 9, 24, 87, 156]
95. Термодинамика живого организма [1, 36, 52, 157, 158]
96. Влияние Космоса на жизнь на Земле [4, 5, 8, 31, 41, 52, 55, 87, 93, 133, 136, 145, 147, 151, 156]
97. Основные проблемы экологии и роль окружающей среды для жизни [4, 5, 7, 8, 41, 52, 55, 79, 87, 93-96, 118, 133, 138, 139]
98. Признаки живого и определения жизни [2, 4, 5, 7, 8, 14, 36, 38, 41, 51, 52, 55, 64, 77, 84, 93, 96, 103, 108, 126, 136, 153, 157]
99. Иерархические уровни организации живого [1, 2, 8, 24, 26, 52, 79, 93, 94, 103, 133, 136, 138, 153, 157, 160]
100. Роль разнообразия в живой природе [2, 4, 5, 7, 8, 9, 12, 14, 15, 24, 38, 41, 45, 51, 52, 55, 87, 93-96, 118, 133, 136, 137, 138, 157, 160]
101. Самоорганизация в живой природе [2, 5, 7, 8, 20, 24, 33, 52, 68, 87, 89, 93-96, 120, 125, 126, 158]
102. Отличие живой природы от неживой [2, 4, 5, 7, 8, 9, 12, 13, 14, 15, 24, 41, 45, 51, 52, 64, 65, 66, 67, 68, 69-79, 93, 95, 96, 108, 133, 136, 137, 138, 151, 157, 158]
103. Симметрия и асимметрия в живых системах [8, 9, 14, 51, 52, 60, 66, 71, 89, 108]
104. Глобальный эволюционизм [4, 5, 6, 15, 23, 38, 41, 52, 87, 93-96, 128, 133, 136, 137, 138, 139, 153, 157]
105. Эволюция биосферы Земли [4, 5, 7, 8, 9, 24, 38, 41, 52, 55, 64, 68, 87, 93-96, 133, 136, 137, 138, 153, 157, 158, 160, 161]
106. Молекулярно-генетическая теория наследственности [8, 9, 12, 14, 25, 52, 117, 145, 147, 153, 157]
107. Биосфера и живое вещество [1, 4, 5, 7, 9, 12, 14, 24, 36, 38, 41, 52, 85, 87, 136, 137, 138, 157, 158]
108. Идеи Чижевского о цикличности процессов в Космосе и на Земле [29, 52, 87, 133, 138, 151]
109. Энергетический подход к объяснению живого [1, 4, 5, 7, 9, 14, 36, 38, 41, 52, 85, 108, 127, 158]

110. Влияние излучений на живые организмы [31, 52, 106, 147, 148, 151, 156]
111. Физические поля в организме человека и возможности медицинской диагностики [52, 106, 147, 148]
112. Системный подход к объяснению жизни [1, 2, 7, 23, 24, 26, 36, 48, 52, 93, 94, 95, 127, 133, 137, 138, 152, 153, 158, 160, 161]
113. Физические представления наследственности, изменчивости и естественного отбора [8, 12, 14, 15, 24, 45, 51, 52, 117, 121, 137, 145, 157]
114. Что такое жизнь с точки зрения физики [2, 4, 5, 7, 9, 14, 24, 36, 38, 41, 45, 52, 64, 108, 121, 153, 157, 158]

521

115. Биохимические составляющие жизни [4, 5, 8, 12, 24, 41, 52, 64, 85, 121]
116. Строение клетки живого организма. Роль ее элементов [8, 12, 14, 24, 52, 64, 85, 121]
117. Основные жизненные процессы в клетках [8, 9, 12, 14, 51, 52, 82, 85, 121]
118. От физики существующего к физике возникающего [7, 8, 9, 12, 20, 22, 23, 24, 36, 38, 48, 51, 52, 64, 66, 68, 87, 128, 157, 158]
119. Роль энтропии и информации для живого организма [1, 8, 9, 20, 22, 24, 36, 38, 51, 52, 64, 106, 158]
120. Физические аспекты и принципы биологии [1, 2, 4, 5, 7, 8, 9, 12, 14, 22, 23, 24, 36, 38, 41, 45, 48, 51, 52, 64, 68, 87, 121, 127, 152, 153, 157, 158]
121. Химические процессы в живой природе и молекулярная самоорганизация [8, 9, 12, 20, 24, 52, 64, 87, 108, 121, 127]
122. Физическое понимание мутагенеза [7, 8, 12, 14, 24, 52, 117, 121, 137, 138, 153]
123. Роль АТФ в энергетике живого организма [1, 7, 8, 9, 12, 14, 24, 36, 52, 85, 121, 158]
124. Гомеостаз и развитие организма [1, 2, 7, 8, 12, 15, 24, 38, 52, 66, 87, 108, 121, 136, 153, 156, 157, 158]
125. Физические представления онтогенеза и филогенеза [8, 14, 24, 52, 136, 153, 157]
126. Физические принципы воспроизведения и наследования признаков [8, 9, 12, 14, 51, 52, 121, 137, 145, 153, 157]
127. Передача наследственной информации [7, 9, 12, 14, 51, 52, 117, 124, 137, 138, 145, 153, 160]
128. Роль и действие ДНК и РНК в организме [8, 12, 14, 36, 52, 121, 147, 157]
129. Молекулярная генетика [8, 12, 14, 36, 51, 52, 117, 121, 137, 138, 145, 153, 157]
130. Аксиомы биологии [1, 2, 7, 14, 24, 38, 51, 52, 137, 153, 157, 160]
131. Матричный принцип синтеза информационных молекул наследственности [7, 8, 12, 14, 15, 23, 24, 51, 52, 117, 147, 153, 157]
132. Модель СП. Капицы для демографического развития [10, 52, 68, 91]
133. Устройство памяти. Воспроизводство и передача информации в организме [9, 12, 14, 51, 52, 66, 121, 124]
134. Структурная организованность биосферы [7, 8, 12, 24, 33, 52, 87, 108, 153, 157]
135. Биогеохимические принципы В.И. Вернадского и живое вещество [4, 5, 8, 24, 41, 52, 153, 157, 160]
136. Принципы устойчивого развития [2, 22, 23, 52, 87, 93, 94, 95, 138, 139]
137. НТР и проблемы экологии [4, 5, 6, 7, 8, 24, 33, 36, 38, 41, 52, 64, 87, 93, 94, 95, 103, 118, 120, 133, 136, 151, 153, 160]
138. Физика живого [1, 4, 5, 7, 9, 12, 14, 24, 25, 38, 41, 51, 52, 64, 68, 85, 87, 108, 157, 158]
139. Мир живого на молекулярном уровне [6, 8, 12, 24, 51, 52, 64, 85, 87, 121, 145]
140. Человек, биосфера и космические циклы [1, 4, 5, 6, 8, 9, 29, 41, 51, 52, 87, 93, 94, 95, 103, 106, 108, 118, 127, 133, 136, 137, 156]
141. Земное эхо солнечных бурь [4, 5, 7, 22, 29, 41, 52, 87, 106, 147, 148, 151, 156]

522

142. Процессы самоорганизации в физике, химии, биологии [2, 6, 7, 8, 20, 23, 33, 52, 68, 93, 94, 95, 108, 127]
143. Антропный принцип в биологии [6, 8, 9, 52, 68, 93, 94, 95]
144. Физические принципы и модели в экономике [37, 39, 41, 52,

58,72,73,91,92, 110]

145. Синергетика в социологии [39, 41, 58, П1100]

146. Циклы и длинные волны Н.Д. Кондратьева в экономике и социологии [41, 52, 58, 72, 73, 92]

147. Объективное и субъективное в процессе познания мира [60, 69, 81, 82, 109, 128, 141]

148. Естествознание и религия в системе познания мира [6, 27, 44, 52, 141]

149. Самоорганизация сложных систем и принципы гармонии [37, 52, 69, 74, 89, 132]

150. Физическая модель социальной самоорганизации [[39](#), [41](#),[132](#)]

151. Наука и искусство [[6](#), [74](#), [80](#), [88](#), [113](#), [116](#), 129, 140, 141, 152]

523

ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ И ЭКЗАМЕНУ

1. Пространство и время в классической физике. Эволюция этих понятий от древности до современных представлений.
2. Антропный принцип.
3. Гуманитарный и естественнонаучный подходы и их единство при построении картины Мира.
4. Парадокс времени. Стрела времени.
5. Физические принципы неопределенности и дополнителности и их использование в КСЕ.
6. Механика дискретных объектов. Описание их движения.
7. Физическая сущность и основные выводы СТО и ОТО.
8. Модель Большого Взрыва и расширяющейся Вселенной.
9. Фундаментальные взаимодействия и константы во Вселенной.
10. Парадокс близнецов.
11. Инвариантность времени в классической, квантовой и релятивистской механике.
12. Законы сохранения в классической механике.
13. Принцип оптимальности (наименьшего действия, скорейшего пути, экономии энергии, энтропии и максимума информации).
14. Механическая картина Мира.
15. Экспериментальные подтверждения модели расширяющейся Вселенной.
16. Механизм образования и эволюции звезд.
17. Черные дыры.
18. Современная естественно — научная картина Мира.
19. Реликтовое излучение.
20. Элементарные частицы и их классификация.
21. В чем смысл «подгонки» фундаментальных констант?
22. Основные понятия синергетики.
23. Детерминированный или динамический хаос.
24. Понятие аттракторов.
25. Как происходят процессы в открытых системах?
26. Стационарная Вселенная Эйнштейна.
27. Основные параметры движения механики Галилея — Ньютона.
28. Понятие кварков и их характеристики.
29. Принцип относительности Галилея.
30. Основные особенности механики Ньютона.
31. В чем разница между биологической эволюцией Дарвина и физической эволюцией Больцмана?
32. Может ли классическая механика «разрешить» путешествие из будущего в прошлое? Почему?
33. Два постулата Эйнштейна в специальной теории относительности. Примеры их подтверждения.
34. Чем, по Вашему мнению, обусловлена трехмерность реального пространства?
35. Преобразование Лоренца и единство пространства—времени.
36. Понятие бифуркации.
37. Как возникает порядок из хаоса?
38. «Золотое сечение» и законы гармонии.
39. Основные опыты, лежащие в основе СТО.
40. Лоренцево сокращение длины и замедление хода времени.
41. Изменение массы со временем и соотношение Эйнштейна между массой и энергией.
42. Развитие представлений о пространстве и времени.
43. Современные сценарии происхождения Вселенной.
44. Понятие о физическом вакууме.
45. Уровни организации материи.
46. Гравитационное взаимодействие.
47. Электромагнитное взаимодействие.
48. Слабое и сильное взаимодействия.
49. Теория Большого объединения полей.

50. Поле как переносчик взаимодействия.
51. Принцип относительности в классической и постнеклассической физике.
52. Динамические и статистические закономерности в природе.
53. Понятие о критической плотности и проблема скрытой массы.
54. Представления о самоорганизации материи.
55. Что такое космомикрoфизика?
56. Представления о геометро-динамике.
57. Термодинамические особенности живых систем.
58. Принципы самоорганизации живых систем.
59. Химические процессы в живых организмах.
60. С чем борется живой организм — с энтропией или со свободной энергией? Почему?
61. Что понимается под глобальным эволюционизмом?
62. Уровни организации живых систем.
63. Основные теории происхождения жизни на Земле.
64. Признаки живого и отличия между живым и неживым.
65. Физическая интерпретация биологических законов.
66. Какие химические элементы используются в живых организмах. Их роль в процессах жизнедеятельности.
67. Что дает теория самоорганизации в описании живых систем?
68. Энергетический подход к описанию живых систем.
69. Роль АТФ в жизнедеятельности организма.
70. Пространство и время в живых системах.
71. Физический смысл аксиом биологии.
72. Взаимосвязь энтропии и информации в живых организмах.
73. Геохимические принципы В.И. Вернадского.
74. Физические принципы экологии.
75. Органогены и их роль для организма. Почему углерод считается одним из основных органогенов?
76. Основные положения эволюционной теории Дарвина.
- 525
77. Онтогенез и филогенез.
78. Клетка и основные процессы в ней.
79. Физические аспекты эволюции биосферы.
80. Синтетическая теория эволюции.
81. Круговорот веществ в природе.
82. Учение В.И. Вернадского о биосфере и ее развитии.
83. Автотрофы и гетеротрофы.
84. Представления А.Л. Чижевского о взаимосвязях Космоса и Земли.
85. Физические факторы влияния солнечной активности на земные процессы.
86. Действие различных излучений на организм человека.
87. Принципы устойчивого развития.
88. Понятие о ноосфере.
89. Поля и излучения организма человека.
90. Какие физические поля имеются в организме человека и как они используются в медицинской диагностике?
91. Как связана память с использованием информации.
92. Устройство и механизмы работы памяти.
93. Взаимосвязь физических полей внутри и вне живого организма.
94. Может ли компьютер заменить человеческую память? Почему?
95. Основные принципы развития живого организма.
96. Модель СП. Капицы для демографического развития.
97. Популяции и их роль в природе.
98. Основные положения те-
ории радиационной генетики Н.В. Тимофеева—Ресовского.
99. Жизнь и Разум во Вселенной.
100. Основные положения молекулярной биологии.
101. Биохимические составляющие живой природы.
102. Законы генетики.
103. Пути преодоления экологического кризиса.
104. Молекулярно-генетический уровень организации живого.
105. Онтогенетический уровень организации живого.
106. Популяционно-видовой уровень организации живого.

107. Биоценотический уровень организации живого.
108. Что означают понятия «парниковый эффект», «озонная дыра», «ядерная зима» и каковы их последствия на природу?
109. Каковы главные источники экологического кризиса? В чем они проявляются и как преодолеть их вредные последствия?
110. Основные признаки ухудшения экологической обстановки на Земле.
111. Условия перехода биосферы к ноосфере.
112. Экологические проблемы больших городов.
113. Радиоактивное загрязнение Земли.
114. Основные механизмы воспроизводства жизни.
115. Механизм передачи генетической информации через ДНК и РНК.
116. Воспроизводство и наследование признаков.
117. Генотип и фенотип.
118. Мутации и мутагенез.

526

119. Молекулярная самоорганизация в живых организмах.
120. Принципы симметрии и асимметрии для живого организма.
121. Радиация и человек.
122. Особенности синергетики социально-экономических процессов.
123. Какие физические модели можно использовать в экономике?
124. Что понимают под оптимальным управлением в экономике?
125. Чем обусловлен циклический характер экономических процессов?
126. Каковы факторы экономического роста?
127. Движущий фактор эволюции в экономических системах.

527

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

А

Абиогенез — гипотеза о происхождении жизни, возникновении живого из неживого.

Абиогенный, абиогенная эволюция, абиогенное вещество — неживого, небиологического происхождения.

Абсолютно черное тело — объект, полностью поглощающий падающее на него электромагнитное излучение. Такими свойствами обладает отверстие в непрозрачном полом теле.

Абстрактный — *отвлеченный*.

Автоингибиторы — вещества, сами по себе снижающие скорость химических реакций, подавляющие активность ферментов.

Автокатализ — ускорение химической реакции одним из участвующих в ней веществ, играющим роль катализатора.

Автотрофы — организмы, осуществляющие синтез необходимых для жизни веществ из простых неорганических молекул. Синтез может осуществляться за счет солнечной энергии (фотосинтез) и за счет химических реакций (хemosинтез).

Адаптация — приспособление. В биологии — приспособление строения и функций организмов к условиям существования, в физиологии — привыкание.

Адгезия (лат. — прилипание) — поверхностное сцепление.

Аддитивность (лат. — прибавляемый) — свойство, показывающее, что значение величины, соответствующее целому, равно сумме величин, соответствующих его частям.

Аденин — пуриновое основание, содержится во всех живых организмах в составе нуклеиновых кислот, одна из четырех «букв» генетического кода.

Аденозин — нуклеотид, состоящий из основания аденина и моносахарида рибозы.

Аденозинтрифосфат (АТФ) — нуклеотид, образованный аденозином и 3 остатками фосфорной кислоты. Во всех живых организмах выполняет роль универсального аккумулятора энергии.

Адиабатический процесс — термодинамический процесс в отсутствие обмена теплом между системой и внешней средой.

Адроны (греч. — сильный) — элементарные частицы, участвующие в сильных взаимодействиях.

Аккреция (лат. — приращение) — гравитационный захват вещества и последующее падение звезды на космическое тело, при этом выделяется гравитационная энергия и происходит увеличение величины или массы чего-либо.

Аксиома — исходное положение, принимаемое без логических доказательств.

Аксон (греч. — ось) — отросток нейрона, проводящий нервный импульс от тела клетки к иннервируемым органам.

Активность — способность среды изменять параметры порядка.

Активная среда — вещество, в котором распределение частиц не является равновесным. В лазерной физике — среда, усиливающая лазерное излучение.

Алгоритм (лат. — транслитерация имени арабского математика аль Хорезми) — код, принцип, на-

бор правил или система операций, предписывающие в определенном порядке действия и позволяющие чисто механически решать любую задачу из класса однотипных задач.

Аллели — альтернативные варианты существования одного и того же гена, расположенные в одинаковых участках (локусах) парных хромосом. Определяют варианты развития одного и того же признака.

Альbedo (лат. — белизна) — величина, характеризующая способность поверхности тела отражать падающий на нее поток электромагнитного излучения или частиц.

Амилаза — фермент, катализирующий *гидролитическое расщепление*, полисахаридов у всех живых веществ.

Аминогруппа — боковая группа аминокислоты, которая образуется из

простой молекулы аммиака.

Аминокислота — органическое химическое соединение, содержащее аминогруппу NH_2 и карбоксильный радикал органических солей COOH . Служит основным элементом построения растительных и животных белков, играет важную роль в жизни организмов.

Амплитуда (греч. — величина) — наибольшее отклонение величины параметра, изменяющейся по периодическому закону.

Анабиоз (греч. — оживление) — состояние организма, при котором жизненные процессы резко замедляются, что способствует выживанию его в неблагоприятных условиях.

Анаболизм (греч. — подъем) — химический процесс, в котором простые вещества образуют более сложные, накапливая при этом энергию. В биологии — процесс в живом организме, направленный на образование и обновление структуры клеток и тканей.

Аналогия (греч.) — соответствие, сходство предметов (явлений, процессов); позволяет переносить знание с изученного объекта на неизученный при их сходстве.

Анаэроб — организм, способный жить в отсутствие атмосферного кислорода.

Анаэробный (греч. — без воздуха) — процессы в отсутствие кислорода.

Ангстрем — единица длины. $1\text{Å} = 10^{-10}\text{м} = 0,1\text{нм}$.

Анизотропия (греч. — неравное направление) — изменение свойств по разным направлениям в пространстве.

Аннигиляция (лат. — превращение в ничто, исчезновение) — один из видов превращения элементарных частиц при столкновении с античастицей в другие частицы, например, при аннигиляции пары электрон—позитрон возникают фотоны. При аннигиляции должны выполняться законы сохранения.

Аномалия — отклонение от нормы.

Антибиотики — органические вещества, образуемые микроорганизмами и обладающие способностью убивать микробов и избирательным ингибирующим действием на живые клетки.

Антивещество — *вещество*, состоящее из античастиц.

Антигены — чужеродные молекулы, с которыми могут связываться антитела.

Антитела — иммуноглобулины плазмы крови человека и теплокровных животных, препятствующие размножению микроорганизмов, вызывающих отравление организма.

Античастицы — элементарные частицы, масса, спины и время жизни точно равны этим же параметрам данной частицы, а электрический заряд и магнитный момент и некоторые другие характеристики (барионный лептонный заряды, странность и др.) равны, но отличаются по знаку. Все элементарные частицы, кроме фотонов, нейтральных пионов и мезонов (для них античастицы тождественны с частицей) имеют свои античастицы. При взаимодействии частицы и античастицы происходит аннигиляция.

Антропный принцип — рассмотрение законов Вселенной и ее строения на основе того, что познание ведется Человеком разумным. Природа такова, как она есть, только потому, что в ней живет человек. Антропный принцип не противоречит возможности жизни на других космических объектах, но в другом для нас виде.

Антропогенез — эволюция происхождения и формирования человека.

Антропогенный — связанный с человеком, возникший в результате человеческой деятельности.

Антропоморфизм — уподобление человеку, наделение человеческими качествами и свойствами (например, сознанием) предметов и явлений неживой природы, небесных тел, животных и мифических существ (например, богов).

Ароморфизм (греч. — поднимать форму) — усложнение организации и функций живых организмов в процессе эволюции.

Артефакт (лат. — искусственно сделанное) — процесс (или образование), не свойственный изучаемому объекту в норме и возникающий в процессе его исследования. Может быть фактом, созданным искусственно в силу недостаточного осмысления. В настоящее время к артефактам относят паранормальные явления.

Асимптотический процесс (греч. — несовпадающий) — процесс, неограниченно приближающийся к какой-то закономерности.

Ассимиляция (лат. — уподобление, слияние) — усвоение, слияние. В биологии — усвоение питательных веществ живыми клетками, анаболизм.

Аттрактор (англ. — притягивать) — точка равновесия, к которой «притягиваются» фазовые траектории, определяемые детерминированными начальными условиями, и которая является обобщением понятия равновесия, определяет относительную устойчивость состояния системы. Аттрактор можно рассматривать как конечное состояние развития диссипативной структуры.

Аура (греч.— веяние) — своеобразные кратковременные зрительные, слуховые, эмоциональные и другие ощущения и переживания; светящаяся оболочка вокруг тела человека, имеющая определенную цветовую окраску в зависимости от физического и психического состояния; особая атмосфера, образуемая вокруг людей или вещей, как бы создаваемая или излучаемая ими, биоэнергетическая оболочка живых существ.

Аэроб — организм, способный жить только в присутствии кислорода.

Аэробный — в присутствии кислорода. Аэробы — организмы, которые могут существовать только при наличии свободного мо-

лекулярного кислорода. К ним относятся человек, животные, растения, а также многие микроорганизмы.

Б

Бактерии — группа микроскопических, преимущественно одноклеточных, организмов, обладающих клеточной стенкой, но не имеющих ядра и размножающихся делением.

Барионы (греч. — тяжелый) — элементарные частицы, относящиеся к классу адронов, с полуцелым спином и массой не меньше массы протона.

Барстеры — вспыхивающие рентгеновские источники с периодом повторения вспышек от нескольких часов до нескольких дней.

Бартер — прямой товарообмен на безвалютной основе.

Бастард — гибрид от межвидовых и межродовых скрещиваний животных.

Белки — макромолекулы, состоящие из большого числа аминокислот, соединенных пептидными связями.

Белая дыра — гипотетический небесный объект, обращенный во времени гравитационный коллапс, в противоположность черной дыре вещество, первоначально находящееся в белой дыре, расширяется с течением времени и выходит из-под гравитационного радиуса белой дыры. Можно представить, что белые и черные дыры находятся в пространствах с разной мерностью.

Биогенез — образование органических соединений живыми организмами; процесс возникновения, зарождения живого. По этой концепции все живое рождается только от живого.

Биогенетический закон — эмпирическое обобщение, согласно которому индивидуальное развитие особи (онтогенез) является повторением важнейших этапов эволюции (филогенез) групп, к которой эта особь относится. Открыт Э. Геккелем в 1866 г.

Биогенный — происходящий от живого организма, связанный с ним.

Биогены — вещества, в том числе химические элементы, абсолютно необходимые для существования живых организмов и обязательно входящие в их состав.

Биогеоценоз — определенный участок земной поверхности с определенным составом живых и косных компонентов в динамическом взаимодействии между ними.

Биокатализ — процесс ускорения свойственных живой природе химических процессов в присутствии катализаторов.

Биокосное вещество — вещество, содержащееся в почвах и горных породах.

Биологическое время — внутреннее время живого организма, связанное с цикличностью жизненных ритмов организма.

Биологическое узнавание — химический процесс присоединения определенных биомacroмолекул с помощью ферментов.

Биополимеры — высокомолекулярные природные соединения — белки, нуклеиновые кислоты, полисахариды и их производные. Являются структурной основой живых организмов и играют определяющую роль в процессах

жизнедеятельности.

Биосфера — область распространения активной жизни на Земле, включая атмосферу, гидросферу

531

ру и литосферу, заселенные живыми организмами.

Биота (греч. — жизнь) — исторически сложившаяся совокупность видов растений, животных и микроорганизмов на определенной территории. В отличие от биоценоза может характеризоваться отсутствием экологических связей между видами.

Биоэтика — понятие на стыке философии, биологии, этики, медицины и т.д. как реакция на новые проблемы жизни и смерти (аборт, клон и т.д.). Этика взаимодействия человека с живой природой.

Биоценоз (греч. — общий) — совокупность животных, растений и микроорганизмов, населяющих участок среды с однородными условиями жизни (луг, озеро, берег реки и т.д.) и характеризующихся определенными отношениями

между собой и приспособляемостью к внешней среде.

Биотоп — участок земной поверхности (суши или водоема) с однотипными условиями среды, занятый биоценозом; естественное, относительно однородное жизненное пространство биоценоза.

Биофизика — раздел физики, изучающий физические и физико-химические явления в биологических объектах и фундаментальные процессы, лежащие в основе живой природы. Оформилась в 1961 г.

Бит (англ. — двоичный) — двоичная единица измерения количества информации.

Бифуркационная диаграмма — зависимость одной из величин, характеризующей ее поведение или изменение, от какого-либо параметра.

Бифуркационное дерево — схема ветвления бифуркаций.

Бифуркация (лат. — раздвоение) — критическая пороговая точка, в которой происходит качественное изменение поведения объекта. Точка ветвления траектории движения (изменения) неравновесной системы в момент ее структурной перестройки. В точках бифуркации система находится одновременно как бы в двух состояниях и предсказать ее детерминированное поведение невозможно.

Бихевиоризм — наука о поведении; одно из направлений психологии, считающее предметом исследования не сознание, а поведение в виде совокупности двигательных и эмоциональных реакций на условия внешней среды.

Близкодействие — передача взаимодействия посредством полей от точки к точке с конечной скоростью, не превышающей скорость света в вакууме.

Бозон — элементарная частица с целым спином, подчиняющаяся статистике Бозе—Эйнштейна.

Бытие — философское понятие, означающее существующий независимо от сознания объективный мир, материю.

В

Вакуоли — полости в животных и растительных клетках.

Вакуум (лат. — пустота) — пространство, в котором отсутствуют реальные частицы и выполняется условие минимума плотности энергии в данном объеме. В квантовой теории поля — наинизшее энергетическое состояние.

Валентность (лат. — сила) — способность атома к образованию химических связей с другими ато-

532

мами, определяемая количеством электронов на внешней оболочке.

Вариационный принцип, исчисления — нахождение экстремальных значений переменных величин (функционалов), зависящих от одной или нескольких функций.

Вектор (лат. — несущий) — отрезок определенной длины и направления, в общем смысле — физические (или любые другие) величины, зависящие от направления; характеризуются величиной, направлением и точкой начала (приложения) вектора.

Верифицируемость — эмпирическое подтверждение теоретических данных науки путем сопоставления их с чувственными данными, экспериментами.

Вероятность — числовая характеристика возможности появления какого-

либо случайного события при тех или иных условиях.

Вещество — некая субстанция, представляющая вид материи и состоящая из дискретных образований, обладающих массой покоя, в том числе из неделимых элементарных частиц, обладающих физическими параметрами (заряд, масса, энергия, спин и т.д.). Эта субстанция структурирована, и ее структурные элементы находятся в непрерывном движении, взаимодействуют друг с другом и образуют материальные тела. В физическом смысле природа вещей определяется веществом.

Взаимодействие — разворачивающийся во времени и пространстве процесс воздействия одних объектов на другие путем обмена материей и движением; определяет существование и структурную организацию любой материальной системы.

Взрыв — освобождение большого количества энергии в ограниченном объеме за короткий промежуток времени, связанное с внезапным изменением состояния системы.

Вид — совокупность популяций особей, способных к скрещиванию с образованием потомства и обладающих рядом общих признаков.

Виртуальная реальность — возможная, но мнимая (не проявленная) реальность, которая может проявиться в определенных условиях; искусственная среда, созданная компьютерными средствами.

Виртуальность — в общем смысле понимается как возможность существования (виртуальные миры, виртуальные частицы, виртуальные перемещения — бесконечно малые перемещения частиц без нарушения связей в системе).

Виртуальные частицы — частицы, рассматриваемые в квантовой теории поля, находящиеся в промежуточных состояниях, непрерывно возникающие и исчезающие в очень короткие промежутки времени t . Можно предположить, что виртуальные частицы — элементарные частицы, существующие в пространствах, дополнительных к реальному, и непосредственно в реальном пространстве не наблюдаются.

Вирусы — возбудители инфекционных болезней растений, животных и человека, размножаются только внутри живых клеток.

Витализм (лат. — жизненный) — идеалистическое учение в биологии, согласно которому жизнь объясняется наличием в организмах нематериального начала (жизненная сила, душа, энтелехия),

533

якобы управляющего жизненными явлениями.

Витамины — органические вещества, образующиеся в организмах животных и человека или поступающие с пищей; необходимы для нормального обмена веществ или жизнедеятельности.

Внутренняя энергия — энергия физической системы, зависящая от ее внутреннего состояния, она включает энергию хаотического движения всех микрочастиц системы и энергию их взаимодействия. Понятие ввел в 1851 г. Кельвин (У. Томсон).

Волновая функция — комплексная функция, описывающая состояние квантово-механической системы. Квадрат модуля волновой функции равен вероятности (или плотности вероятности) того, что физические величины, с помощью которых задано состояние системы, принимают определенные значения.

Волны жизни (или популяционные волны) — количественные колебания в численности популяций под воздействием различных причин — сезонной периодики, климатических условий и т.д.

Время — понятие, описывающее последовательность смены явлений и состояний материи, длительность процессов. Форма существования (наряду с пространством) материи, существует объективно и связано с движением материи.

Вынужденное (индуцированное) излучение — процесс испускания электромагнитных волн возбужденными квантовыми системами под действием внешнего (вынуждающего) излучения. Частота, фаза, поляризация и направление испускаемого и вынужденного излучений совпадают.

Вырождение — в физике заключается в том, что значение некоторой физической величины, характеризующей систему (например, энергии) одинаково для различных состояний системы. Число таких состояний

называется кратностью.

Г

Галактика (греч. — млечный) — Млечный Путь — наша звездная система, включающая звезды, в том числе Солнце со всеми планетами.

Галактический год — промежуток времени, за который Солнечная система совершает один оборот вокруг центра Галактики; составляет около 230 млн лет.

Гамета — половая клетка организма.

Гамильтониан — функция Гамильтона, введена Гамильтоном в 1834 г. для описания движения механических систем; под гамильтонианом понимают квантовомеханический оператор, соответствующий функции Гамильтона в классической физике и определяющий эволюцию квантовой системы.

Гармонические колебания — периодические изменения колеблющейся величины по синусоидальному (косинусоидальному) закону. Любое негармоническое колебание можно, разложив в ряд Фурье, получить в виде суммы гармонических колебаний.

Гармония (греч. — связь, стройность, соразмерность) — соразмерность частей, слияние различных компонентов, явлений, процессов в единое органическое целое с определенным соотношением их частей. В древнегреческой философии — организован-

534

ность Космоса, противостоящая первоначальному хаосу.

Гелиотараксия — раздел биофизики, изучающий влияние возмущений на Солнце, на био- и ноосферу Земли.

Гем — железосодержащее соединение из группы порфиринов; входит в состав сложных белков.

Гемоглобин — красный пигмент крови человека, позвоночных и некоторых беспозвоночных животных. Состоит из белка (глобина) и железотеофирина — гема. Переносит кислород от органов дыхания к тканям и углекислый газ от тканей к дыхательным органам.

Ген (греч. — происхождение) — материальный носитель наследственности, единица наследственной информации, отвечающая за формирование какого-либо признака, способная к воспроизведению и расположенная в определенном участке хромосомы.

Генезис — процесс образования и становления какого-либо природного и социального явления.

Генетика — наука о законах наследственности и изменчивости организмов и методах управления ими.

Генетический дрейф — явление изменения частоты генов в популяциях под действием совершенно случайных факторов.

Генная инженерия — искусственное конструирование генов.

Генетический код — свойственная живым организмам единая система «записи» наследственной информации в молекулах нуклеиновых кислот в виде последовательности нуклеотидов.

Геном — совокупность генов, содержащихся в одинарном наборе хромосом данной растительной или животной клетки.

Генотип — совокупность всех генов организма, локализованных в его хромосомах.

Генофонд — качественный состав и относительная численность разных форм (аллелей) различных генов в популяциях того или иного вида организмов.

Географическая среда — земная природа, включенная в сферу человеческой деятельности.

Геометродинамика — направление в механике, развивающее применение геометрических идей в динамике движения систем.

Геохронология — учение о хронологической последовательности формирования и возрасте горных пород, слагающих земную кору.

Гетеротрофы — организмы, питающиеся органическими веществами.

Гибрид — организм, полученный в результате скрещивания генетически различающихся родительских форм.

Гибридизация — скрещивание разнородных в наследственном отношении организмов.

Гидролиз — реакция обмена (обменного разложения) соединений с водой.

Гидрофильность — способность вещества (материала) смачиваться водой.

Гидрофобность — неспособность вещества (материала) смачиваться водой.

Гипероны (греч. — сверх) — нестабильные барионы с массами, большими массы нейтрона и большим временем жизни по сравнению с ядерным временем.

Гипотеза (греч. — основание, предположение) — научное предположение, выдвигаемое для объ-

яснения какого-то явления и требующее проверки на опыте и теоретического обоснования для того, чтобы стать достоверной научной теорией.

Гликоген — полисахарид, образованный остатками глюкозы; основной запасной углевод человека и животных.

Гликолиз — процесс расщепления углеводов в отсутствие кислорода под действием ферментов.

Глобализация — распространение действия определенного фактора далеко за пределами страны или сферы деятельности.

Глобальный эволюционизм — развитие во времени природы как целого. Все развивается и все влияет на все. Повышение структурной организации, саморазвития и самоорганизации.

Глобула — макромолекула (например, белка), свернутая в клубок.

Глобулярные белки — белки, в молекулах которых полипептидные цепи плотно свернуты в компактные шарообразные структуры — глобулы.

Глубинная экология — отношение к природе с позиций экологической этики, распространяющей моральные принципы на гармонические взаимоотношения человека и природы.

Глюкоза — углевод из группы моносахаридов.

Глюоны — гипотетические частицы с нулевой массой и спином, равным единице, осуществляющие взаимодействия между кварками.

Голография (греч. — весь, полный) — метод получения изображения объекта, основанный на интерференции волн и дающий полную информацию об объекте.

Обычно объект освещают лазе-; ром. Рассеянная волна и исходная (опорная), отраженная от зеркала, попадают на пластину, интерферируют и дают объемное изображение объекта, называемое голограммой.

Гомеостаз (греч. — неподвижность, состояние) — свойство системы поддерживать свои параметры и функции в определенном диапазоне, основанное на устойчивости внутренней среды по отношению к возмущениям внешней среды. В физике — стремление динамической системы вернуться в равновесное состояние.

Гоминиды — семейство приматов, включая человека.

Гомозиготность — однородность наследственной основы организма, происходящего от родителей, сходных по тому или иному признаку.

Гомологичный (греч.) — соответственный, подобный, родственный.

Горизонт событий — поверхность сферы гравитационного радиуса.

Гормоны — биологически активные вещества, вырабатываемые в организме специализированными клетками или органами и оказывающие целенаправленное влияние на деятельность других органов и тканей.

Гравитационный коллапс — катастрофически быстрое сжатие космологических массивных объектов под действием гравитационных сил.

Гравитационный радиус — в теории тяготения радиус сферы Шварцшильда, на который сила притяжения, создаваемая массой, лежащей внутри этой сферы, стремится к бесконечности. Если тело сожмется до размеров, мень-

ших гравитационного радиуса, то никакое излучение (в том числе свет) или частицы не смогут преодолеть поле тяготения и выйти из такой сферы к удаленному наблюдателю. Такие объекты называются черными дырами.

Гравитация (лат. — тяжесть — или тяготение) — универсальное взаимодействие между любыми видами физической материи.

Гравитон — гипотетический квант гравитационного поля, имеющий нулевую массу покоя и заряд.

Градиент (лат. — шагающий) — вектор, показывающий направление в пространстве, наискорейшего изменения данной скалярной величины (поля) g

= grad φ (P), где P — точка пространства. Примеры — градиент температуры, давления, потенциала.

Групповая скорость — скорость переноса энергий группы волн в общем случае негармонических колебаний.

Гуанин — пуриновое основание, содержится в составе нуклеиновых кислот в клетках; одна из четырех «букв» генетического кода.

Гуморальный (лат. — жидкость) — жизненные процессы в организме, связанные с жидкими средами (кровь, лимфа, тканевая жидкость).

Д

Дальнодействие — действие на расстоянии, при котором действие тел друг на друга передается мгновенно через пустоту на любые расстояния без каких-либо посредствующих звеньев.

Дао (кит. — путь) — в даосизме и восточном мистицизме имеет универсальный онтологический смысл: первопричина Вселенной, путь Человека, целостность жизни, непознаваемая разумом и не выражаемая словами.

Движение — способ существования материи; в общем смысле — изменение состояния в результате взаимодействия тел, в геометрии — преобразование пространства, сохраняющее геометрические формы фигур.

Дедукция (лат. — выводение) — вывод по правилам логики от общего к частному. Считается, что если посылки дедукции истинны, то истинны и ее следствия. Дедукция — одно из основных средств доказательства.

Дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК) — молекула генетической информации, образует вещество хромосом и генов, состоит из двух полипептидных цепей, закрученных одна вокруг другой в спираль.

Действие — фундаментальная физическая величина, задание которой как функции переменных, описывающих состояние системы, полностью определяет динамику системы; имеет размерность произведения энергии на время или количества движения на перемещение.

Демон — в общем понимании в греческой мифологии и религии означает божество, способствующее или препятствующее человеку в исполнении его намерений.

Демон Больцмана — жаргонное выражение в термодинамике, иллюстрирующее второй закон термодинамики когда максимуму энтропии соответствует максимальное число способов, и чем большим числом оно достигается, тем выше его вероятность. Если бы эти перестановки на микроуровне совершал бы мифический демон Больцмана, то он в силу

537 своих хаотических действий не сможет распутать возникший беспорядок и вернуться в прошлое.

Демон Дарвина — мифическое существо, управляющее естественным отбором и усиливающее признаки при отборе.

Демон Лапласа — мифическое существо, способное охватить всю совокупность данных о состоянии Вселенной в любой момент времени, которое может точно предсказать, что было в прошлом и будет в будущем.

Демон Максвелла — воображаемое существо, которое предложил Максвелл в качестве нарушителя (волевым порядком) второго закона термодинамики — это существо может «видеть» отдельные молекулы и сортировать их так, что в одной части сосуда оставляет более медленные, а более быстрые пропускает в другую часть сосуда. Это демоническое существо способно вмешиваться в естественный ход событий и давать возможность получать энергию как бы из ничего.

Деструкция (лат. — разрушение) — нарушение, разрушение нормальной структуры чего-либо.

Детерминизм (лат. — определять) — учение об объективной закономерности взаимосвязи и причинной обусловленности всех явлений природы и общества.

Детерминированная система — динамическая система, функционирование которой однозначно определено в пространственно-временном интервале законами классической механики при задании начальных условий.

Детерминированный хаос (динамический хаос) — состояние открытой нелинейной системы, когда возможно появление состояния (бифуркации), в

котором

эволюция системы имеет вероятностный характер. При этом нелинейные системы как бы «выбирают сами» различные траектории развития. Детерминированность проявляется в виде упорядоченного в целом движения (между бифуркациями), а хаос — в непредсказуемости появления этого упорядоченного движения в определенном месте в определенное время.

Деформация (лат. — искажение) — изменение положения точек (частей) твердого тела, при котором меняется расстояние между ними в результате внешнего воздействия.

Дивергенция (лат. — расхождение) — в физике расхождение (обозначается $\text{div } a$) потока (вещества, энергии) в пространстве, описывающее меру стоков и истоков внутри какого-то объема. В биологии — расхождение признаков и свойств первоначально близких групп организмов в ходе эволюции. В языкознании — размежевание диалектов одного языка и превращение их в самостоятельные языки. В общем смысле — расхождение величин, характеризующих явление или процесс в ходе структурных изменений в системе.

Динамическая система — математическое представление реальных систем (физических, химических, биологических и любых других), эволюция которых во времени на бесконечном интервале времени однозначно определена начальными условиями.

Дискретность (лат. — разделенный, прерывистый) — прерывность.

Дискурсивный — логический, рассудочный; опосредованный в отличие от чувственного, непосредственного, интуитивного.

538 **Дискурсия** (лат. — рассуждение, довод) — логическое рассуждение, понятие; логический довод.

Дисперсия (лат. — отклонение) — в математике — отклонение от среднего. В теории вероятностей — дисперсия случайной величины есть математическое ожидание квадрата отклонения случайной величины от ее математического ожидания. В физике — зависимость фазовой скорости волн в среде от частоты их колебаний.

Диссимиляция — распад в организме сложных систем на простые, сопровождающийся освобождением энергии. В единстве с ассимиляцией образует обмен веществ.

Диссипативные структуры — пространственно—временная структура, упорядоченность и когерентность которой определяется достаточным потоком внешней энергии и интенсивной диссипацией, состояния частичной упорядоченности вдали от равновесия.

Диссипация (лат. — рассеяние) — переход энергии упорядоченного движения в энергию хаотического движения (теплоту).

Дифракция (лат. — разломанный) **волн** — огибание волнами препятствий, имеет место, если размеры препятствия порядка длины волны. В более общем смысле — любое отклонение от законов геометрической оптики в неоднородных средах.

Дифференциальное исчисление — раздел математики, в котором изучаются понятия производной и дифференциала и способы их применения к исследованию функций.

Дихотомия (греч. — разделение надвое) — способ классификации путем разбиения на пары соподчиненных или противоположных по смыслу элементов (легкий — тяжелый, хороший — плохой и т.д.).

Дырка — в физике квазичастица (фермион), наряду с электроном проводимости используется для описания электронной системы.

Е

Естественный отбор — особый механизм выживания и воспроизведения организмов в природе, отбор в ходе эволюции наиболее приспособленных к условиям среды и гибель неприспособленных, следствие борьбы за существование.

Ж

Живое вещество — в концепции И.В. Вернадского совокупность всех живых организмов биосферы Земли, растений и животных, включая человечество, выраженная в элементарном химическом составе, массе и

энергии.

3

Закон — необходимое, существенное, устойчивое, повторяющееся отношение между явлениями в природе и обществе, объективная связь явлений и предметов.

Закон Геккеля — «Онтогенез повторяет филогенез», т.е. стадии, которые проходит организм в процессе своего развития, повторяют эволюционную историю той группы, к которой он относится.

Закон Гесса — «При химическом процессе выделяется всегда одно и то же количество тепла, независимо от того, протекает ли процесс в одну стадию или несколько стадий».

539
Закон диверсификации — процесс развития характеризуется непрерывным усложнением и ростом разнообразия организационных форм материи.

Закон Каминкера (в экологии) — «Ничто не дается даром!»

Закон кратных отношений — «Если два элемента образуют друг с другом несколько химических соединений, то масса одного из элементов, приходящихся на одну и ту же массу другого, относятся между собой как небольшие целые числа» (Дальтон, 1803 г.).

Закон Менделя (наследственности) — закономерности распределения в потомстве наследственных факторов.

Закон Мерфи — все, что может испортиться, портится.

Закон Парето — «При малых значениях ВВП на душу населения его рост ведет к социальному неравенству, а увеличение этого показателя после достижения критического значения уменьшает различие в индивидуальных доходах».

Закон постоянства состава — «Химическое соединение имеет постоянный состав независимо от способа получения» (Пруст, 1806 г.).

Законы сохранения — законы, согласно которым численные значения некоторых физических величин (интегралы движения в механике) не изменяются с течением времени при различных процессах (законы сохранения энергии, импульса, момента количества движения, электрического и барионного заряда и ряд других).

Закон сохранения массы — «Масса веществ, вступивших в реакцию, равна массе веществ, образующихся в результате реакции» (Ломоносов, 1748 г.).

Закон сохранения энергии — «Энергия не возникает из ничего и не исчезает, а из одного вида переходит в другой в эквивалентных количествах» (Майер, 1840 г.).

Закон стоимости — по Марксу производство и обмен товаров осуществляется на основе их стоимости.

Закон сцепления генов (Моргана) — гены, находящиеся в одной хромосоме, сцепляются и наследуются совместно.

Закон транзитивного полиморфизма — перенос отдельных качеств системы через этапы структурогенеза.

Закон эквивалентов — «Вещества взаимодействуют между собой, т.е. соединяются друг с другом или замещают друг друга в массовых количествах, пропорциональным их эквивалентам».

Закон Харди — Вейберга — «Идеальная популяция стремится сохранить равновесие концентраций генов при отсутствии факторов, изменяющих его».

Закон Эшби (необходимого разнообразия) — «Информацию нельзя передать в большем количестве, чем это позволяет количество разнообразия».

Заряд (электрический) — величина, определяющая интенсивность электрического взаимодействия заряженных частиц, источник электромагнитного поля. Заряд любых заряженных тел — целое кратное элементарного электрического заряда. Полный электрический заряд изолированной системы сохраняется при всех взаимодействиях.

Зигота — биологическая клетка, образующаяся в результате слияния двух половых клеток в процессе оплодотворения у животных и растений.

540
Золотое сечение — (золотая пропорция, деление в крайнем и среднем отношении, гармоническое деление) — деление отрезка на две неравные части

в крайнем и среднем отношении так, что меньший отрезок деления относится к большему, как больший к целому (или наоборот); предел, к которому стремится отношение двух средних чисел в любом протяженном аддитивном ряду. Приблизленно это число равно $\Phi = 1,618034$, установлено Фибоначчи (1204 г.) из рекуррентного ряда 0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144... Название Sectio aurea (золотое сечение) введено Леонардо да Винчи в эпоху Ренессанса. Это среднепропорциональное отношение называли Sectio divina — божественной пропорцией. Отражает гармонию законов развития природы, Вселенной и общества. В настоящее время широко используется в естественных и гуманитарных представлениях современного естествознания.

И

Игра — форма свободного самовыражения человека, не связанная с достижением какой-либо цели, доставляющая радость и удовольствие сама по себе. Игровое поведение характерно для сложных, открытых, неравновесных структур.

Идентичность (лат. — тождественный, одинаковый) — одинаковость, тождественность.

Идея — понятие, представление, отражающее действительность в сознании человека и выражающее его отношение к окружающему миру; главная мысль.

Идиосинкразия — повышенная чувствительность к определенным веществам или воздействиям.

Иерархия (греч. — священный и власть) — расположение частей или элементов целого в порядке от высшего к низшему (или наоборот). В синергетике — структурная организация сложных систем, упорядочивающая взаимодействия между уровнями в порядке от высшего к низшему.

Изменчивость — изменение и превращение организмов под действием внешней среды.

Изоляция (фр. — отделение) — возникновение барьеров, препятствующих свободному скрещиванию организмов, одна из причин разобщения и углубления различий между близкими формами и образования новых видов.

Изомеры (греч. — в равных долях) — химические соединения, одинаковые по массе и составу, но различающиеся по строению и свойствам.

Изоморфизм (греч. — равной формы) — способность различных, но родственных по химическому составу веществ кристаллизоваться в одинаковых структурах при одном типе химической связи, способность атомов различных веществ замещать друг друга в кристаллических решетках, образуя соединения переменного состава (твердые растворы замещения, вычитания, отклонения от стехиометрии).

Изотопы (греч. — равное место) — разновидности одного и того же химического элемента, отличающиеся массой атомов. Ядра атомов изотопов содержат равное число протонов, но различаются числом нейтронов. Изотопы занимают одно и то же место в периодической системе элементов, бывают стабильными и радиоактивными.

Изотропность (греч. — равного свойства) — независимость свойств среды от направления, одинаковость свойств пространства по всем направлениям.

Иммунитет — способность организма распознавать и разрушать попавшие в него чужеродные элементы; невосприимчивость к какому-либо заболеванию.

Иммуноглобулины (антитела) — белковые молекулы, циркулирующие в организме и отвечающие за распознавание чужеродных для данного организма элементов.

Импульс (лат. — толчок, удар) — толчок, побуждение, стремление, побудительная причина. В физике — мера механического движения, количество движения.

Импринтинг (запечатление) — в этологии специфическая форма запоминания родителей у животных и человека, фиксация в их памяти отличительных признаков объектов и их поведения.

Инверсия (лат. — перестановка) — нарушение обычного порядка, перестановка, преобразование порядка следования.

Инверсия заселенности — неравновесное состояние вещества, при котором заселенность верхнего уровня выше, чем нижнего; лежит в основе работы лазеров.

Инволюция (лат. — свертывание) — утрата в эволюции отдельных органов, Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

атрофия органов при патологии и старении.

Ингибиторы — вещества, замедляющие химические процессы.

Инерция — в механике свойство тела сохранять покой или равномерное движение в отсутствие внешних воздействий. В общем смысле — свойство сохранять какое-то состояние.

Инерциальная система отсчета — система, для которой выполняются классические законы динамики, и в частности законы сохранения.

Инновация — новообразование, нововведение; обновление, создание новых технологий.

Инсулин — белковый гормон животных и человека, вырабатываемый поджелудочной железой, понижает содержание сахара в крови.

Инстинкт — врожденная способность совершать целесообразные действия по безотчетному побуждению.

Интегральное исчисление — раздел математики, в котором изучаются понятие интеграла, его свойства и методы вычислений; возникновение его связано с двумя задачами: восстановление функции по ее производной и вычисление площадей; широко используется в естественных и технических науках. Интегральное исчисление наряду с дифференциальным составляет основу математического анализа.

Интеллект (лат. — познание, понимание, рассудок) — врожденная способность к глубокому и всеохватывающему пониманию сущности явлений, рациональность познания, способ мышления.

Интерферон — защитный белок, вырабатываемый клетками млекопитающих и птиц в ответ на заражение их вирусами.

Итегрируемые системы — такие системы, где с помощью канонического преобразования можно, преобразовав в другие виды, не учитывать потенциальную энергию.

Интерференция — пространственное чередование усиления и ослабления в спектре волн при наложении когерентных волн в противоположных фазах.

542 **Ионизация** (греч. — ион — идущий) — превращение нейтральных атомов и молекул в заряженные ионы.

Ионосфера — верхние слои атмосферы от 50 до 80 км, содержит большое число свободных ионов и электронов.

Информация — сведения об окружающем мире и протекающих процессах, получаемые органами чувств человека или устройствами и передаваемые людьми устно, письменно и техническими средствами. Свойство материи, благодаря которому она в лице человека познает самое себя; служит мостом между живой и неживой природой, показателем развития материи.

Инфразвук (лат. — ниже звука) — не слышимые человеческим ухом упругие колебания низкой частоты (ниже 16 Гц), слабо поглощаемые средой и поэтому распространяющиеся на большие расстояния. Возникают при землетрясениях, цунами, естественных и техногенных взрывах.

К

Каноническое (греч. — норма, правило) — распределение, или распределение Гиббса, распределение вероятностей различных состояний макроскопической системы с постоянным объемом и постоянным числом частиц, находящейся в равновесии с окружающей средой заданной температуры. Если система может обмениваться частицами со средой, то такое распределение называется большим каноническим распределением, для которого все микросостояния системы с данной энергией равновероятны.

Карбоксильная группа — боковая группа в аминокислоте, образующаяся из простой молекулы CO_2 .

Катаболизм — совокупность реакций обмена веществ в организме, заключающихся в распаде сложных органических веществ.

Катализм (греч. — разрушение) — возбуждение химических реакций или изменение скорости их протекания посредством особых веществ — катализаторов, не участвующих непосредственно в реакции, но изменяющих ее ход.

Катастрофа (греч. — переворот) — в общем случае — внезапное бедствие; событие, влекущее за собой тяжелые последствия. В теории самоорганизации и синергетике — скачкообразное изменение, возникающее в виде внезапного

ответа системы (скачок) на плавные изменения внешних условий. В нелинейной механике — раздел теории катастроф, рассматривает задачи, связанные со скачкообразным изменением траекторий движений при малых управляющих параметрах.

Квазар (англ. — квазизвездный источник радиоизлучения) — космический объект большой удаленности от Солнечной системы, обладающий интенсивным радиоизлучением, источник огромной энергии которого неизвестен.

Квант — частица — носитель свойств какого-либо физического поля (квант электромагнитного поля — фотон).

Квантовая электродинамика — квантовая теория электромагнитного поля и его взаимодействия с квантовыми заряженными частицами.

Кварки — гипотетические элементарные частицы с дробными электрическими и барионными зарядами, спином $1/2$, комбина-

543

ция которых с антикварками образует адроны.

Кератины — фибриллярные белки, составляющие основу рогового слоя кожи, волос, перьев, ногтей.

Кибернетика (греч. — искусство управлять) — наука об общих принципах управления и передачи информации в машинах, живых организмах и обществе.

Клетка — элементарная живая система, основа строения и жизнедеятельности всех животных и растений.

Клетчатка (целлюлоза) — полисахарид, образованный остатками глюкозы.

Клон — ряд следующих друг за другом поколений наследственно однородных потомков одной исходной особи (растения, животного, микроорганизма), образующихся бесполовым путем. Группа генетически идентичных клеток.

Коацервация — возникновение в растворе высокомолекулярных соединений капель (коацервантов), обогащенных растворенным веществом.

Когезия — сцепление молекул в твердых и жидких телах за счет межмолекулярного взаимодействия.

Когерентность (лат. — находящийся в связи) — согласованное протекание во времени нескольких колебательных или волновых процессов. Если разность фаз 2 колебаний остается постоянной или меняется по строго определенному закону, то такие колебания называются когерентными. Если разность меняется беспорядочно и быстро по сравнению с периодом колебаний, то такие колебания являются некогерентными.

Когерентные структуры — области пространства, где соблюдаются условия когерентности; согласованное протекание процессов.

Когнитивный — познавательный.

Код — совокупность знаков (символов) и система определенных правил, с помощью которых информация может быть закодирована в виде набора этих символов.

Кодон — триплет соседних оснований в ДНК и РНК, кодирующий определенную аминокислоту. **Коллаген** — фибриллярный белок, составляющий основу соединительной ткани животных (сухожилие, кость, хрящ) и обеспечивающий ее прочность.

Коллективные процессы (взаимодействие) — взаимодействие, охватывающее большое количество частиц физической системы и проявляющееся в их согласованном движении.

Коллоиды — дисперсные системы с частицами размером 10^{-5} — 10^{-7} см.

Коммуникация (лат. — делаю общим, связываю) — связь объектов и организмов, общение, взаимная передача и восприятие информации.

Компартменты — отсеки в цитоплазме клетки, заполненные водным содержимым.

Комплексное пространство — пространство комплексных чисел, вида $z = x + iy$, где x и y — действительные числа, а i — так называемая мнимая единица.

Комплементарность (лат. — дополнение) — в молекулярной биологии универсальный химический механизм матричного хранения и передачи генетической информации, в биохимии — взаимное соответствие, обеспечивающее связь дополняющих друг друга структур

544

(макромолекул, радикалов) и определяемое их свойствами. Комплементарные структуры подходят друг другу как ключ к замку (Дж. Уотсон).

Комплементарный — взаимное соответствие в химическом строении двух макромолекул, подходящих друг другу, как ключ к замку, обеспечивающее их взаимодействие.

Конвекция (лат. — доставка) — перемещение макроскопических частей среды (газа, жидкости), приводящее к переносу массы, вещества, тепловой энергии и изменению других физических параметров, характеризующих среду.

Конвергенция — возникновение сходства в строении и функциях относительно далеких по происхождению групп организмов в процессе эволюции. Результат обитания в сходных условиях и одинаково направленного естественного отбора; сближение, слияние, взаимопроникновение.

Континуум (лат. — непрерывное, сплошное) — сплошная материальная среда, свойства которой изменяются в пространстве непрерывно.

Контрадикция — логически противоречивое высказывание.

Контринтуитивный принцип — предположение, что сложные системы функционируют таким образом, что это противоречит принципиально интуиции человека. Поэтому предполагается, что машины могут дать более точный прогноз их поведения, чем человек.

Конфайнмент — удержание (не вылет) цветных кварков и глюонов внутри адронов.

Конфермент — вещество, необходимое для обеспечения каталитической активности данного фермента.

Конформация — пространственная группа белка.

Концентрация — сосредоточение, скапливание, собирание кого-либо, чего-либо в каком-нибудь месте пространства.

Концепция (лат. — понимание, система) — совокупность наиболее существенных элементов теории, система взглядов, то или иное понимание явлений и процессов, изложенные в конструктивной для понимания форме; алгоритм решения проблемы.

Корпускула (лат. — частица) — частица в классической физике.

Космизм — учение о связи всех процессов и организмов на Земле с Космосом, человек часть Природы.

Космология — изучение и представление о Вселенной как едином целом.

Космос (греч.) — синоним астрономического определения Вселенной. Понятие было введено Пифагором для обозначения единства Мира, в противоположность хаосу.

Космогенез — процесс изучения происхождения и эволюции космических объектов.

Космологические парадоксы — противоречия (затруднения) при распространении законов классической физики на Вселенную в целом. Таких парадоксов два: гравитационный и фотометрический. Космологический принцип Галилея — бесконечный Космос с конечной плотностью массы должен в каждой точке давать бесконечную силу притяжения — привел к гравитационному парадоксу: как сочетать стабильность и существование бесконечной Вселенной с ньютоновским тяготением, со-

545
гласно которому по законам классической механики бесконечно возрастающее тяготение должно приводить к бесконечным скоростям и ускорениям. Это, в свою очередь, должно было бы приводить к возрастанию скорости с увеличением расстояния, что реально не наблюдается.

Фотометрический парадокс (парадокс Ольберса) в том, что при бесконечной Вселенной с бесконечным числом звезд небо должно быть равномерно ярким, в то время как реально между звездами наблюдаются темные промежутки. Оба парадокса преодолеваются релятивистской космологией. В частности, последний парадокс преодолевается в модели расширяющейся Вселенной введением горизонта видимости для каждого наблюдателя. Горизонт видимости (горизонт событий) разделяет мир на видимый и невидимый (например, черные дыры). Поэтому наблюдатель видит только конечное число звезд в ограниченной части Вселенной (в радиусе около 13 млрд световых лет).

Косное вещество — вещество, образовавшееся без участия живых

организмов (по В.И. Вернадскому).

Козволюция — совместная эволюция нескольких систем, например человека и биосферы, Природы в целом.

Коэффициент интеллектуальности — показатель умственного развития, уровня знаний и осведомленности, полученный на основе различных тестов.

Красное смещение — увеличение длин волн линий в спектре излучения источника (смещение линий в сторону красной части спектра) по сравнению с линиями эталонных спектров, возникает, когда расстояние между источником излучения и приемником увеличивается. По красному смещению излучения космических объектов подтверждена модель расширяющейся Вселенной.

Креативный — творческий, созидательный.

Креатин — азотсодержащая органическая кислота.

Кристаллическая решетка — пространственное периодическое расположение атомов в кристалле; точки, где расположены атомы или ионы, называются узлами.

Критерий (греч. — средство для суждения) — признак, на основании которого производится оценка, определение или классификация чего-либо, мерило оценки.

Кумуляция (лат. — скопление) — эффект накопления, суммирование направленного действия (например, направленный взрыв); в медицине — накопление в организме и суммирование действия лекарственных (или отравляющих) веществ.

Л

Лабильность (лат. — скользящий, неустойчивый) — неустойчивость, изменчивость.

Ландшафт — природный географический комплекс. Его компоненты: рельеф, климат, почвы, воды, растительный и животный мир — взаимосвязаны и образуют неразрывную систему.

Лазер (англ.) — оптический квантовый генератор, дающий возможность усиливать свет в результате вынужденного излучения источник оптического когерентного излучения с высокой направленностью и большой плотностью энергии.

Ламинарное течение (лат. — пластинка, полоска) — течение, при

546

котором жидкость или газ движется слоями без перемешивания.

Левитация — предполагаемая магическая способность человеческого организма к преодолению земного притяжения и перемещению предметов в пространстве.

Лейкоциты — белые кровяные клетки крови человека и животных, поглощают бактерии и отмершие клетки, вырабатывают антитела.

Лептоны (греч. — легкий) — элементарные частицы со спином 1/2, не участвующие в ядерных взаимодействиях. К лептонам относятся: электроны, мюоны и лептоны, электронное, мюонное и лептонное нейтрино и их античастицы. Все они участвуют в слабых взаимодействиях.

Лестница Вайскопфа (квантовая лестница) — квантовая лестница природы, основа методологического подхода современной физики микромира. Согласно Вайскопфу имеется 3 уровня квантовой организации: ядерный, атомный и молекулярный; живое занимает 4-ю ступень. Каждая из ступеней представляет собой отдельную область, и ступени четко разделяются особенностями материальных структур (элементарные частицы, ядра, атомы, молекулы и кристаллы) и границами энергий переходов между ними и типичными размерами (ядерная — 10^6 эВ и 10^{-12} см, атомная — 1 эВ и 10^{-8} см, молекулярная меньше — 1 эВ и 10^{-4} — 10^{-6} см). Образ лестницы, а не наклонной плоскости используется из-за дискретности скачков при переходе от одной области к другой.

Лизосомы — клеточные структуры, содержащие ферменты, способные расщеплять белки, нуклеиновые кислоты, полисахариды.

Линейная функция — функция вида $y = ax + b$, основное свойство которой: приращение функции пропорционально приращению аргумента, a и b — постоянные величины. Графически линейная функция изображается прямой.

Липиды — группа органических веществ, включающая жиры и жироподобные вещества. Входят в состав всех живых клеток.

Литосфера — верхняя твердая оболочка Земли, располагающаяся на мантии.

Локус — место локализации определенного гена в хромосоме; местоположение чего-либо.

Лукартивный — доходный, прибыльный.

М

Магнитный момент — векторная величина, характеризующая вещество как источник магнитного поля.

Макромолекула — молекула полимера, содержащая большое число мономеров, соединенных химическими связями.

Мантия — в геологии оболочка «твердой» Земли, расположенная между земной корой и ядром Земли. В биологии складка кожи у некоторых беспозвоночных, охватывающая все тело животного или его часть. В общепринятом смысле — широкая длинная (до земли) одежда (цари, деятели церкви, адвокаты, в торжественных случаях — члены академий наук).

Марковские процессы — специальные виды случайных процессов, не учитывающих предысторию процесса.

Масса — одна из основных физических характеристик материи, определяющая ее инерционные и гравитационные свойства.

547

В механике — коэффициент пропорциональности *между* действующей на тело силой и ускорением: величина, измеряющая количество вещества в теле.

Масса покоя частицы (тела) — масса частицы в системе отсчета, в которой она покоится.

Масштабная инвариантность — в теории фракталов свойство геометрической фигуры (тела) выглядеть в мелком масштабе так же, как в крупном. Если увеличивать *масштаб мелкого рисунка (узора)* тела, то его детали будут такими же, как и на рисунке большого масштаба.

Математическое ожидание — понятие теории вероятности, среднее значение, является характеристикой распределения значений случайной величины. Математическое ожидание случайной величины X , которая может принимать значение $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ с вероятностями $P_1, P_2, \dots, P_k$, определяется как $EX = \sum P_k X_k$. Если же X — непрерывная случайная величина с функцией плотности f , то $EX = \int xf(x) dx$.

Материя (лат.) — объективная реальность, которая дана человеку в его ощущениях и существует независимо от них, некая субстанция, основа всех реально существующих объектов и систем, их свойств, связей между ними и форм движения, есть то, из чего состоят все тела. Формы существования материи — пространство и время.

Матрица (нем.) — математическое представление совокупности величин a в виде m строк и n столбцов. Используется в математике, физике и других науках, в частности, в биологии при исследовании сложных явлений и процессов, которые можно описать m линейными уравнениями с n неизвестными.

Матричный анализ — метод исследования взаимосвязей между объектами с помощью представлений их характеристик в виде матриц, т.е. матричного моделирования.

Мезоны — нестабильные элементарные частицы с нулевым или целым спином, принадлежащие к классу адронов.

Межклеточное вещество — бесструктурная аморфная масса, состоящая из тончайших нитевидных структур (фибрилл), развитая в соединительных тканях и определяющая их структуру.

Мейоз — способ деления клеток, в результате которого происходит уменьшение (редукция) числа хромосом в дочерних клетках.

Меланин — пигмент черного и коричневого цвета.

Мембрана (лат. — перепонка) — в технике тонкая пленка, закрепленная по контуру. В теории упругости — бесконечно тонкая пленка, модуль упругости которой в перпендикулярном к ней направлении равен нулю. В биологии — белково-липидные структуры молекулярных размеров, расположенные на поверхности клеток и внутриклеточных частиц (ядра, митохондрий и т.д.). Обладая избирательной проницаемостью, регулируют в клетках концентрацию солей, сахаров, аминокислот и других продуктов обмена веществ.

Метаболизм (греч. — перемена, превращение) — свойство открытых систем к обмену веществом и энергией как внутри себя, так и с окружающей средой. В биологии — совокупность процессов ассимиляции и *диссимиляции*

548

при обмене веществ в животных, растениях и микроорганизмах.

Метагалактика — часть Вселенной, доступная современным методам исследования и включающая в себя галактики и другие космические объекты.

Метаморфизм — процесс существенного изменения структуры, текстуры и минерального состава горных пород под воздействием температуры и давлений.

Метаморфоз — видоизменение основных органов после эмбрионального развития (например, превращение головастика в лягушку, личинки — в бабочку и т.д.)

Метафизика («после физики») — название философских сочинений Аристотеля о началах бытия, помещенных после его трактатов по физике; учение, рассматривающее прежде всего вещи и явления, а не их изменения и зависимость друг от друга; абсолютизация познавательного процесса; философское учение о недоступных (неизведанных) сверхчувствительных формах бытия.

Метод (греч. — путь) — совокупность определенных правил, приемов, норм познания и действия.

Метод наименьших квадратов — метод оценки погрешностей измерения.

Механицизм — философское учение, сводящее все качественное разнообразие форм движения материи к механическому движению, все сложные закономерности движения — только к законам механики.

Микробы — общее название всех микроорганизмов — бактерий и грибов, исключая микроскопические водоросли и вирусы.

Микросостояния — в классической механике определяются заданием координат и импульсов всех частиц системы. В квантовой механике — состояния, определяемые набором соответствующих квантовых чисел частиц.

Микрочастица — частица весьма малой массы (элементарные частицы, ядра, атомы, молекулы), движение которых описывается квантовой механикой.

Миозин — мышечный белок.

Митоз — одна из форм клеточного цикла, на которой реплицированные хромосомы распределяются по дочерним клеткам.

Митохондрия — клеточная органелла, в которой осуществляется синтез АТФ у эукариот.

Мировые линии — линии, обозначающие движение в пространстве— времени, аналог траекторий в пространстве.

Мода — в процессах самоорганизации коллективные формы движения, приводящие к отбору наиболее устойчивых, и спонтанному возникновению макроскопических структур.

Молекула (лат. — уменьшительное от массы) — наименьшая частица вещества, обладающая всеми его химическими свойствами.

Момент (лат. — движущаяся сила, толчок) — понятие теории вероятностей, характеристика распределения случайных величин.

Момент импульса (момент количества движения) — мера механического движения поля или системы относительно центра или оси $L = mvr$.

Момент инерции — характеристика распределения масс в теле при вращательном движении, аналог массы при поступательном движении.

549

Момент силы — величина, характеризующая вращательный эффект силы при действии ее на тело, аналог силы при поступательном движении.

Мономер (моно... и греч. — часть) — вещество, молекулы которого способны реагировать между собой или с молекулами других веществ, образуя полимер.

Моносахариды — простые углеводы, содержащие гидроксильные, альдегидные или кетонные группы.

Монофилия — происхождение группы организмов от единого общего предка.

«Морской кварк» — вырванная из глубин вакуума пара кварк — антикварк.

Морфоген — химическое вещество, инициирующее морфологическое развитие организма.

Морфогенез — возникновение и направленное развитие органов, систем и частей тела организмов как в индивидуальном, так и историческом развитии.

Мутагенез — процесс возникновения наследственных изменений — мутаций, появляющихся спонтанно или вызываемых мутагенами.

Мутации — стойкие изменения наследственных структур живой материи, ответственных за хранение и передачу генетической информации.

Н

Наследственность — свойство организмов повторять в ряду поколений сходные типы обмена веществ и индивидуального развития в целом.

Натурфилософия — философия природы, особенностью которой является преимущественно умозрительное истолкование природы, рассматриваемой в ее целостности; в Древней Греции — единая наука, объясняющая Мир.

Наука — динамическая система объективно истинных знаний о существующих связях действительности, одна из форм общественного сознания, включает как деятельность по получению знаний, так и ее результат — сумму знаний, лежащих в основе научной картины мира.

Научная картина мира — системные научные представления о строении мира, характеристиках, закономерностях и тенденциях его эволюции.

Научная революция — радикальное изменение всех элементов научного знания, приводящее к смене научной картины мира.

Невесомость — состояние, при котором действие тел не вызывает взаимных давлений и деформаций.

Неверифицируемость — отсутствие необходимости установления истинности воспринятого.

Неголономные системы, неголономные связи — системы, в которых накладываются ограничения на изменение скорости тел и объектов.

Негэнтропия — мера упорядоченности системы, отрицательная энтропия.

Нейрон (греч. — нерв) — нервная клетка.

Нейтрино (итал. — уменьшительное от нейтрон) — стабильная незаряженная элементарная частица со спином $1/2$, относящаяся к лептонам.

Нейтрон (англ.) — нейтральная элементарная частица со спином $1/2$, относящаяся к барионам, вместе с протонами образуют ядра атомов.

550

Нейтронная звезда — космический объект, вещество которого состоит в основном из нейтронов. Нейтронизация вещества связана с гравитационным коллапсом и вспышкой его как сверхновой звезды.

Неинерциальные системы — системы отсчета, движущиеся относительно друг друга с ускорением или замедлением.

Нелинейность — разнокомпонентность системы, при которой нарушается принцип суперпозиции и результат каждого из воздействий в присутствии другого окажется иным, чем в случае его отсутствия; многовариантность, альтернативность эволюции, ускорения темпов развития, инициирование процессов быстрого нелинейного роста.

Нелинейные системы — системы, процессы в которых описываются нелинейными дифференциальными уравнениями. Свойства и характеристики зависят от их состояния, при нелинейности процессов наблюдается ускорение темпов развития.

Нелинейные уравнения — уравнения, содержащие коэффициенты, зависящие от среды, они могут иметь несколько качественно различных решений.

Необратимые процессы — физические процессы, в которых система проходит через неравновесные состояния (неоднородности распределения плотности вещества, температуры, давления, концентрации и т.д.). Неоднородность системы приводит к необратимым процессам.

Неравновесные процессы (состояния) — физические процессы, которые самопроизвольно могут протекать только в одном направлении — в сторону равномерного рас-

пределения вещества, теплоты и т.д. (диффузия, теплопроводность, вязкое течение жидкости, газа).

Неравновесные фазовые переходы — переходы из одной фазы в другую в неравновесных системах или условиях.

Нервы — шнуровидные тяжи нервной ткани, образованные нервными волокнами, связывают мозг и нервные узлы с другими органами и осуществляющие координацию функций организма и опосредующие его реакцию на различные воздействия.

Неустойчивости Тэйлора — возникновение вихрей в жидкости между двумя вращающимися цилиндрами, жидкость движется то внутрь, то вовне, пример возникновения упорядоченного движения из хаотического.

Ноосфера (греч. — сфера разума) — в учении В.И. Вернадского — часть биосферы, преобразованная человеческой мыслью и трудом в качественно новое состояние — сфера Разума. Термин был введен Леруа в 1924 г. на семинаре Бергсона в Париже, где Вернадский выступал с докладом, впоследствии использовался Тейяр де Шарденом и другими, в настоящее время широко используется в современном естествознании. Для ноосферы характерна тесная взаимосвязь законов природы, мышления и социально-экономических законов, в ней разумная человеческая деятельность становится определяющим фактором динамики общества и природы, когда разум имеет возможность направлять развитие биосферы в интересах человека, его будущего.

Ноумен — термин, означающий, в противоположность фено-

551

мену, сущность постигаемого только умом.

Нуклеотид — фосфорный эфир нуклеозида; мономер, состоящий из основания (пуринового или пиримидинового), углевода (рибозы или дезоксирибозы) и фосфорного остатка. Является составной частью нуклеиновых кислот. ДНК и РНК — это полинуклеиды полимеризации нуклеотидов.

Нуклеозид — нуклеотид без фосфатной группы.

Нуклеиновые кислоты — высокомолекулярные органические соединения, образованные остатками нуклеотидов; постоянная и необходимая составная часть всех живых систем, играющая ведущую роль в передаче наследственных признаков и свойств организма и биосинтезе белков.

Нуклон (лат. — ядро) — общее название протона и нейтрона — частиц, из которых построены ядра.

О

Обменное взаимодействие —

квантовый эффект взаимного влияния тождественных частиц, отражающий свойства симметрии относительно перестановки пары в системе тождественных частиц.

Обратная связь — воздействие результатов функционирования какой-либо системы (объекта) на характер функционирования. Положительная — усиливает функционирование и может приводить к неустойчивости, отрицательная — ослабляет функционирование и стабилизирует его.

Обращение времени — математическая операция замены времени в уравнениях движения, описывающих эволюцию физической системы.

Объект — в философии всякое явление, существующее независимо от человеческого сознания. В общем смысле — предмет, явление, которое человек пытается познать и на которое направлена его деятельность.

Объективная истина — независимое от человека и человечества содержание знания.

Окислительно-восстановительные реакции — химические реакции, при которых происходит перенос электронов.

Ойкумена — заселенная человеком часть Земли, освоенная им.

Окружающая среда — совокупность объектов, с которыми какая-либо система может вступать во взаимодействие; совокупность внешних условий, влияющих на любую систему.

Онтогенез (греч. — образование сущего) — индивидуальное развитие организмов, охватывающее все изменения от зарождения до смерти.

Оптическая активность — свойство некоторых веществ вызывать вращение плоскости поляризации проходящего сквозь них плоскополяризованного света.

Органеллы — находящиеся в клетке субструктуры, выполняющие те или иные специфические функции.

Органогены — химические элементы, входящие в состав органических веществ.

Органоиды — постоянные специализированные структуры в клетках животных и растений.

Основания — класс химических соединений, характеризующихся диссоциацией в водном растворе с образованием иона **ОНх**.

Освещенность — величина светового потока, падающего на единицу поверхности.

552

Осмоз (греч. — толчок, давление) — односторонняя диффузия растворителя через полупроницаемую перегородку (мембрану), отделяющую раствор от чистого растворителя.

Открытые системы — системы, которые могут обмениваться веществом, энергией и информацией с окружающей средой.

П

Палеолит — первый период каменного века, время ископаемого человека, который пользовался каменными орудиями труда.

Палеонтология — наука о вымерших растениях и животных.

Память — способность сохранять и воспроизводить в сознании прежние впечатления, опыт, восполнимый и хранящийся в сознании.

Пангея — гипотетический суперконтинент, объединяющий в палеозое и начале мезозоя все современные материки.

Панспермия — гипотеза о расположении во Вселенной зародышей живых существ появление жизни на Земле в результате переноса с других планет неких зародышей жизни.

Парадигма (греч. — пример, образец) — научная теория, воплощенная в системе понятий, выражающих существенные черты действительности, исходная концептуальная модель постановки проблем и их решения, методов исследования, господствующих в течение определенного времени в научном сообществе, и дающих представление о мире. Смена парадигм происходит в ходе научных революций.

Парадокс (греч. — неожиданный, странный) — неожиданное, непривычное, расходящееся с имеющимися знаниями или традициями утверждение, рассуждение или вывод. В логике — противоречие, полученное в результате внешне логически правильного рассуждения, но приводящее к взаимно противоречащим заключениям. В общем смысле — необычные явления в природе, противоречащие логическому развитию событий, или неординарные умозаключения в теории, не поддающиеся логическому объяснению.

Парадокс времени — противоречие, возникающее из разных выводов классической механики с ее обратимостью времени (и в прошлое, и в будущее) и «стрелой времени» — направленностью хода времени из данных неравновесной термодинамики, биологии, истории, геологии и других наук.

Парадокс Левинталя — как за очень короткое время полимерная цепь находит нужный способ укладки из огромного числа возможных способов. С обычной точки зрения это время должно быть бессмысленно большим, больше, чем возраст Вселенной.

Парадокс (принцип) развития в биологии — невозможность объяснить высший уровень развития на основе низшего, так как любой более высокий структурный уровень живого непременно содержит определенные новые качества, которыми не обладают низшие, т.е. нельзя напрямую вывести высшее из низшего.

Парадокс Форстера — устойчивость технических систем уменьшается, а биологических — возрастает с ростом их сложности.

Паразит — животный или растительный организм, живущий на поверхности или внутри другого

553

организма и питающийся за его счет.

Параметр — величина, характеризующая какое-либо свойство процесса, явления или системы.

Параметр порядка — характеризует состояние неустойчивости самоорганизующейся системы, главные степени свободы, выделившиеся в процессе эволюции, некие ведущие переменные.

Паранаука (псевдонаука) — научные предрассудки и суеверия, различные формы наукообразной деятельности, направленные на изучение паранормальных явлений.

Паранормальные явления — необычные явления, пока не объясняемые наукой, достоверность их не подтверждена современной наукой.

Парафин — воскоподобное вещество, смесь предельных углеводородов определенного состава.

Паренхима — у растений основная ткань из клеток более или менее одинакового размера, у животных — филогенетический предшественник настоящей ткани.

Парниковый эффект — нагрев внутренних слоев атмосферы, прозрачных для спектра солнечных лучей, но поглощающих тепловое излучение Земли.

Парсек (сокращение от параллакс и секунда) — единица измерения длины в астрономии, $1 \text{ П} = 3,26$ световых года.

Пациент — узкоспециализированная фирма.

Паттерны — любое узнаваемое расположение объектов в пространстве и времени; как бы картины (формы) поведения и расположения объектов в сознании человека.

Пептидная связь — химическая связь, соединяющая аминогруппу (NH_2) одной аминокислоты с карбоксильной группой (COOH) другой в молекулах пептидов и белков.

Пептиды — органические вещества, состоящие из остатков аминокислот, соединенных пептидной связью.

Перигелий (пери... и греч. — Солнце) — ближайшая к Солнцу точка орбиты небесного тела, обращающегося вокруг него.

Период (греч. — обход, круговорот) — промежуток времени, охватывающий какой-либо законченный процесс.

Периодические реакции — периодическое изменение какого-либо параметра (цвета в реакции Белоусова — Жаботинского) В результате или ходе химических реакций при определенных условиях.

Пестициды (от лат. *pestis* — зараза и *caedo* — убиваю) — ядохимикаты, химические препараты для борьбы с сорняками (гербициды), с вредителями (инсектициды, акарициды), болезнями (фунгициды, бактерициды) сельскохозяйственных растений, деревьев, кустарников, зерна и т.д.

Пигменты — окрашенные химические соединения. В биологии — окрашенные вещества тканей организмов, участвующие в их жизнедеятельности и обуславливающие окраску организмов.

Плазма — ионизированный газ, в котором концентрации положительных и отрицательных зарядов равны. В состоянии плазмы находится подавляющая часть вещества во Вселенной.

Планктон — совокупность организмов, обитающих в толще во-

554

ды и неспособных противостоять переносу течением.

Платежный оборот — совокупность денежных расчетов, в которых деньги выступают как средство платежа.

Плотность вероятности (плотность распределения вероятностей) случайной величины X — это функция $p(x)$ такая, что при $p(x) > 0$; $P(x)dx = 1$ и при любых $a < b$ вероятность события $a < x < b$ равна $P(x)dx$.

Подобие — такое соответствие явлений или процессов, при котором в сходственные времена и пространства значения величин, характеризующих состояние одной системы, пропорциональны соответствующим значениям величин для другой системы.

Поезд Эйнштейна — пример Эйнштейна с вагоном, в концы которого ударяется молния, доказывает, что скорость света постоянна и равна 300000 км/с.

Пойкилотермный — теплокровный.

Поле — в физике специфичная форма существования материи, которая связывает частицы (объекты) вещества в единые системы и передает с конечной скоростью действие одних частиц (объектов, понятий — смысловое поле) на другие. Поскольку в реальном мире пространство непрерывно, то набор любых параметров в различных точках пространства и времени имеет определенные значения и такой набор является физической моделью поля. В целом поле — это некое абстрактное математическое представление о распределении скалярных и векторных величин, описывающих реальный мир (примеры полей — скалярное температурное поле, векторные поля текущей жидкости, векторы напряженности электромагнитного поля, гравитационное

поле и т.д.). Таким образом, физическое поле — это любая физическая величина, которая в разных точках пространства принимает различные значения. В математическом смысле поле можно рассматривать как математические функции пространства и времени. В силу непрерывности функций, описывающих поле, оно определяется бесконечным числом степеней свободы. Такое представление о поле применимо ко многим явлениям природы, социума и биосферы.

Полимеризация — метод синтеза полимеров.

Полимеры (поли... и греч. — доля, часть) — вещества, молекулы (макромолекулы), которые состоят из большого числа звеньев. Полимеризация — процесс или синтез получения полимеров.

Полиморфизм (поли... и греч. — форма) — свойство некоторых веществ существовать в нескольких формах, например, в нескольких кристаллических состояниях (модификациях) с разной структурой (например, алмаз и графит). В биологии — наличие в пределах одного и того же вида животных или растений особей, резко отличающихся друг от друга.

Полипептиды — полимеры, построенные из остатков нуклеиновых кислот.

Полисахариды — высокомолекулярные углеводы, образованные остатками моносахаридов.

Полифилия — теория происхождения рас современного человека, видов животных и растений от многих исходных форм.

Популяционная генетика — раздел генетики, изучающий генетическое строение и динамику генетического состава популяций.

555

Популяция — совокупность особей данного вида, занимающих территорию внутри ареала вида, свободно скрещивающихся между собой и частично или полностью изолированных от соседних совокупностей того же вида. Обладает определенным генофондом и рассматривается как элементарная единица эволюции на популяционном уровне организации жизни.

Порядок — регулярное (периодическое) расположение частиц, объектов, предметов по всему занимаемому пространству (объему); последовательный ход чего-нибудь; правила, по которым совершается что-нибудь; числовая характеристика той или иной величины.

Постоянная Планка — основная постоянная квантовой теории, минимальный квант действия.

Постоянная Хаббла — параметр линейной связи скорости разбегания космологических объектов V от расстояния до них R : $V = HR$.

Потенциал (лат. — сила) (**потенциальная функция**) — в физике понятие, характеризующее широкий класс полей, физические параметры которых определяются векторными величинами. Потенциал векторного поля $a(x, y, z)$ есть скалярная величина $U(x, y, z)$, которая связана с a через градиент $a = \text{grad } U$. В общем смысле — источник, возможность, средство, запас, который может быть использован для решения задачи или достижения цели.

Потенциальный барьер — ограниченная в пространстве область высокой потенциальной энергии частицы в силовом поле, соответствует силам отталкивания.

Потенциальная энергия — часть общей механической энергии системы, зависящая от взаимного расположения ее частиц и от их положения во внешнем силовом поле (например, гравитационном).

Потенциальная яма — ограниченная область пространства, в которой потенциальная энергия частицы меньше, чем вне ее. В потенциальной яме частица находится в связанном состоянии, и чтобы сделать ее свободной и «вырвать» ее из ямы, надо приложить энергию. В квантовой теории показано, что энергия частицы в потенциальной яме может принимать лишь определенные, дискретные значения.

Предвзятый — заранее ложно принятый (о мысли, решении), основанный на предубеждении.

Предвидение (прекогниция) — способность человека получать информацию о событиях или свойствах предметов, процессов и явлений раньше, чем эти события произошли, проявились; прогнозирование хода событий на основе науки и практического опыта.

Предельные циклы — отражение на фазовой плоскости устойчивого движения через представления аттракторов в самоорганизующихся системах.

Предикат (лат. — сказанное) — отношение, т.е. свойства, нескольких предметов; в узком смысле — то же, что и свойство.

Предиктор — прогнозируемая система.

Предпосылка — предварительное условие чего-либо, исходный пункт какого-либо рассуждения.

Представление — чувственно-наглядный образ предметов и явлений, сохраняемый в сознании без их непосредственного воздействия; знание, понимание чего-либо.

556

Преобразования Лоренца — в специальной теории относительности преобразования координат и времени при переходе от одной системы координат к другой, движущейся с постоянной скоростью, при скоростях, близким к скоростям света.

Преобразования Фурье (ряд Фурье) — математическое преобразование функциональных зависимостей в тригонометрический ряд, коэффициенты которого вычисляются по формулам Эйлера-Фурье. Применяются для приближенного представления функции.

Преформизм — учение о наличии в половых клетках организмов материальных структур, предопределяющих развитие зародыша и образующегося из него организма.

Прецессия (лат. — движение впереди) — движение от оси вращения твердого тела, при котором оно описывает круговую коническую поверхность (волчок, гироскоп); медленное движение оси вращения Земли по круговому конусу..

Признак — свойство, особенность, по которым можно узнать, определить что—либо.

Примитив — нечто простое, неразвившееся.

Примитивизм — упрощенный подход к сложным проблемам.

Принцип — утверждение, основное положение; внутреннее убеждение человека; основная особенность устройства механизма или прибора.

Принцип дополнительности — сформулированный Н. Бором принцип, согласно которому при экспериментальном исследовании микрообъекта могут быть получены одновременно точные данные либо об его энергии и им-

пульсе, либо о поведении в пространстве и времени. Имеет более широкое толкование при объяснении явлений в природе, социуме и биосфере и активно используется в современном естествознании.

Принцип иерархического подчинения (Хагена) — долгоживущие переменные подчиняют себе короткоживущие.

Принцип Н.К. Кольцова — каждая наследственная молекула из наследственной молекулы.

Принцип комплементарности — последовательность оснований в одной нити ДНК в точности предопределяет последовательность оснований в другой нити.

Принцип Ле Шателье — внешнее воздействие, выводящее систему из термодинамического равновесия, вызывает в ней процессы, стремящиеся ослабить результаты этого воздействия.

Принцип Маха — идея об обусловленности локальных свойств материальных образований закономерностями и распределением всей материи мира, т.е. глобальными свойствами всей Вселенной.

Принцип минимакса — минимум потерь и максимум достижений при решении любых проблем; должен лежать в основе деятельности любого социального субъекта.

Принцип наименьшего действия — один из вариационных принципов механики, согласно которому для данного класса сравниваемых друг с другом движений механической системы осуществляется то, для которого действие минимально.

Принцип неопределенности — квантово-механический принцип, согласно которому дополняющие друг друга физические

557

величины (например, координата и импульс) не могут одновременно принимать точные значения и быть точно измеренными: большая точность в измерении одной из величин влечет за собой большую неопределенность в другой. Принцип отражает двойственную корпускулярно-волновую природу

частиц материи и выражается соотношением неопределенностей $\Delta p \Delta x \geq h$, где h — постоянная Планка.

Принцип Онсагера — теорема неравновесной термодинамики, устанавливающая линейную связь между потоками и термодинамическими силами. При небольших отклонениях от равновесия потоки тепла и вещества являются линейными функциями градиентов температур и химических потенциалов различных компонентов системы (соотношение Онсагера). Этот принцип позволяет единым образом рассматривать явления переноса.

Принцип оптимальности (экстремальности, вариационный принцип) — принцип, позволяющий найти обобщенную оптимальную (наилучшую) характеристику процесса в условиях, близких (оптимальных) к равновесным; отражает наиболее общие свойства системы, из которых можно найти уравнения движения или условия равновесия.

Принцип относительности

Эйнштейна — любое физическое явление при одинаковых условиях протекает одинаково во всех инерциальных системах.

Принцип И.Р. Пригожина (принцип перехода от хаоса к порядку) — «Источником порядка является неравновесность. Неравновесность есть то, что порождает порядок из хаоса».

Принцип причинности — в физике устанавливает причинно-следственную связь между явлениями и допустимыми пределами влияния физических событий друг на друга. Он исключает влияние данного события на все происшедшие, а также требует отсутствия взаимного влияния событий, пространственное расстояние

между которыми столь велико, а временной интервал между ними столь мал, что они не могут быть связаны сигналом (например, световым).

Принцип Ф. Реди — все живое от живого.

Принцип Родена — отсекают все лишнее, рациональное сочетание интеллектуальных и волевых качеств в руководстве и организации какого-либо дела.

Принцип структурности в биологии — все живое состоит из клеток.

Принцип суперпозиции — в классической физике: результирующий эффект от нескольких независимых воздействий представляет собой сумму эффектов, вызываемых каждым эффектом в отдельности; справедлив для систем, описываемых линейными уравнениями. В квантовой механике — если система может находиться в состояниях, описываемых несколькими волновыми функциями, то она может быть также и в состоянии, описываемом любой линейной комбинацией этих функций.

Принцип тождественности — в физике один из квантовых принципов: состояния системы частиц, получающиеся друг из друга перестановкой местами тождественных частиц, нельзя различить ни в каком эксперименте, и такие со-

стояния должны рассматриваться как одно физическое состояние. Из этого принципа вытекает симметрия волновой функции системы одинаковых частиц.

Принцип фальсификации (введен К. Поппером) — критерием научности теории является ее фальсифицируемость или опровержимость. Если учение (астрология, идеология, теология и т.д.) способно истолковать любые факты в свою пользу, т.е. непровержимо в принципе, то оно не может претендовать на статус научного.

Принцип целостности — мир растений и животных един.

Принцип эквивалентности — в физике эквивалентность инерционной и гравитационных масс. В общем смысле — отношение типа равенства.

Принцип эргодичности — результаты некоторого конечного числа испытаний одного элемента не должны отличаться от результатов того же числа одинаковых элементов.

Приоритет — первенство во времени в осуществлении какой-либо деятельности; предпочтительность, преобладающее, первенствующее значение чего-либо.

Природа — в широком смысле — все сущее, весь мир в многообразии его форм; употребляется в одном ряду с такими понятиями, как материя, универсум, Вселенная; является объектом естествознания.

Природопользование — сфера общественно-производственной деятельности, направленной на удовлетворение потребностей человека с

помощью природных ресурсов.

Причина — явление (изменение), вызывающее, обуславливающее возникновение другого явления (изменения, следствия); основание, предлог для каких-либо действий.

Причинность (причинно-следственная связь) — физическая и философская категория для обозначения необходимой связи явлений, из которых одно (причина) обуславливает, порождает другое (следствие или действие).

Проблема — сложный теоретический или практический вопрос, требующий изучения и разрешения; особая форма знания; начальный этап познавательной (в том числе научной) деятельности; вопрос, возникающий в ходе познания и требующий ответа.

Проблема Руссо — проблема гуманистического содержания познавательной деятельности.

Проводимость (электропроводность) — способность веществ и тел проводить электрический ток, обусловленная наличием подвижных заряженных частиц.

Прогноз (предвидение, предсказание) — вероятностное представление, суждение, заключение о предстоящем развитии и исходя из чего-нибудь, основанное на определенной информации.

Прогнозирование — разработка вероятного представления хода событий, развития ситуации, основанного на определенной информации.

Продуценты — организмы, производящие органические вещества из неорганических, т.е. все автотрофные организмы; организмы, служащие источником каких-либо веществ, используемых человеком; производители определенных товаров.

Производство энтропии — понятие, введенное Пригожиным для обозначения роста энтропии без учета притока энергии извне.

559
В открытой системе — общее изменение энтропии $dS = dS_i + dS_e$, где dS_e — обеспечивается контактом со средой, dS_i — изменениями внутренних процессов. dS/dt — скорость роста энтропии, обеспечиваемая внутренними процессами в системе. Отношение этой величины к единице объема dV и называется производством энтропии. Такое представление вытекает из локальной формулировки второго начала термодинамики.

Прокариоты — организмы, не обладающие оформленным клеточным ядром. Генетический материал в виде кольцевой цепи ДНК находится в нуклеотиде и не образует настоящих хромосом.

Пропонент — лицо, выступающее в поддержку какого-либо, чего-либо.

Пространство — объективная реальность; форма существования материи, характеризующая ее протяженность и объем; сосуществование и взаимодействие материальных объектов и процессов; совокупность отношений координации и расположения объектов друг относительно друга.

Противоречие — категория, выражающая в диалектике внутренний источник всякого движения; положение, при котором одно (высказывание, поступок, мысль) исключает другое, несовместимое с ним.

Протон (греч. — первый) — стабильная элементарная частица со спином 1/2 и массой равной 1836 масс электрона, относится к барионам. Вместе с нейтронами протоны образуют все атомные ядра.

Протеины — белки, состоящие только из остатков аминокислот, к ним относятся ферменты.

Протоплазма — содержимое животных и растительных клеток, включая их ядра и цитоплазму; живое вещество, из которого состоят организмы.

Протуберанцы — громадные плазменные образования в солнечной короне, имеющие большую плотность, но меньшую температуру, чем окружающая их плазма короны. Поэтому на диске Солнца они наблюдаются в виде темных полос или волокон.

Прямые и обратные задачи — в физике под прямыми задачами понимается расчет и однозначное предсказание макроскопических наблюдаемых проявлений свойств того или иного объекта по заданным характеристикам модели объекта или явления. Под обратными задачами — восстановление параметров модели объекта по заданным экспериментальным наблюдениям.

Псилофиты — первые наземные растения.

Психологическое время — время, связанное с психологической деятельностью человека и его восприятием объективного физического времени.

Пульсары (англ. — пульсирующие источники радиоизлучения) — космические источники импульсного радиооптического, рентгеновского и гамма—излучения.

Пурины, пуриновые основания — гетероциклические соединения. Пурины и их производные — пуриновые основания (аденин, гуанин, ксантин и другие) играют большую роль в живой природе и жизнедеятельности всех организмов, образуя нуклеотиды, нуклеиновые кислоты и другие биологически активные соединения.

560

Р

Работа — в технике и физике мера действия силы, зависящая от численной величины и направления действия силы и от перемещения точки ее приложения. В термодинамике — процесс превращения одного вида энергии в другой, способ обмена энергией между термодинамической системой и окружающей средой.

Равновесие — состояние физической системы, в котором она при неизменных внешних условиях или под воздействием разных противоположно направленных и взаимно уничтожающихся сил может пребывать сколь угодно долго; все точки механической системы неподвижны по отношению к данной системе отсчета.

Радикалы свободные — кинетически независимые частицы (атомы или их группы), обладающие неспаренными электронами и поэтому очень реакционноспособные; с их помощью осуществляются важные биохимические процессы, (например, ферментативное окисление).

Радиоактивность (радиоактивный распад) — самопроизвольное превращение нестабильных атомных ядер в ядра других элементов, сопровождающееся испусканием ядерных излучений.

Радиационные пояса планет — внутренние области планетных магнитосфер, в которых собственное магнитное поле планеты удерживает заряженные частицы.

Развитие — прогрессивные качественные изменения в системе.

Размерность — в геометрии число измерений геометрической фигуры: линия имеет размерность, равную 1, плоскость — 2, пространство — 3. В физике — выражение, показывающее связь данной величины с физическими величинами, положенными в основу системы единиц.

Разум — способность понимания и осмысления; в ряде философских учений — высшее начало и сущность, основа познания и поведения людей; высший уровень рационального мышления, для которого характерно творческое оперирование абстракциями и сознательное исследование их собственной природы (саморефлексия).

Распределение — одно из основных понятий теории вероятностей и статистики. Распределение вероятности какой-либо случайной величины задается указанием возможных значений этой величины и соответствующих им вероятностей или плотности вероятности.

Распределение Больцмана — равновесное распределение частиц идеального газа по энергиям во внешнем силовом поле.

Распределение Гаусса (нормальное распределение) — плотность распределения вероятностей случайного параметра, часто встречается в статистике больших чисел, в частности, в физике для флуктуаций термодинамических параметров вблизи равновесия молекулы по энергиям и скоростям, распределения ошибок наблюдений и измерений и т.д.

Распределение Гиббса — распределение вероятностей обнаружения равновесной статистической системы в любом из ее стационарных микроскопических состояний.

Рацематы — вещества, имеющие одинаковое количество симметричных и асимметричных

561

форм, не обладающих оптической активностью.

Рациональный — разумный, целесообразный, обоснованный.

Ревертаза — фермент, участвующий в процессе обратной транскрипции, т.е. в синтезе ДНК на матрице РНК.

Реагенты — вещества, применяемые в лабораториях для химического анализа, научно—исследовательских и других работ.

Реакция — действие, состояние, процесс, возникающие в ответ на какое—либо воздействие.

Реакция Белоусова—Жаботинского — открытая в 1951 г. химическая реакция, в которой при определенном соотношении компонентов при перемешивании происходят такие концентрационные колебания, что цвет реакции периодически самопроизвольно изменяется. В синергетике является классическим примером самоорганизации системы от хаоса к порядку.

Редуccionизм (лат. — возвращение обратно) — образ мышления, проявляющийся в стремлении упростить объяснение сложных явлений и процессов; объяснение всех многообразных явлений в природе и обществе на базе некоторой совокупности всеобщих законов и принципов; сведение сложного к простому, составного — к элементарному.

Редупликация (репликация) — удвоение молекул ДНК при участии специальных ферментов. Редупликация обеспечивает точное копирование генетической информации, заключенной в молекулах ДНК.

Редупликация конвариантная — самовоспроизведение с изменениями, осуществляемое на основе

матричного принципа синтеза макромолекул (ДНК, РНК).

Редуценты — организмы, разлагающие мертвые органические вещества и превращающие их в минеральные (неорганические) вещества, усваиваемые другими организмами (продуцентами).

Режим с обострением (англ.) — в синергетике такой режим процесса в неравновесных и неустойчивых открытых системах, когда характерные параметры процесса неограниченно возрастают за конечное время. Время обострения — конечный промежуток времени, за который процесс сверхбыстро (асимптотически) развивается

вплоть до бесконечных значений. **Резерват** — охраняемая природная территория.

Резистивность — устойчивость организма к воздействию внешней среды; свойство сопротивляться.

Резонанс (лат.— откликаюсь) — резкое возрастание амплитуды (параметра) вынужденных установившихся колебаний при приближении частоты внешнего гармонического воздействия к частоте одного из собственных колебаний системы.

Резонансы (резонансные частицы) — неустойчивые элементарные частицы характеризующиеся крайне малым временем жизни (10^{-22} – 10^{-24} сек).

Рекогниция — узнавание. **Рекомбинация** (лат. — соединение) — в физике образование нейтральных атомов и молекул из ионов и электронов, процесс обратный ионизации; в полупроводниках — исчезновение пары электрон—дырка при переходе электрона из зоны проводимости в валентную зону.

Рекуррентная последовательность, рекуррентный (лат. — возвращающийся) — числовая последовательность, в которой каждый последующий ее член образуется путем сложения двух предыдущих (ряд Фибоначчи, ряд Люка). В общем смысле — повторное появление одних и тех же форм в разных слоях, зонах, объектах. Рекуррентный — возвратный.

Рекурсивность — повторяемость процессов, явлений и форм человеческой деятельности.

Релаксация (лат. — ослабление) — в физике процесс установления равновесия в системе, состоящей из большого числа частиц. В филологии — расслабление. Снятие напряжений в материалах, в биологических, термодинамических и информационных системах.

Релевантный — существенный для дела, уместный.

Реликт (лат.— остаток) — организм, предмет или явление, сохранившееся как пережиток от древних эпох.

Реликтовое излучение — космическое электромагнитное излучение, связанное с эволюцией Вселенной после ее рождения; фоновое космическое излучение, спектр которого соответствует температуре 2,7 К.

Релятивизм (лат. — относительный) — методологический принцип,

состоящий в метафизической абсолютизации относительности и условности наших знаний и ведущий к отрицанию возможности познания объективной истины. В физике — фундаментальное свойство элементарных частиц, состоящее в том, что уравнения, описывающие их, инвариантны относительно преобразований (например, преобразований Лоренца в специальной теории относительности).

Реология — совокупность методов исследования течения и деформации реальных сред.

Репарация — восстановление биологических объектов от повреждений, вызванных ионизирующим излучением; возмещение государством причиненного им ущерба в денежной или иной форме лицу или другому государству.

Репелленты — химические препараты из группы пестицидов для отпугивания вредных насекомых от растений, животных и человека.

Репликация (лат. — повторение) — в молекулярной биологии удвоение молекулы ДНК, удвоение хромосом. Репликация обеспечивает точное копирование генетической информации и передачу ее от поколения к поколению.

Репродуктивный потенциал — скорость, с которой численность популяции могла бы расти при наличии неограниченного пространства, обилия пищи и других ресурсов при полном отсутствии любых факторов, препятствующих росту и размножению.

Репродукция (лат.) — воспроизведение.

Рестрикация (ограничение) — ограничение производства, продажи и экспорта товаров с целью поддержания на них высоких цен; ограничение кредитов с целью сдерживания инфляции.

Рефлекс — ответная реакция живого организма на раздражитель.

Рефракция (лат. — преломление) — искривление лучей в среде с непрерывно меняющимся показателем преломления. В оптике — преломление света.

563

Рецепторы — окончания чувствительных нервных волокон или специализированные клетки, преобразующие раздражения, воспринимаемые извне или из внутренней среды организма, в нервное возбуждение, передаваемое в центральную нервную систему.

Рецессивность — форма взаимоотношений двух аллельных генов, при которой один из них — рецессивный — оказывает менее сильное влияние на соответствующие признаки особи, чем другой — доминантный.

Рецессивный — подавляемый, замедленный.

Реципиент (получающий, принимающий) — организм, которому пересаживают органы (ткани, клетки) другого организма; физическое или юридическое лицо, получающее доходы, платежи.

Рибосомы — немембранные клеточные органоиды; являются обязательными структурными

компонентами цитоплазмы клеток растений и животных; осуществляют функцию синтеза белковых молекул из аминокислот.

РНК — рибонуклеиновая кислота — одна из нуклеиновых кислот, характерная составная часть цитоплазмы животных и растительных клеток.

Ригидность — жесткость, негибкость, снижение приспособляемости системы к меняющимся условиям среды.

C

Сальтационизм — одно из направлений антидарвинизма, основано в 1860 — 70-х гг. А. Зюссом и А. Келликером. Утверждает, что весь план будущего развития жизни возник еще в момент ее появления, а все эволюционные события происходят в результате скачкообразных изменений (сальтаций) эмбриогенеза.

Сальтация — скачок, спонтанное качественное изменение системы (например, генов); крупное наследственное изменение.

Самовозбуждающиеся системы, волны — системы, в которых под действием малых флуктуаций возникают самоорганизующиеся коллективные процессы (пример: автоволны — самоподдерживающиеся волны, которые распространяются в активных средах или средах, поддерживаемых энергетически).

Самодвижение — самопроизвольное изменение системы, определяемое внутренними причинами, движение без действия внешних причин, непрерывный процесс смены неустойчивости устойчивостью, возникновение новых структур вместо старых.

Самоокупаемость — возмещение предприятиями всех своих затрат за счет выручки от реализации продукции.

Самоорганизация — процесс спонтанного возникновения порядка и организации из хаоса и беспорядка в открытых неравновесных системах. За счет неограниченного роста флуктуаций при поглощении энергии из среды система достигает некоторого критического состояния и переходит в новое устойчивое состояние с более высоким уровнем сложности и упорядоченности по сравнению с предыдущим.

Самореферентность — ментальные состояния человека, когда он видит и анализирует, как он видит.

Самосборка — процесс, при котором молекулы «распознают» друг друга и собираются в комплексы и различные структуры.

564
Этот процесс высокоспецифичен и сопровождается изменением энтропии ассоциированных молекул.

Светимость — величина полного светового потока, испускаемого единицей поверхности источника света.

Световой год — единица звездных расстояний; равен пути, который проходит свет за год, т.е. $9,46 \cdot 10^{12}$ км.

Сверхпроводимость — явление обращения в нуль электрического сопротивления и выталкивания магнитного поля из вещества при охлаждении их ниже определенной критической температуры.

Свободная энергия (термодинамический потенциал Гельмгольца) — определяется как разность между внутренней энергией системы и произведением энтропии на температуру T : $F = U - TS$, величину TS называют связанной энергией.

Связь — взаимообусловленность и взаимосвязанность существования явлений и объектов, разделенных в пространстве и во времени. В информатике и кибернетики — прием и передача информации с помощью различных технических средств. В общем смысле — все, что собрано из различных частей, но составляет одно целое.

Сегрегация — возникновение различий в составе и свойствах разных участков цитоплазмы в период роста ооцита, а также в оплодотворенном яйце.

Селекция — раздел агрономии и зоотехнии, изучающий методы создания сортов и гибридов сельскохозяйственных растений и пород животных с нужными человеку признаками.

Сигнатура (лат. — указываю) — указание. В полиграфии — последовательная нумерация печатного

листа, проставляемая арабскими цифрами на 1-й и 3-й его полосах. В медицине — часть рецепта с указанием способа употребления лекарства.

Сидерический год (греч. — звезда, небесное светило) — звездный год, соответствующий одному видимому обороту Солнца по небесной сфере относительно неподвижных звезд, составляет 365, 2564 средних солнечных суток.

Сидерический период обращения — промежуток времени, в течение которого небесное тело Солнечной системы (планеты, астероиды, кометы) совершает полный оборот вокруг Солнца.

Сила — векторная величина, характеризующая меру механического действия на данное материальное тело со стороны других тел. Это действие вызывает изменение скорости точек тела или его деформацию и может иметь место как при непосредственном контакте, так и через посредство создаваемых телами полей.

Силлогизм — логическое умозаключение, в котором из двух данных суждений (посылок) получается третье (вывод).

Симбиоз (греч. — сожительство) — длительное сожительство организмов разных видов, обычно приносящее им взаимную пользу.

Симметрия волновой функции — зависимость значения волновой функции системы тождественных частиц от перестановки местами пары таких частиц.

Симметрия СРТ — (СРТ-теорема) состоит в том, что все процессы в природе не меняются (симметричны) при одновременном проведении трех преобразований: переходе частиц к античастицам (зарядовое сопряжение, С), зеркальном отражении (пространственная инверсия, Р) и замене времени t на $-t$ (обращение времени); следует из основных принципов квантовой теории поля.

Симптом — внешний признак, внешнее проявление чего-нибудь.

Синапс — область контакта (связи) нервных клеток (нейронов) друг с другом и с клетками исполнительных органов.

Синантропные организмы — животные и растения, существование которых тесно связано с человеком и с населенными пунктами.

Сингулярность (лат. — отдельный, особый) — точечный объем с бесконечно большой плотностью.

Синдром — сочетание признаков (симптомов) для какой-то болезни, какого-либо явления, объединенных единым механизмом возникновения.

Синдром ИНЗ — характерен для развития науки в США в послевоенном периоде. Формулировка «Изобретено не здесь» символизирует род научного шовинизма, склонность игнорировать или преуменьшать ценность всего, что делается за пределами США.

Синергетика (греч.— согласованное действие) — область научных исследований коллективного поведения частей сложных систем, связанных с неустойчивостями и касающихся процессов самоорганизации. Синергетика является теорией самоорганизации систем различной природы. Термин ввел Г. Хакен.

Синергетическая информация — такая, которая приводит к порождению совместных, согласованных, кооперативных действий системы.

Синонимы — слова или выражения, имеющие полностью или частично совпадающие значения.

Синтез (греч.) — соединение (мысленное или реальное) отдельных элементов объекта в единое целое; химический синтез — целенаправленное получение

сложных веществ из более простых, основанное на знании молекулярного строения и реакционной способности последних.

Синоподический период обращения — промежуток времени, в течение которого какое-либо тело Солнечной системы, двигаясь по своей орбите, возвращается при наблюдении с Земли в прежнее положение относительно Солнца.

Синтетическая теория эволюции (неодарвинизм) — теория органической эволюции путем естественного отбора признаков, детерминированных генетически.

Синхронизм (греч. — одновременность) — точное совпадение по времени нескольких явлений или процессов.

Система (греч. — целое) — упорядоченное множество взаимосвязанных элементов, определенная целостность, проявляющаяся как нечто единое по отношению к другим объектам или внешним условиям.

Системный подход — метод научного познания, в основе которого лежит рассмотрение объектов, выявление многообразных связей и сведение в единую картину представления явления, объектов, предметов. Принципы системного подхода находят применение в современном естествознании в целом и в физике, информатике, технике, биологии, экологии, экономике, управлении и т.д.

Ситология — наука, изучающая ресурсы, питание и пищевой режим организмов

Скаляр (скалярная величина) (греч. — ступенчатый) — величина, каждое значение которой (в отличие от вектора) может быть выражено одним (действительным) числом, вследствие чего совокупность значений скаляра можно выразить на линейной шкале (скале — отсюда название). Примеры таких величин — длина, площадь, время, температура.

Скорость — векторная величина, определяющая изменение положения объекта (тела) со временем; характеристика движения в общем смысле, равная отношению пройденного пути ко времени, в течение которого это произошло.

Термин применяется также для характеристики изменения во времени различных процессов (например, химических процессов, рекомбинации, релаксации)

Смысл — внутреннее содержание, сущность, идея, значение чего-нибудь, постигаемое разумом, конечная цель, разумное основание чего-либо.

Событие — то, что произошло; то или иное значительное явление, факт общественной или личной жизни. В физике — наличие объекта и его состояние (перемещение); преобразование, связанное с динамикой пространства и времени. Детерминированные события — предсказуемые, стохастические — вероятностные.

Сознание — особая форма бытия, осознанное бытие; постижение бытия, высшая, свойственная лишь человеку форма идеального отражения и духовного освоения объективной действительности; совокупность психических процессов, активно участвующих в осмыслении человеком объективного мира и своего собственного бытия.

Солнечный ветер — истечение плазмы солнечной короны в межпланетное пространство.

Солнечная система — состоит из центрального светила— Солнца и 9 планет, обращающихся вокруг него, их спутников, множества малых планет, комет и метеорного вещества.

Сома — тело организма.

Соматический — телесный.

Соматические клетки — клетки тела.

Соразмерность — соотношение измерений (ширины, длины, высоты), определяет целое, либо его составную часть. Например, соотношением длины к ширине можно выразить соразмерность объекта, тела, живого организма, растений. В общем смысле созвучна гармонии.

Состояние — характеристика системы, определяемая значениями характерных для данной системы параметров (если они не зависят от времени, то устойчивое стационарное состояние, если изменяются во времени, то процесс).

Спин (англ. — вращение) — собственный механический момент количества движения микрочастицы, имеющий квантовую природу.

Спирохеты — микроорганизмы, клетки которых имеют форму тонких извитых нитей.

Сплайсинг — процесс удаления и «сшивки» частей молекул РНК при создании матриц белков.

Спонтанный — самопроизвольный.

Спорадический — единичный, случайный, появляющийся от случая к случаю.

Среда (окружающая) — среда обитания и производственной деятельности человека. В общем смысле — то, что имеет контакт с системой, но не является ее частью.

Среда обитания человека — совокупность природных и социальных условий, в которых протекает деятельность человеческого общества.

Сродство к электрону — способность некоторых атомов и молекул присоединять добавочный электрон и превращаться в отрицательный ион. Мерой сродства служит выделяющаяся при этом энергия.

Статистика (итал. — государство) — получение, обработка, анализ закономерности, в более узком смысле — совокупность данных о каком-либо явлении или процессе. В физике — изучение свойств макроскопических тел как систем из очень большого числа частиц (молекул, атомов, электронов и т.д.). Статистические методы основаны на теории вероятностей.

Статистический ансамбль — совокупность большого числа не взаимодействующих одинаковых физических систем, находящихся в одинаковых макроскопических, но разных микроскопических состояниях.

Стационарные состояния — устойчивые состояния, в которых все характеризующие систему физические величины не зависят от времени.

Стегоцефал — первичное земноводное живое существо.

Стенобионты — животные и растения, способные существовать лишь при относительно постоянных условиях окружающей среды.

Степени свободы — число независимых координат, которые полностью

определяют положение тел в пространстве.

Стохастический — случайный, вероятностный.

Стохастический процесс, система, структуры, метод (греч.— умеющий угадывать) — случайный, вероятностный процесс в системах, где состояния или характеристики меняются случайно под действием разных факторов; определяется статистическим распределением; беспорядочные хаотичные структуры.

Странный аттрактор — математический образ детерминированных неперiodических процессов; пучок расходящихся траекторий. В общем смысле — сложное движение в нелинейной открытой структуре. Ввели Рюэль и Такенс в 1971 г.

Структура (лат. — строение, расположение) — совокупность устойчивых связей объекта, обеспечивающих его целостность и тождественность самому себе, т.е. сохранение основных свойств при различных внешних и внутренних изменениях; взаиморасположение и связь составных частей чего-либо, строение.

Струны — в космофизике линейная область проявления фундаментального поля, вдоль которой локализуются свойства этого поля. Космические струны — невидимые образования, связанные с элементарными частицами. Частицам сопоставляются колебания одномерных (бесконечно длинных) струн, размещенных в многомерном пространстве. Суперструны считаются подвижными

568 ниями, возникшими при образовании Вселенной и искривляющими пространства вокруг себя; могут образовывать петли и клубки, которые создают сильное гравитационное притяжение. В пространстве играют роль гравитационных линз, поэтому их можно обнаружить по искривлению пространства или по гравитационным волнам, которые они испускают. Экспериментально не обнаружены. Струнная теория частиц, или теория суперструн, — одна из современных теорий возникновения, эволюции и объяснения строения Вселенной. В основе таких теорий не «элементы» объемов — частиц, а «элементы движения».

Субстрат — вещество, на которое действует фермент.

Субъект — в философии познающий и действующий человек; противопоставлен внешнему миру как объекту познания; личность.

Суперпозиция — наложение независимых событий, состояний, явлений.

Сфера Дайсона — предполагаемая непрозрачная оболочка вокруг звездного объекта, имеющего высокоразвитую цивилизацию, сооруженная для того, чтобы не рассеивать бесполезно в окружающий космос полученную на этом объекте энергию.

Сцепление генов (закон Моргана) — связь между генами, обусловленная их расположением в одной хромосоме. Каждому биологическому виду присуще строго определенное число хромосом.

Т

Таксон — группа организмов или дискретных объектов, связанных той или иной степенью родства или общностью свойств; подразделение биологической систематики.

Таксоны (греч.) — гипотетические частицы, которые могут двигаться со скоростью, большей скорости света в вакууме. Формально их существование не противоречит теории относительности, но для них не выполняется принцип причинности. Экспериментально не обнаружены.

Тезаурус — в информатике систематизированный набор данных о какой-либо области знания; словарь представленный в виде терминов, понятий и ключевых слов, соотнесенных между собой по каким-либо семантическим параметрам и позволяющий *человеку или компьютеру ориентироваться* в системе информационных данных или области знания.

Тезис — в логике положение, истинность которого требуется доказать; положение, кратко излагающее какую-нибудь идею.

Тектология — всеобщая организационная наука, систематизация организованного опыта в природе и обществе. Ввел А.А. Богданов.

Телеогенез — направление антидарвинизма, основанное на убеждении о предначертанном ходе эволюции.

Температура (лат. — нормальное состояние) — физическая величина, Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

характеризующая состояние термодинамического равновесия системы, степень нагретости тел. Температура всех частей изолированной системы, находящейся в равновесии, одинакова. В термодинамике температура тела определяется производной от энергии по его энтропии.

Темпорология — изучение времени.

569

Тензоры — математические представления матричной алгебры, в столбцах и строках матрицы стоят не числа, а векторы. Тензорное исчисление — математическая теория, обобщающая векторное исчисление и матричную алгебру.

Теоремы Геделя — теоремы о полноте теорий, в общем смысле — знаний, из которых следует, что не существует полной формальной теории, где были бы однозначно доказуемы все истинные теоремы. Широко используется в современном естествознании как принцип привлечения разных культур (гуманитарной и естественнонаучной), подходов для объяснения явлений в природе и обществе.

Теорема Неттер — одна из них: каждому виду симметрии соответствует свой закон сохранения.

Теорема Пригожина (теорема о минимуме производства энтропии, также принцип Гленсдорфа—Пригожина) — производство энтропии в системе, находящейся в стационарном, достаточно близком к равновесию, состоянии, минимально.

Теорема Пуанкаре — большинство проблем классической механики не сводится к интегрируемым системам, т.е. таким, где с помощью канонических преобразований можно из уравнений динамики «устранить» потенциальную энергию и учитывать только гамильтониан.

Теория (греч.— рассмотрение) — совокупность научных положений, образующих какую-либо науку или раздел, форма научного знания, дающая целостное представление о закономерностях и существенных связях действительности.

Теория катастроф — математическая теория, описывающая скачкообразное изменение («катастрофу») параметров системы как ее внезапный ответ на плавные изменения внешних условий, приводящее к потере устойчивости. С математической точки зрения — это обобщение исследования функций на экстремум на случай многих переменных.

Теория народонаселения Сп. Капицы — рост населения определяется не числом людей, а числом парных столкновений между ними с порождением. Скорость роста $dN/dt = N^2$ оказывается пропорциональной квадрату числа людей.

Теория познания (гносеология, эпистемология) — учение о сущности, закономерностях и формах познания.

Теплота — энергетическая характеристика процесса теплообмена, $\delta Q = C dT$, где C — теплоемкость, dT — изменение температуры; неупорядоченная форма работы; является функцией процесса, т.е. зависит не только от начального и конечного тела, но и от вида процесса.

Терминал — конечное устройство в составе системы ЭВМ, служащее для обмена данными между пользователем и ЭВМ; часть порта, конечного пункта для сбора и обработки грузов.

Термодинамика — раздел физики, изучающий наиболее общие свойства тел, в которых происходит обмен энергией в тепловых процессах и процессах переноса и превращение теплоты в другие ее виды.

Термоядерная энергия — реакция синтеза атомных ядер при сверхвысоких температурах и

570

поддерживающая эти температуры за счет большого энергоснабжения.

Тернаризм — концепция, согласно которой картина мира сводится к совместному действию трех начал (энергии, материи и информации).

Тест (проба, испытание, исследование) — специальные задания испытуемому для определения его способностей или знаний.

Техносфера — созданная людьми в рамках биосферы искусственная структура, для которой характерно проникновение сложной машинной техники во все сферы человеческой деятельности (заводы, дороги, электростанции, газо- и нефтепроводы, ирригация, сельхозугодья и т.д.) и изменение

природный условия.

Тимин — пиримидиновое основание, содержится во всех живых организмах в составе ДНК; одна из 4-х «букв» генетического кода.

Ткань — агрегат клеток одного типа.

Тождественные частицы — частицы, имеющие одинаковые физические свойства: массу, электрический заряд, спин и т.д. Такие частицы в квантовой механике рассматриваются как принципиально неразличимые.

Тождество — категория, выражающая равенство; одинаковость предмета, явления с самим собой.

Томография — рентгенологический метод исследования объекта с получением изолированного теневого изображения любого слоя объекта.

Топологическое пространство — множество элементов любой природы, в котором тем или иным способом определены предельные соотношения.

Топология (греч. — место и ...логия) — раздел математики, рассматривающий геометрические свойства, не изменяющиеся при любых деформациях (топологические свойства), производимых без разрывов и склеиваний (при взаимно однозначных и непрерывных отображениях). Так, окружность, эллипс и контур квадрата имеют одни и те же топологические свойства, т.к. эти линии могут быть деформированы одна в другую описанным выше способом. В то же время кольцо и круг обладают разными топологическими свойствами: круг ограничен одним контуром, а кольцо двумя.

Точка Омега — по Вернадскому, точка полного развертывания ноосферы.

Точка Пастера — такая концентрация свободного кислорода, при которой кислородное дыхание становится более эффективным (~50 раз) способом использования внешней энергии Солнца, чем анаэробное брожение.

Траектория (лат.— относящийся к перемещению) — непрерывная линия, по которой движется точка или центр масс тела при движении в координатном пространстве.

Трансдукция — перенос генов из одной клетки в другую с помощью вирусов.

Транскрипция (лат. — переписывание) — способ письменной фиксации устной речи с помощью специальных знаков. В музыке— аранжировка, обработка произведения. В биологии— перенос кода ДНК путем образования одноцепочечной молекулы РНК на одной нити ДНК.

571

Транслитерация — передача текста, написанного с помощью одного алфавита, средствами другого алфавита.

Трансляция (лат. — передача) — в физике перенос тела в пространстве на некоторое расстояние параллельно самому себе, вдоль или параллельно от трансляции. В биологии — биосинтез белков в живой клетке на рибосомах.

Тренд — длительная, преобладающая тенденция, превалирующее направление развития.

Тромбоциты — клетки крови позвоночных животных, участвующие в свертывании крови.

Трофический — пищевой.

Туннельный эффект — прохождение через потенциальный барьер микрочастицы, энергия которой меньше высоты барьера.

Турбулентное течение (лат. — бурный, беспорядочный) — хаотическое движение жидкости и газа, при котором частицы совершают неупорядоченные перемещения по сложным траекториям, когда происходит перемешивание потока вещества.

У

Углеводы — группа природных органических соединений, химическая формула которых соответствует $C_m(H_2O)_n$, т.е. углерод + вода, отсюда название. Подвергаясь окислительным превращениям, обеспечивают все живые клетки энергией (глюкоза).

Ультразвук — не слышимые человеческим ухом упругие волны, частоты которых выше 20 кГц.

Универсум (лат.) — философский термин, означающий мир как целое.

Управляющий параметр — величина, характеризующая быстроту изменения состояния системы.

Уравнение Шрёдингера — основное уравнение нерелятивистской

квантовой механики, позволяет находить возможные состояния и их изменения во времени через волновую функцию.

Уреаза — фермент, катализирующий разложение мочевины.

Устойчивость — свойство системы возвращаться к исходному состоянию после отклонения из этого состояния, несмотря на действие различных сил; способность противостоять воздействиям экстремальных факторов среды.

Уфология — наука о неопознанных летающих объектах.



Фаги (бактериофаги, бактериальные вирусы) — доклеточные формы живого, прокариоты.

Фаза (греч. — появление) — отдельная стадия в развитии какого-либо явления или процесса в природе или обществе. В физике — состояние колебательного процесса в определенный момент времени. В химии (металловедении) — однородная по химическому составу и физическим свойствам часть термодинамической системы.

Фазовые переходы — фазовые превращения, при которых плотность, потенциалы и энтропия (переходы первого рода) или теплоемкость, сжимаемость, коэффициент термического расширения (переходы второго порядка) меняются скачком.

Фазовое пространство — в физике абстрактное многомерное пространство, где коэффициентами являются величины, характе-

ризующие системы — ее фазу. В классической механике — это обобщение координаты q и импульса p или скорости v всех частиц. Состояние изображается точкой в фазовом пространстве, а изменение состояния во времени — движением точки вдоль линии, называемой фазовой траекторией. В фазовом пространстве число измерений равно числу переменных, характеризующих состояние системы (например, координат и скорости всех частиц).

Фазовое равновесие — состояние термодинамического равновесия многофазной системы. Условием фазового равновесия является равенство химических потенциалов компонентов во всех фазах системы.

Фазовая скорость — скорость, с которой перемещается в пространстве фаза плоской волны.

Фазовая траектория — траектория движения частиц в фазовом пространстве.

Факториал — произведение натуральных чисел от единицы до какого-либо данного числа n . Обозначается $n!$, т.е. $1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot \dots \cdot n = n!$. Например $5! = 1 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 4 \cdot 5 = 120$.

Фауна — совокупность всех видов животных какой-либо местности или геологического периода.

Феномен (греч. — являющийся) — необычный, исключительный факт; явление, которое можно наблюдать; философское понятие, означающее явление, данное нам в опыте, чувственном познании.

Фенотип — совокупность всех признаков и свойств организма, сформировавшихся в процессе его индивидуального развития; складывается в результате взаимодействия генотипа и окружающей среды. В общем смысле — конструирование организма.

Ферменты — биомолекулы — катализаторы, регулирующие (ускоряющие) скорость биохимических реакций.

Ферментативный катализ — ускорение химических реакций за счет ферментов.

Фермион — элементарная частица с полуцелым спином ($1/2, 3/2$); к ним относятся электроны, протоны, нейтроны, кварки.

Фибриллы — нитевидные белковые структуры в клетках и тканях животных.

Фибрин — нерасворимый белок, образующийся в процессе свертывания крови.

Физикализм — направление в науке, предполагающее, что все явления в природе можно объяснить законами физики.

Физический вакуум (лат. — пустота) — рассматривается как особый вид вещества, состоящий из виртуальных частиц и ответственный за квантовые и релятивистские свойства всех вещественных тел.

Филогенез (греч. — род) — процесс исторического развития биологии организмов, их видов, родов, семейств. В общем смысле — история развития биологического вида.

Фитогормоны — химические вещества, вырабатываемые в растениях и регулирующие их рост и развитие.

Фитонциды — образуемые растениями биологически активные вещества, убивающие или подавляющие рост и развитие микроорганизмов; играют важную роль в иммунитете.

Флора — совокупность всех видов растений какой-либо местности или геологического периода.

573

Флуктуация (лат. — колебания) — случайное отклонение системы от равновесия.

Флуктуационная гипотеза Больцмана — гипотеза о том, что окружающее нас макроскопическое пространство является гигантской неравновесной флуктуацией во Вселенной, находящейся в целом в равновесном состоянии. Человек же потому только имеет возможность наблюдать эту чрезвычайно маловероятностную ситуацию, что он сам порождает ее. Флуктуации около равновесного состояния оцениваются распределением Гаусса, безразличного к знаку времени. Для Вселенной оба направления времени неразличимы.

Фолликулы — пузырьковые образования в органах животных и человека, заполненные жидкостью.

Фонон — квазичастица, представляющая собой квант упругих колебаний среды (атомов кристаллической решетки). Введен И.С. Таммом.

Формула (лат. — образ, вид) — комбинация математических или физических законов, кратко выражающая какое-нибудь смысловое выражение, символическое определение какого-либо правила, положения.

Формула Конта — «Знать, чтобы предвидеть; предвидеть, чтобы управлять».

Фоссилизация — замещение.

Фосфаген — высокоэнергетичное фосфатсодержащее соединение, используемое живыми организмами для запасаания энергии, необходимой для функционирования организма.

Фосфат — молекулярная форма фосфора, используемая животными организмами. Он содержит 4 атома кислорода и 3 атома водорода, ковалентно связанных с атомами фосфора.

Фосфатная связь — связь, образующаяся между молекулой субстрата и фосфата.

Фосфолипид — липидная молекула, содержащая сахар.

Фотон — квант света, квант электромагнитного поля, одна из нейтральных элементарных частиц с нулевой массой и спином.

Фотосинтез — образование в клетках зеленых растений, вод-рослей и в некоторых микроорганизмах кислорода из углекислоты и воды под действием света.

Фотоэффект — явление, связанное с испусканием электронов под действием электромагнитных излучений (света, ультрафиолетового, рентгеновского и гамма-излучений).

Фракталы (англ. — дробный) — объекты, которые в меньших масштабах выглядят как в больших, часть фрактала похожа на целое (ковры Серпинского), по мере увеличения объекта проявляется все большее число деталей, подобных тому, что было для малого объекта. Понятие было введено Б. Мандельбротом в 1977 г. Фрактальная размерность дробная (отрезок имеет размерность 1, квадрат — 2, куб — 3). Введение понятия фрактальных множеств находит применение в синергетике для описания хаотических состояний и движений, а также в космологии, химической кинетике, физике полимеров и полупроводников, теории роста городов и т.д. Фракталы дают возможность находить скрытый порядок в хаотических структурах.

Фундаментальные взаимодействия — четыре вида взаимодействий посредством соответствующих полей и частиц — переносчиков

574

взаимодействия с характерными для них мировыми константами: гравитационное, электромагнитное, сильное и слабое.

Функционал — математическое понятие вариационного исчисления для

обозначения переменной величины, заданной на множестве функций, т.е. зависящей от выбора одной или нескольких функций.

Функция распределения — основное понятие статистической физики. В классической механике и физике — плотность вероятности распределения частиц макроскопической системы по координатам и импульсам. В квантовой физике — вероятность распределения по квантово-механическим состояниям.

Футурология — в общем смысле — общая концепция будущего Земли и человечества.

Х

Хаос (греч.) — в древнегреческой философии беспредельная первобытная масса, неупорядоченная первопотенция мира, из которой образовалось впоследствии все существующее. В общем смысле — полный беспорядок, нарушение последовательности, стройности. В физику понятие хаоса ввели Больцман и Гиббс.

Хемиосмос — биохимический механизм, с помощью которого осуществляется превращение

энергии электротранспортной цепи в энергию АТФ. Включает изменение электрохимического потенциала клеточной мембраны.

Химический потенциал — параметр термодинамического состояния системы, играющий роль силы при перераспределении масс компонентов и приводящий к переходу компонента от фазы с

большим его значением к фазе с меньшим значением; вычисляется как производная от энергии Гиббса по его массе при постоянных температуре, давлении и массах других компонентов.

Хиральность — понятие, характеризующее свойство объекта быть несовместимым со своим отображением в идеальном плоском зеркале; то же, что киральность.

Хлоропласты — внутриклеточные органоиды растительной клетки, в которых осуществляется фотосинтез; окрашены в зеленый цвет (в них присутствует хлорофилл).

Хлорофилл — зеленый пигмент растений. В процессе фотосинтеза поглощает световую энергию и превращает ее в энергию химических связей.

Холизм (греч. — весь, целый) — холистические представления;

философия целостности, представление о мире как о целом.

Хроматин — вещество (нуклеопротеид) клеточного ядра, составляющее основу хромосом.

Хромосомы (греч. — цвет тела) — структурные элементы ядра клетки, которые содержат гены, а те, в свою очередь, ДНК; самовоспроизводящиеся структуры в ядрах клеток животных и растений, участвующие в процессах размножения.

Ц

Целлюлоза — полисахарид, образованный остатками глюкозы, главная составная часть клеточных стенок растений, обуславливающая механическую прочность и эластичность растительных тканей.

Целостность — внутреннее единство объекта, независимость

от окружающей среды; в искусстве — эффект восприятия объекта искусства как единого организма, в котором все части закономерно слиты в одно целое; объективный критерий гармонии, достигается подчинением структурной организации объекта, законам, определяющим образование форм живой природы и форм кристаллов.

Ценность информации — понятие в теории информации, введенное Л. Бриллюэном, связанное с тем, что информация передается через функцию, которую она сама же кодирует, т.е. информация «порождается» или приобретает ценность в результате некоторого «отбора», передается не вся информация, а как бы ее наиболее ценная часть. В этом смысле величина ценности информации характеризует уровень эволюции.

Центр масс (центр инерции) тела (системы материальных точек) — точка, характеризующая распределение масс в теле или механической системе. При движении тела его центр масс движется как материальная точка с массой, равной массе всего тела, и подчиняется обычным законам классической механики.

Цефализация (греч. — голова) — развитие мозга в процессе эволюции. В общем смысле — набор разнообразия в процессе изменения и усложнения системы.

Цивилизация — уровень общественного развития материальной и духовной культуры.

Цикл — совокупность взаимосвязанных процессов, работ, явлений, составляющих регулярный кругооборот в течение определенного промежутка времени. В ши-

роком смысле — повторяемость процессов.

Цитозин — пиримидиновое основание, содержится во всех живых организмах в составе нуклеиновых кислот. Одна из четырех «букв» генетического кода.

Цитология — раздел биологии, изучающий строение и процессы в клетках живых организмов.

Цитоплазма — живая коллоидная система с упорядоченной субмикроскопической структурой, содержит все органоиды и обуславливает жизнедеятельность клетки в целом.

Цитоскелет — внутриклеточные структурные компоненты, определяющие форму клетки и перемещение органелл.

Циркадный — суточный.

Цитохромы — группа окрашенных белков, содержащих гемовое железо.

Цитоэкология — клеточное поведение.

Ч

Часть и целое — философские категории, выражающие отношение между совокупностью предметов и объективной связью, которая их объединяет и приводит к появлению новых свойств и закономерностей. Эта связь выступает как целое, а предметы — в качестве его частей. Свойства целого несводимы к свойствам его частей.

Человеческий фактор — совокупность деловых, нравственных, политических, физических, психологических и других качеств человека, проявляющихся в его деятельности в системе экономических, социальных, научно-технических, организационно-управленческих отношений и других

576

сферах его общественной деятельности.

Черная дыра — космологический объект, аномально сильное гравитационное поле которого действует так, что вещество непрерывно захватывается этим объектом (затягивается, как в «дыру») и падает на него. Из-за сильной гравитации никакое материальное тело, в том числе свет, не может выйти за пределы гравитационного радиуса объекта, и поэтому любому наблюдателю они кажутся «черными». Предсказаны Лапласом и Эйнштейном, сам термин ввел Уиллер.

Черный ящик — термин, придуманный и употребляемый для описания систем, структура и внутренние процессы в которых неизвестны или протекают очень сложно. На вход такого устройства подаются сигнал, вводные данные, на выходе получается результат, а что происходит внутри черного ящика, неизвестно.

Ш

Штамм — чистая культура микроорганизмов одного вида, у которого изучены морфологические и физиологические особенности.

Э

Эволюционизм — теория, определяющая развитие только как постепенное количественное изменение, отрицающее скачкообразные переходы.

Эволюционное дерево — схема ветвлений бифуркаций.

Эволюция (лат. — развертывание) — процесс непрерывного развития, изменения в живой и неживой природе и социуме, их направленности и закономернос-

тях. В биологии определяется наследственностью, изменчивостью и естественным отбором. В классической физике эволюция — это стремление к равновесию.

Эзотерический (внутренний, сокровенный) — тайный, скрытый, предназначенный исключительно для посвященных.

Эйдетика — учение о сущности.

Эйдос — душа, образ, форма, сущность, понятие, идея.

Экзобиология — раздел биологии, изучающий биологические условия внеземной жизни.

Экзотерический (внешний) — не представляющий тайны, предназначенный для непосвященных.

Экзотермическая (реакция) — химическая реакция, протекающая с выделением тепла.

Экогенез — процесс развития отношений между организмами и средой их обитания в течение длительного существования.

Экология (греч. — дом, местопребывание) — наука, исследующая проблемы взаимоотношения человека с окружающей средой, в целом организмов друг с другом и с окружающей средой.

Экономика — совокупность производственных отношений, соответствующих данной ступени развития производительных сил и составляющих базис общественного строя.

Экоразвитие — форма социально—экономического развития, учитывающая экологические ограничения.

Экосистема — единый природный комплекс, образованный живыми организмами и средой их обитания.

Экоцитоз — выделение частиц из клетки.

577

Эксперимент (лат. — проба, опыт) — метод научного познания, при помощи которого в контролируемых условиях исследуются явления действительности.

Экстинкция (лат. — гашение) **света** — ослабление света при распространении в среде за счет поглощения и рассеяния.

Экстремальный — крайний, предельный, выходящий за рамки обычного.

Экстремум (лат. — крайнее) — в математике наибольшие и наименьшие значения функции (максимум и минимум) по сравнению с ее значениями в достаточно близких точках.

Электрон (греч.) — стабильная отрицательно заряженная элементарная частица со спином $1/2$, массой $9 \cdot 10^{-28}$ г и магнитным моментом, равным магнетону Бора; относится к лептонам, участвует в электромагнитном, слабом и гравитационном взаимодействиях; является одним из основных структурных элементов вещества.

Элевация — возведение простого к сложному, выявление тех свойств простейшего взаимодействия, которые делают его потенциальным источником более сложных взаимодействий.

Элементарные частицы — мельчайшие известные частицы физической материи, однако четкого критерия «элементарности» частицы нет. Адроны состоят из кварков, кварки — из протокварков и т.д. Тем не менее в известной мере их можно считать кирпичиками мироздания на современном уровне познания материи, несмотря на их взаимные превращения. Классификация элементарных частиц по типам фундаментальных взаимодействий, в которых они участвуют.

Элиминация (лат. — выношу за порог, удаляю) — исключение излишнего разнообразия и отбор необходимого материала для удержания системой устойчивости и активности развития; удаление, устранение.

Эмбриогенез — возникновение и развитие зародыша организма.

Эмбрион (греч.) — организм на ранних стадиях развития.

Эмергенция — возникновение, появление качественно нового.

Эмиссия (лат. — выпуск) — физически означает излучение (эмиссия электронов). В экономике — выпуск в обращение банковских билетов, бумажных денег и ценных бумаг.

Эмпирический — основанный на опыте.

Энантиомерность — способность молекул химических соединений к асимметричности. Смесь равных количеств энантиомеров называется рацематом.

Энграмма — изменения в мозгу, следы памяти.

Эндогенный — внутреннего происхождения, вызванный внутренними причинами.

Эндоцитоз — захват частиц извне клетки.

Энергия (греч. — действие) — общая количественная мера различных форм движения материи, мера различных процессов и видов взаимодействия, всякое

изменение в свойствах вещества, дающее ему возможность производить работу; имеет размерность работы, связывает воедино все явления природы.

Энергия Гиббса — один из термодинамических потенциалов G , определяется разностью между энтальпией H и произведением энтропии S на температуру T : $G = H - TS$. Изотермический

процесс без затраты внешних сил может самопроизвольно идти только в сторону уменьшения энергии Гиббса.

Энергоинформационный обмен — предполагаемый обмен какими-то видами энергии и информации между живыми и неживыми объектами природы.

Энзимология — биохимическая наука о ферментах.

Энтропия (греч. — поворот, превращение) — термодинамическая функция S , характеризующая меру внутренней неупорядоченности системы; в изолированной системе энтропия остается постоянной при обратимых процессах и в равновесии, максимальна или возрастает — при необратимых; равна отношению в равновесном процессе количеству теплоты Q к термодинамической температуре T : $dS = Q/dT$, описывает направление термодинамического процесса. Введена Клаузиусом (Р. Эмануэль) в 1865 г. и широко используется в физике, химии, биологии, теории информации и в целом в современном естествознании.

Эпигенез — теория, согласно которой качественная структура нового организма не предопределена в зародыше, а постепенно формируется по мере его роста. Противоположна преформизму.

Эпидермис — у животных и у человека поверхностный слой кожи, состоящий из многослойного плоского эпителия.

Эпизоотия (греч. — животное) — распространение заразной болезни животных, значительно превышающее уровень обычной заболеваемости на данной территории.

Эпителий — у человека и животных пласт тесно расположенных клеток, покрывающий

поверхность организма, выстилающий все их полости и выполняющий защитную, выделительную и всасывающую функции.

Эпифеномен — сопутствующее, побочное явление. В философии означает сознание, рассматриваемое как явление, сопутствующее некоторым физиологическим процессам.

Эргодическая гипотеза (греч. — работа на пути) — в статистической теории состоит в предположении, что средние по времени значения физических величин от функций, зависящих от импульсов и координат всех частиц системы (фазовых переменных), взятые по траекториям движения системы как точки в фазовом пространстве, равны средним статистическим значениям. Такое распределение называется микроканоническим распределением Гиббса. Физические системы, для которых справедливо такое распределение, называются эргодическими системами. Согласно классической формулировке эргодической гипотезы Больцмана, движение замкнутой механической системы с постоянной энергией E и большим числом степеней свободы столь «запутано», что при неограниченном возрастании времени фазовая траектория системы проходит через все точки энергетической поверхности $H(p, q) = E$; термодинамическое равновесие, по этой гипотезе, состоит в том, что система, будучи предоставленной сама себе, в любом мгновенном состоянии движения рано или поздно пройдет любую фазу, совместимую с энергетической поверхностью.

Эристика — искусство вести спор, полемику.

Эритроциты — красные кровяные клетки человека и животных,

содержащие гемоглобин. Переносят кислород от легких к тканям и двуокись углерода — от тканей к органам дыхания.

Этика — философское учение о морали (нравственности), о ее природе, сущности, структуре и функциях.

Этимология — раздел языкознания, изучающий происхождение и развитие слов, происхождение и изменение значений того или иного слова или выражения.

Этиология — учение о причинах, объяснение происхождения.

Этногенез (греч. — племя, народ и ...генез) — процесс развития этноса от

возникновения до исчезновения его под влиянием энтропийного процесса потери пассионарности. В общем смысле — происхождение народов.

Этнология — наука, изучающая этнический состав, бытовые и культурные особенности народов мира, проблемы их происхождения, расселения и культурно—исторических взаимоотношений.

Этнос — исторически сложившаяся на определенной территории устойчивая совокупность людей (племя, народность, нация), обладающих общими чертами и стабильными особенностями языка, культуры, психологического склада, а также осознанием своих интересов и целей, своего единства, отличия от других подобных образований, самосознанием и исторической памятью.

Этология (греч. — обычай, характер и ...логия) — биологическая наука, изучающая поведение животных в естественных условиях.

Этос — устойчивая природа какого-либо явления, обобщенная характеристика культуры данной социальной общности, выраженная в этических ценностях и нормах социального поведения.

Эукариоты (греч. — полностью и ядро) — организмы, обладающие оформленным клеточным ядром, отделенным от цитоплазмы ядерной оболочкой.

Эффект Доплера — изменение длины волны (или частоты), наблюдаемое при движении источника волн относительно их приемника. Характерен для любых волн (свет, звук и т.д.)

Эффект Хокинга — возможность превращения виртуальных частиц в реальные в поле тяготения черных дыр, когда физический вакуум становится неустойчивым. Квантовые свойства вакуума проявляются в том, что черная дыра рождает пары частиц, одна из компонент пары уходит внутрь черной дыры и занимает состояние с отрицательной энергией, а другая, с положительной энергией, вылетает наружу. Она уже может быть наблюдаема, и в этом смысле черная дыра перестает оправдывать свое название.

Эффект Шноля — микроскопические флуктуации разной природы в физических процессах под воздействием Космоса.

Эффектор — молекула, регулирующая работу белка.

Я

Явления переноса (кинетические процессы) — необратимые процессы переноса массы, энергии, импульса, заряда, происходящие в средах вследствие движения и взаимодействия микрочастиц. Причиной является наличие в среде градиентов температуры, концентраций и т.д. К этим явлениям относятся тепло- и электропроводность, термоэлектрические явления, термодиффузия и др.

580

Ядро клетки — самый большой органоид клетки, обеспечивающий важнейшие метаболические и генетические функции.

Язык — исторически сложившаяся система звуковых, словарных и грамматических средств, выполняющая функции познания и общения в процессе человеческой деятельности; система знаков, несущих информацию.

Ян и **Инь** — в древнекитайской философии и медицине символы мужского и женского начал, взаимоотношения которых являются источником жизни и всего существующего. «Ян» — мужское, положительное, светлое, твердое, рациональное. «Инь» — женственное, порождающее, текучее, темное, иррациональное.

Яркость — характеристика светящихся тел, равная отношению силы света в каком-либо направлении к площади проекции светящейся поверхности на плоскость, перпендикулярную этому направлению.

581

ЛИТЕРАТУРА

1. Биологический энциклопедический словарь. М., 1989.
2. БСЭ, М., 1970-78.
3. Большой толковый социологический словарь. М., 1999.
4. *Горбачев В.В.* Концепции современного естествознания. М. МГУП, Ч—I, 2000, Ч—II, 2001.
5. *Журавлев П.В.* и др. Персонал. Словарь понятий и определений. М., 2000.
6. Краткий политический словарь. М., 1989.
7. *Кох Р.* Менеджмент и финансы от А до Я. СПб., 1999.
8. *Лозовский Л.Ш.* и др. Универсальный бизнес—словарь. М., 1999.
9. *Новиков ВА.* Словарь. Практическая рыночная экономика. М., 1999.
10. Сельскохозяйственный энциклопедический словарь.. М., 1989.
11. *Семенко А.И.* Логика. Словарь и библиография. СПб., 1999.
12. Словарь иностранных слов. М., 1964, 1979, 1990.
13. Словарь маркетинговых терминов. М., 2000.
14. Советский энциклопедический словарь. М., 1985.
15. Социологический словарь. М., 1999.
16. Таможенный энциклопедический словарь. М., 1999.
17. Физический энциклопедический словарь. М., 1995.
18. Философская энциклопедия. М., 1960—1970.
19. Философский словарь. М., 1991.
20. Экономическая энциклопедия. М, 1972—1980.
21. Экономика фирмы. Словарь—справочник. М., 2000.
22. Энциклопедический словарь по культурологии. М., 1997.
23. Энциклопедический словарь. Микро- и макроэкономика. СПб., 2000.
24. *Яценко Н.Е.* Толковый словарь обществоведческих терминов. СПб., 1999.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
Часть первая. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СТРОЕНИЯ МАТЕРИАЛЬНОГО МИРА.....	5
Глава 1. ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ ЕСТЕСТВОЗНАНИИ.....	5
1.1. Этапы развития и становления естествознания.....	11
1.1.1. Программа Платона.....	12
1.1.2. Представления Аристотеля.....	13
1.1.3. Модель Демокрита.....	15
1.2. Проблемы естествознания на пути познания мира.....	16
1.2.1. Физический рационализм.....	16
1.2.2. Методы познания.....	17
1.2.3. Целостное восприятие мира.....	19
1.2.4. Физика и восточный мистицизм.....	20
1.2.5. Взаимосвязь естественных и гуманитарных наук.....	26
1.2.6. Синергетическая парадигма.....	30
1.2.7. Универсальный принцип естествознания — принцип дополнительности Бора.....	31
<i>Контрольные вопросы.....</i>	<i>41</i>
<i>Литература.....</i>	<i>41</i>
Глава 2. МЕХАНИКА ДИСКРЕТНЫХ ОБЪЕКТОВ.....	42
2.1. Трехмерность пространства.....	43
2.2. Пространство и время.....	48
2.3. Особенности механики Ньютона.....	54
2.4. Движение в механике.....	59
2.5. Законы Ньютона — Галилея.....	60
2.6. Законы сохранения.....	64
2.7. Принципы оптимальности.....	68
2.8. Механическая картина мира.....	71
<i>Контрольные вопросы.....</i>	<i>73</i>
<i>Литература.....</i>	<i>73</i>
Глава 3. ФИЗИКА ПОЛЕЙ.....	73
3.1. Определение понятия поля.....	73
3.2. Законы Фарадея — Максвелла для электромагнетизма...77	
583	
3.3. Электромагнитное поле.....	79
3.4. Гравитационное поле.....	81
3.5. Электромагнитная картина мира.....	83
<i>Контрольные вопросы.....</i>	<i>84</i>
<i>Литература.....</i>	<i>84</i>
Глава 4. ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ЭЙНШТЕЙНА - МОСТ МЕЖДУ МЕХАНИКОЙ И ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМОМ.....	85
4.1. Физические начала специальной теории относительности (СТО).....	85
4.1.1. Постулаты А. Эйнштейна в СТО.....	86
4.1.2. Принцип относительности Г. Галилея.....	88
4.1.3. Теория относительности и инвариантность времени...91	
4.1.4. Постоянство скорости света.....	92
4.1.5. Преобразования Г. Лоренца.....	93
4.1.6. Изменение длины и длительности времени в СТО.....	94
4.1.7. «Парадокс близнецов».....	96
4.1.8. Изменение массы в СТО.....	98
4.2. Общая теория относительности (ОТО).....	99
4.2.1. Постулаты ОТО.....	99
4.2.2. Экспериментальная проверка ОТО.....	100
4.2.3. Гравитация и искривление пространства.....	103
4.2.4. Основные итоги основ теории относительности.....	106
<i>Контрольные вопросы.....</i>	<i>107</i>
<i>Литература.....</i>	<i>107</i>
Глава 5. ОСНОВЫ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ И КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ.....	107
5.1. Описание процессов в микромире.....	107
5.2. Необходимость введения квантовой механики.....	109
5.3. Гипотеза Планка.....	113

5.4. Измерения в квантовой механике.....	116
5.5. Волновая функция и принцип неопределенности В. Гейзенберга.....	117
5.6. Квантовая механика и обратимость времени.....	119
5.7. Квантовая электродинамика.....	120

*Контрольные вопросы.....*121

*Литература.....*121

Глава 6. ФИЗИКА ВСЕЛЕННОЙ.....122

6.1. Космологическая модель А. Эйнштейна — А.А. Фридмана.....123

6.2. Другие модели происхождения Вселенной.....125

584

6.2.1. Модель Большого Взрыва.....	126
6.2.2. Реликтовое излучение.....	130
6.2.3. Расширяется или сжимается Вселенная?.....	131
6.2.4. Сценарий развития Вселенной после Большого Взрыва.....	133
6.2.5. Модель раздувающейся Вселенной.....	136
6.3. Современные представления об элементарных частицах как первооснове строения материи Вселенной.....	138
6.3.1. Классификация элементарных частиц.....	140
6.3.2. Кварковая модель.....	142
6.4. Фундаментальные взаимодействия и мировые константы.....	145
6.4.1. Мировые константы.....	147
6.4.2. Фундаментальные взаимодействия и их роль в природе.....	149
6.4.3. Из чего же состоит вещество Вселенной?.....	150
6.4.4. Черные дыры.....	152
6.5. Модель единого физического поля и многомерность пространства — времени.....	156
6.5.1. Возможность многомерности пространства.....	157
6.6. Устойчивость Вселенной и антропный принцип.....	160
6.6.1. Множественность миров.....	161
6.6.2. Иерархичность структуры Вселенной.....	164
6.7. Антивещество во Вселенной и антигалактики.....	167
6.8. Механизм образования и эволюции звезд.....	169
6.8.1. Протон—протонный цикл.....	169
6.8.2. Углеродно-азотный цикл.....	171
6.8.3. Эволюция звезд.....	172
6.8.4. Пульсары.....	175
6.8.5. Квазары.....	178

*Контрольные вопросы.....*181

*Литература.....*181

Глава 7. ПРОБЛЕМА «ПОРЯДОК-БЕСПОРЯДОК» В ПРИРОДЕ И ОБЩЕСТВЕ. СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ.....182

7.1. Неравновесная термодинамика и синергетика.....	183
7.2. Динамика хаоса и порядка.....	185
7.3. Модель Э. Лоренца.....	186
7.4. Диссипативные структуры.....	187
7.5. Ячейки Бенара.....	187
7.6. Реакции Белоусова — Жаботинского.....	188
7.7. Динамический хаос.....	190
7.8. Фазовое пространство.....	191
7.9. Аттракторы.....	192
7.10. Режим с обострением.....	198

585

7.11. Модель Пуанкаре описания изменения состояния системы.....	203
7.12. Динамические неустойчивости.....	205
7.13. Изменение энергии при эволюции системы.....	206
7.14. Гармония хаоса и порядка и «золотое» сечение.....	207
7.15. Открытые системы.....	212
7.16. Принцип производства минимума энтропии.....	213

*Контрольные вопросы.....*215

*Литература.....*215

Глава 8. СИММЕТРИЯ И АСИММЕТРИЯ В РАЗЛИЧНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЯВЛЕНИЯХ.....216

Горбачев В. В. Концепции современного естествознания:—М.: ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век»: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2003. — 592 с: ил.

8.1. Симметрия и законы сохранения.....	219
8.2. Симметрия—асимметрия.....	221
8.3. Закон сохранения электрического заряда.....	222
8.4. Зеркальная симметрия.....	223
8.5. Другие виды симметрии.....	224
8.6. Хиральность живой и неживой природы.....	227
8.7. Симметрия и энтропия.....	229
<i>Контрольные вопросы.....</i>	<i>230</i>
<i>Литература.....</i>	<i>230</i>
Глава 9. СОВРЕМЕННАЯ ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНАЯ КАРТИНА МИРА С ПОЗИЦИИ ФИЗИКИ.....	231
9.1. Классификация механик.....	232
9.2. Современная физическая картина мира.....	234
<i>Контрольные вопросы.....</i>	<i>238</i>
<i>Литература.....</i>	<i>238</i>
Часть вторая. ФИЗИКА ЖИВОГО И ЭВОЛЮЦИЯ ПРИРОДЫ И ОБЩЕСТВА.....	239
Глава 10. ОБЩИЕ ПРОБЛЕМЫ ФИЗИКИ ЖИВОГО.....	239
Глава 11. ОТ ФИЗИКИ СУЩЕСТВУЮЩЕГО К ФИЗИКЕ ВОЗНИКАЮЩЕГО.....	241
11.1. Термодинамические особенности развития живых систем.....	243
11.1.1. Роль энтропии для живых организмов.....	244
11.1.2. Неустойчивость как фактор развития живого.....	247
11.2. Энергетический подход к описанию живого.....	249
11.2.1. Устойчивое неравновесие.....	251
11.3. Уровни организации живых систем и системный подход к эволюции живого.....	253
11.3.1. Иерархия уровней организации живого.....	253
11.3.2. Метод Фибоначчи как фактор гармонической самоорганизации.....	255
11.3.3. Физический и биологический методы изучения природы живого.....	257
11.3.4. Антропный принцип в физике живого.....	259
11.3.5. Физическая эволюция Л. Больцмана и биологическая эволюция Ч. Дарвина.....	262
11.4. Физическая интерпретация биологических законов.....	264
11.4.1. Физические модели в биологии.....	265
11.4.2. Физические факторы развития живого.....	268
11.5. Пространство и время для живых организмов.....	270
11.5.1. Связь пространства и энергии для живого.....	271
11.5.2. Биологическое время живой системы.....	272
11.5.3. Психологическое время живых организмов.....	276
11.6. Энтропия и информация в живых системах.....	280
11.6.1. Ценность информации.....	282
11.6.2. Кибернетический подход к описанию живого.....	285
11.6.3. Роль физических законов в понимании живого.....	287
<i>Контрольные вопросы.....</i>	<i>289</i>
<i>Литература.....</i>	<i>289</i>
Глава 12. ФИЗИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ПРИНЦИПЫ БИОЛОГИИ.....	289
12.1. От атомов к протожизни.....	289
12.1.1. Гипотезы происхождения жизни.....	289
12.1.2. Необходимые факторы возникновения жизни.....	293
12.1.3. Теория абиогенного происхождения жизни А.И. Опарина . . .	294
12.1.4. Гетеротрофы и автотрофы.....	297
12.2. Химические процессы и молекулярная самоорганизация.....	299
12.2.1. Химические понятия и определения.....	300
12.2.2. Аминокислоты.....	306
12.2.3. Теория химической эволюции в биогенезе.....	307
12.2.4. Теория молекулярной самоорганизации М. Эйгена.....	308
12.2.5. Циклическая организация химических реакций и гиперциклы.....	310

587

12. 3. Биохимические составляющие живого вещества.....	313
12.3.1. Молекулы живой природы.....	313
12.3.2. Мономеры и макромолекулы.....	315
12.3.3. Белки.....	316
12.3.4. Нуклеиновые кислоты.....	321
12.3.5. Углеводы.....	323
12.3.6. Липиды.....	327
12.3.7. Роль воды для живых организмов.....	330
12.4. Клетка как элементарная частица молекулярной биологии	332
12.4.1. Строение клетки.....	334
12.4.2. Процессы в клетке.....	338
12.4.3. Клеточные мембраны.....	339
12.4.4. Фотосинтез.....	341
12.4.5. Деление клеток и образование организма.....	342
12.5. Роль асимметрии в возникновении живого.....	346
12.5.1. Оптическая активность вещества и хиральность.....	347
12.5.2. Гомохиральность и самоорганизация в живых организмах.....	349

*Контрольные вопросы.....*353

*Литература.....*353

Глава 13. ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ВОСПРОИЗВОДСТВА И РАЗВИТИЯ ЖИВЫХ СИСТЕМ.....354

13.1. Информационные молекулы наследственности.....	354
13.1.1. Генетический код.....	355
13.1.2. Гены и квантовый мир.....	359
13.2. Воспроизводство и наследование признаков.....	360
13.2.1. Генотип и фенотип.....	361
13.2.2. Законы генетики Г. Менделя.....	362
13.2.3. Хромосомная теория наследственности.....	363
13.3. Процессы мутагенеза и передача наследственной информации.....	365
13.3.1. Мутации и радиационный мутагенез.....	365
13.3.2. Мутации и развитие организма.....	370
13.4. Матричный принцип синтеза информационных макромолекул и молекулярная генетика...373	
13.4.1. Передача наследственной информации через репликации ...	373
13.4.2. Матричный синтез путем конвариантной редупликации.....	375
13.4.3. Транскрипция.....	375
13.4.4. Трансляция.....	376
13.4.5. Отличия белков и нуклеиновых кислот.....	379
13.4.6. Новый механизм передачи наследственной информации и прионные болезни.....	380

*Контрольные вопросы.....*382

*Литература.....*382

588

Глава 14. ФИЗИЧЕСКОЕ ПОНИМАНИЕ ЭВОЛЮЦИОННОГО И ИНДИВИДУАЛЬНОГО РАЗВИТИЯ ОРГАНИЗМОВ.....383

14.1. Онтогенез и филогенез. Онтогенетический и популяционный уровни организации жизни....	383
14.1.1. Закон Геккеля для онтогенеза и филогенеза.....	383
14.1.2. Онтогенетический уровень жизни.....	384
14.1.3. Популяции и популяционно-видовой уровень живого.....	385
14.2. Физическое представление эволюции.....	387
14.2.1. Синтетическая теория эволюции.....	387
14.2.2. Эволюция популяций.....	388
14.2.3. Элементарные факторы эволюции.....	391
14.2.4. Живой организм в индивидуальном и историческом развитии.....	392
14.2.5. Геологическая эволюция и общая схема эволюции Земли	

по Н.Н. Моисееву.....	393
14.3. Аксиомы биологии.....	396
14.3.1. Первая аксиома.....	397
14.3.2. Вторая аксиома.....	398
14.3.3. Третья аксиома.....	400
14.3.4. Четвертая аксиома.....	402
14.3.5. Физические представления аксиом биологии.....	404
14.4. Признаки живого и определения жизни.....	406
14.4.1. Совокупность признаков живого.....	407
14.4.2. Определения жизни.....	410
14.5. Физическая модель демографического развития С.П. Капицы...	414

Контрольные вопросы..... 419

Литература..... 419

Глава 15. ФИЗИЧЕСКИЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПОЛЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ СТРУКТУР..... 420

15.1. Физические поля и излучения функционирующего организма человека.....	420
15.1.1. Электромагнитные поля и излучения живого организма.....	422
15.1.2. Тепловое и другие виды излучений.....	429
15.2. Механизм взаимодействия излучений человека с окружающей средой.....	431
15.2.1. Электромагнитное и ионизирующее излучения.....	431
15.2.2. Возможности медицинской диагностики и лечения на основе излучений из организма человека.....	436
15.3. Устройство памяти. Воспроизводство и передача информации в организме.....	440

589

15.3.1. Физические процессы передачи информационного сигнала в живом организме...	441
15.3.2. Физическая основа памяти.....	444
15.3.3. Человеческий мозг и компьютер.....	448

Контрольные вопросы..... 450

Литература..... 450

Глава 16. ФИЗИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ БИОСФЕРЫ И ОСНОВЫ ЭКОЛОГИИ..... 450

16.1. Структурная организованность биосферы.....	450
16.1.1. Биоценозы.....	451
16.1.2. Геоценозы и биогеоценозы. Экосистемы.....	452
16.1.3. Понятие биосферы.....	453
16.1.4. Биологический круговорот веществ в природе.....	455
16.1.5. Роль энергии в эволюции.....	456
16.2. Биогеохимические принципы В. И. Вернадского и живое вещество.....	458
16.2.1. Живое вещество.....	458
16.2.2. Биогеохимические принципы В. И. Вернадского.....	460
16.3. Физические представления эволюции биосферы и переход к ноосфере.....	462
16.3.1. Основные этапы эволюции биосферы.....	462
16.3.2. Ноосфера.....	463
16.3.3. Преобразование биосферы в ноосферу.....	464
16.4. Физические факторы влияния Космоса на земные процессы ..	467
16.4.1. Связь Космоса с Землей по концепции А. Л. Чижевского ...	470
16.5. Физические основы экологии.....	474
16.5.1. Увеличение антропогенной нагрузки на окружающую среду.....	474
16.5.2. Физические принципы ухудшения экологии.....	479
16.6. Принципы устойчивого развития.....	481
16.6.1. Оценки устойчивости биосферы.....	481
16.6.2. Концепция устойчивого развития и необходимость экологического образования...	484

Контрольные вопросы..... 486

<i>Литература</i>	486
Глава 17. ФИЗИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ САМООРГАНИЗАЦИИ В ЭКОНОМИКЕ	486
17.1. Экономическая модель длинных волн Н. Д. Кондратьева.....	489
17.2. Обратимость и необратимость процессов в экономике.....	492
17.3. Синергетические представления устойчивости в экономике.....	493
590	
17.4. Физическое моделирование рынка.....	495
17.5. Циклический характер экономических процессов в модели Н.Д. Кондратьева.....	496
17.6. Модель колебательных процессов в экономике.....	500
<i>Контрольные вопросы</i>	502
<i>Литература</i>	502
ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ЭВОЛЮЦИОННО-СИНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ПАРАДИГМА: ОТ ЦЕЛОСТНОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ К ЦЕЛОСТНОЙ КУЛЬТУРЕ	503
ЛИТЕРАТУРА.....	513
ТЕМЫ КУРСОВЫХ РАБОТ, РЕФЕРАТОВ И ДОКЛАДОВ.....	518
ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ И ЭКЗАМЕНУ.....	524
СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ.....	528
591	
<i>Учебное издание</i>	
Горбачев Владимир Васильевич	
КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ	
Редакторы: <i>Е. С. Гридасова, А. В. Иванов</i>	
Младший редактор <i>О. А. Федорова</i>	
Художественно-технический редактор <i>Е. П. Хазова</i>	
Оригинал-макет подготовлен <i>ООО «Бета-Фрейм»</i>	
Подписано в печать 25.09.02. Формат 60х90 ¹ / ₁₆ .	
Гарнитура «Таймс». Печать офсетная. Усл. печ. л. 37,0.	
Тираж 7000 экз. Заказ № 3684.	
ООО «Издательский дом «ОНИКС 21 век».	
Изд. лиц. ИД № 02795 от 11.09.2000.	
105066, Москва, ул. Доброслободская, 5а.	
Отдел реализации: тел. (095) 310-75-25, 150-52-11	
Internet: www.onyx.ru ; e-mail: mail@onyx.ru	
ООО «Издательство «Мир и Образование».	
Изд. лиц. ИД № 05088 от 18.06.2001.	
109193, Москва, 5-я Кожуховская ул., д. 13, стр. 1.	
Тел./факс (095) 928-78-26	
E-mail: mir-obrazovanie@rambler.ru	
Отпечатано на ФГУП Тверской ордена Трудового Красного Знамени полиграфкомбинат детской литературы им. 50-летия СССР Министерства Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций. 170040, г. Тверь, проспект 50-летия Октября, 46.	



Сканирование и форматирование: [Янко Слава](http://yanko.lib.ru) (Библиотека Fort/Da) || slavaaa@yandex.ru || yanko_slava@yahoo.com || <http://yanko.lib.ru> || Исq# 75088656 || Библиотека: <http://yanko.lib.ru/gum.html> || Номера страниц - внизу
update 20.11.06