

Министерство образования и науки Российской Федерации

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

ФАКУЛЬТЕТ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ (ФДО)

О. В. Воеводина

КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Учебное пособие

Томск
2015

УДК 5(075.8)
ББК 20я73
В 630

Рецензенты:

Брудный В. Н., докт. физ.-мат. наук, профессор,
директор научно-образовательного центра «Нанoeлектроника»;
Ивонин И. В., докт. физ.-мат. наук, проректор по научной работе
Томского государственного университета.

Воеводина О. В.

В 630 Концепции современного естествознания : учебное пособие /
О. В. Воеводина. — Томск : факультет дистанционного обучения ТУСУРа,
2015. — 206 с.

Учебное пособие представляет собой конспект лекций по курсу «Концепции современного естествознания». Конспект не является научным трудом, поэтому в тексте нет ссылок на научную литературу. Список литературы, цитируемой автором, которым можно воспользоваться для более глубокого освоения предмета, приведен в конце конспекта.

Учебное пособие имеет целью помочь студентам ТУСУРа сориентироваться в безбрежном океане учебной литературы по данной дисциплине и на еще более бескрайних просторах Интернет-сайтов.

Учебное пособие предназначено для студентов различных гуманитарных специальностей, изучающих данную дисциплину и обучающихся на всех формах обучения, в том числе с использованием дистанционных образовательных технологий.

УДК 5(075.8)
ББК 20я73

© Воеводина О. В., 2015
© Оформление.
ФДО, ТУСУР, 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	8
1 Методы научного познания	12
1.1 Методы эмпирического уровня познания	12
1.2 Теоретический уровень научного познания природы	13
1.3 Методы, используемые и на теоретическом, и на экспериментальном уровне научного познания природы	15
1.4 Примеры физических моделей реального мира	16
2 Античная картина мира	20
2.1 Понимание материи	21
2.1.1 Атомистическая концепция	21
2.1.2 Континуальная концепция	22
2.2 Представления о движении	23
2.3 Взаимодействие. Близкодействие и далекодействие	25
2.4 Пространство и время. Субстанциальная и реляционная концепции .	26
2.5 Представления о причинности, закономерности и случайности	27
2.5.1 Концепция жесткого детерминизма	27
2.5.2 Телеологическая концепция	27
2.6 Представления об общем устройстве и происхождении мира	28
2.6.1 Геоцентризм	28
2.6.2 Пантеизм	29
3 Естествознание эпохи возрождения и Нового времени.	
Механистическая Ньютоновская картина мира	30
3.1 Понимание материи	31
3.2 Представления о движении	32
3.2.1 Первый закон Ньютона. Инерциальные системы отсчета . . .	32
3.2.2 Второй закон Ньютона	34
3.3 Представления о взаимодействии	34
3.3.1 Третий закон Ньютона	34
3.3.2 Закон всемирного тяготения	35
3.4 Представления о пространстве и времени	37
3.5 Законы сохранения	38
3.5.1 Виды симметрии	38
3.5.2 Теорема Эмми Нётер	39
3.5.3 Закон сохранения и превращения энергии	39
3.5.4 Закон сохранения импульса	40

3.5.5	Закон сохранения момента импульса	41
3.6	Представления о причинности, закономерности и случайности	41
3.7	Представления об общем устройстве и происхождении мира	42
4	Релятивистская картина мира	45
4.1	Пространство и время в релятивистской картине мира	45
4.2	Классический закон сложения скоростей	46
4.3	Опыт Майкельсона—Морли	46
4.4	Частная (специальная) теория относительности (СТО)	46
4.5	Два постулата специальной теории относительности	47
4.6	Преобразования Лоренца	48
4.7	Принцип соответствия	49
4.8	Следствия из преобразований Лоренца	49
4.8.1	Лоренцево сокращение длины	49
4.8.2	Промежуток времени между событиями	50
4.8.3	Преобразование скоростей. Релятивистский закон сложения скоростей	51
4.8.4	Одновременность событий	51
4.8.5	Причинно-следственная связь между событиями	52
4.9	Релятивистское выражение для импульса	53
4.9.1	Релятивистское выражение для энергии	54
4.10	Четырёхмерное пространство-время	55
4.11	Пространственно-временной интервал между событиями	56
4.12	Понятие об общей теории относительности	57
4.12.1	Постановка задачи	57
4.12.2	Неинерциальные системы отсчёта. Силы инерции	57
4.12.3	Принцип эквивалентности	58
4.12.4	Кривизна пространства	59
4.12.5	Наблюдения, подтверждающие справедливость ОТО	61
4.12.6	Возможность появления черных дыр	62
4.12.7	Основная идея теории относительности	63
5	Развитие представлений об устройстве мира в термодинамике и молекулярной физике	65
5.1	Динамические и статистические закономерности в природе	65
5.2	Что такое вероятность?	66
5.3	Функция распределения	66
5.4	Основной постулат молекулярной физики	67
5.5	Классическая термодинамика	68
5.5.1	Первое начало термодинамики	69
5.5.2	Второе начало термодинамики. Понятие энтропии	70
5.5.3	Энтропия и информация	73
5.5.4	Энтропия с точки зрения термодинамики	74
5.5.5	Стрела времени (направленность физических процессов)	76
5.5.6	Гипотеза тепловой смерти Вселенной	77
5.5.7	Свойства энтропии	77
5.5.8	Энтропия в открытых системах	78

5.5.9	Постулат Нернста. Третье начало термодинамики	78
5.5.10	Тепловые двигатели и охрана окружающей среды	79
6	Электромагнитная картина мира	81
6.1	«Электромагнитные» представления древних	81
6.2	Полевая форма существования материи — электрическое поле	82
6.2.1	Два вида электричества	82
6.2.2	Процесс заряжения тела (электризация)	82
6.2.3	Закон сохранения электрического заряда	83
6.2.4	Электрическое поле	83
6.2.5	Электрический заряд	84
6.2.6	Напряженность электрического поля	85
6.2.7	Силовые линии электрического поля	86
6.2.8	Электрический ток	86
6.3	Полевая форма существования материи — магнитное поле	87
6.3.1	Силовые линии магнитного поля	88
6.3.2	Явление электромагнитной индукции	89
6.4	Система уравнений Максвелла	89
6.5	Полевая форма существования материи — электромагнитное поле	90
6.6	Электромагнитное взаимодействие	91
6.7	Явления интерференции и дифракции	92
6.8	Основные характеристики электромагнитной картины мира	94
7	Квантово-полевая картина мира	98
7.1	Тепловое излучение	98
7.1.1	Излучение абсолютно черного тела	99
7.1.2	Характеристики теплового излучения	99
7.1.3	«Ультрафиолетовая катастрофа»	101
7.2	Квантовая теория света	102
7.2.1	Гипотеза Планка. Формула Планка	102
7.2.2	Фотоэффект	102
7.3	Концепция корпускулярно-волнового дуализма	104
7.3.1	Волновые свойства частиц. Волны де Бройля	104
7.3.2	Волновая функция	106
7.3.3	Уравнение Шрёдингера	106
7.3.4	Собственные значения энергии	107
7.4	Принцип неопределенностей Гейзенберга	108
7.5	Представления о детерминированности событий в мире	110
7.6	Принцип дополнительности	111
7.7	Природа атомного ядра. Состав атомного ядра	112
7.8	Ядерные силы	112
7.9	Концепция виртуальных частиц	113
7.10	Представления о матери в современной картине мира	113
7.11	Радиоактивные превращения ядер	114
7.12	Слабое взаимодействие	114
7.13	Элементарные частицы	115
7.14	Концепция кварков	115

7.15	Античастицы	116
7.16	Четыре вида фундаментальных взаимодействий, существующих в природе	117
7.17	Модели великого объединения	117
8	Концепции рождения и эволюции Вселенной	119
8.1	Космология древности	119
8.2	Модели стационарной Вселенной	120
8.3	Теория нестационарной Вселенной	120
8.4	Гипотеза «горячей Вселенной»	121
8.5	Звездная эволюция	121
8.5.1	Образование нейтронной звезды	122
8.5.2	Образование черной дыры	122
8.5.3	Белые карлики	123
8.6	Структура Вселенной	123
8.7	Темная материя	124
8.8	Темная энергия	124
8.9	«Наша» Галактика	124
8.10	Концепции космогонии. Система Земля — Луна	125
8.11	Жизнь и разум во Вселенной	127
9	Концепции химии	129
9.1	Определение химического элемента	129
9.2	Закон сохранения массы	130
9.3	Понятие молекулы	130
9.4	Периодический закон химических элементов — фундаментальный закон природы	131
9.5	Концепции неорганической химии	132
9.5.1	Химическая реакция	133
9.5.2	Скорость химической реакции	133
9.5.3	Закон действия (действующих) масс	134
9.5.4	Принцип Ле Шателье	134
9.5.5	Катализ	135
9.6	Концепции органической химии	136
9.7	Успехи органической химии	137
9.8	Эволюционная химия	140
10	Концепции биологии	142
10.1	Отличие живых существ от неживых объектов	143
10.2	Что такое белки?	144
10.3	Аминокислоты	145
10.4	Бiosинтез	146
10.5	Что такое ген?	147
10.6	Хромосомы	148
10.7	Принципы передачи наследственных признаков от родительских организмов к их потомкам. Законы Грегора Иоганна Менделя	149
10.8	Основные положения клеточной теории	151

10.9	Ткани живых организмов	154
10.10	Органная организация тканей	155
10.11	Организменная организация биологических систем	158
10.11.1	Надцарство прокариот	158
10.11.2	Надцарство эукариот	160
10.12	Онтогенез	164
10.12.1	Эмбриональный период развития	164
10.12.2	Период постэмбрионального развития	166
10.13	Популяция	166
10.13.1	Популяционные волны или волны жизни	168
10.13.2	Изоляция	169
10.13.3	Мутации	169
10.13.4	Естественный отбор	170
10.14	Видовой уровень организации органических материальных систем	170
10.15	Биоценоз	172
10.16	Биогеоценоз	174
10.17	Биосфера	175
10.17.1	Возникновение жизни на Земле	175
10.17.2	Учение о биосфере академика В. И. Вернадского	177
10.17.3	Ноосфера — сфера разума	179
11	Концепции синергетики. Принцип универсального эволюционизма	182
11.1	Условия возникновения самоорганизации	183
11.2	Примеры наблюдаемых явлений самоорганизации	185
11.3	Концепция универсального эволюционизма	186
	Заключение	189
	Литература	191
	Глоссарий	192

ВВЕДЕНИЕ

Зададим вопрос: «В связи с чем предмет «Концепции современного естествознания» введён в федеральный государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования по ряду направлений подготовки бакалавров?»

Что означает название данной дисциплины? Что данная дисциплина изучает?

Концепция (лат. *conceptio* — понимание) — основная точка зрения, трактовка явления.

Современные. Обязательно ли это теории, возникшие в последнее время? Нет, многие идеи, на которых строится современное естествознание, были сформулированы достаточно давно, однако их актуальность не вызывает сомнения. В современной науке живут идеи, выдвинутые Аристотелем, Пифагором, Платоном и многими другими мыслителями прошлого. Современными являются концепции, лежащие в основе современных представлений о мире, в основе наиболее выдающихся результатов естествознания, в основе современной культуры.

Естествознание — наука о природе (не об обществе). Великий мыслитель древности Аристотель (384–322 гг. до н. э.) свой труд, посвященный исследованию природы, назвал «Физика» (греч. φύσις — природа). Так учение о природе с тех пор и называется. Что такое природа? Это весь окружающий нас материальный мир, вся Вселенная.

Как и почему именно таким образом, а не иначе устроен окружающий нас мир? Из чего, из каких «первокирпичиков» он состоит? Как возник? Каким образом изменяется? Каким законам подчиняется? Ответы дает наука о природе — физика.

Зародилась наука о природе, физика, в глубокой древности, поскольку загадочные явления природы всегда привлекали к себе внимание людей.

Первоначально единая наука о природе включала в себя всю совокупность знаний о природных явлениях, происходящих и на Земле, и на небе. Затем из единой науки о природе по мере дифференциации (установления различий) знаний, дифференциации методов исследования стали выделяться отдельные науки. Таким образом, наука о природе — физика — это колыбель, фундамент, основа всех естественных наук, начало всех начал. Фактически можно считать все остальные естественные науки подразделами физики. Физика — основа космологии; физика и космология — основа химии; физика и химия — основа биологии; физика, химия и космология — основа геологии. Физика — всеобъемлющая наука. Никакой процесс природы не находится вне физики. Существуют общие, объективные, не за-

висящие от воли и желания людей законы природы, законы физики. Им подчиняются явления, исследуемые и астрономами, и химиками, и биологами, и геологами, подчиняется все, что происходит вокруг нас в мире неживой и живой природы.

Зачем гуманитариям нужны естественнонаучные знания? Какая польза от естественнонаучных знаний?

Естественнонаучные знания и основанные на них современные технологии формируют новый образ жизни. Современный человек не может дистанцироваться от фундаментальных знаний об окружающем мире, не рискуя оказаться беспомощным в своей профессиональной деятельности любой направленности.

Да, естественные науки в развитии современной цивилизации обеспечивают научно-технический прогресс, но, кроме того, естественные науки формируют особый тип мышления, особый тип критически-аналитической рациональности (лат. *ratio* — разум, разумность, осмысленность), что необходимо для мировоззренческой ориентации современного человека. Недостаток этого типа мышления приводит к кризисным ситуациям в обществе. Мировоззренческие функции современного естествознания не сводятся только к тому, что оно дает знания о природе, поскольку само знание — это еще не мировоззрение. Оно становится таковым, когда в общественное сознание входит тот тип рациональности, который дают естественные науки. Научное мировоззрение обеспечивает восприятие достижений науки обществом, обеспечивает устойчивость к манипуляциям общественным сознанием.

Можно сказать, что духовность во многом определяется естественнонаучными знаниями и умением разбираться в окружающем мире.

В чем отличие законов природы от законов общества?

Общие, объективные законы природы, законы физики, не зависят от воли и желания людей, стремящихся к своим определенным целям. Появляются и исчезают государства, меняются социально-политические институты, культура, право, религия, мораль, но сегодня, как и 23 века тому назад, на тело, погружённое в жидкость (или газ), действует выталкивающая сила Архимеда, равная силе тяжести вытесненной этим телом жидкости (или газа) $F_{\text{Архимеда}} = m_{\text{жидкости}} \cdot g$, где $m_{\text{жидкости}}$ — масса вытесненной телом жидкости, g — ускорение свободного падения.

Законам физики подчиняется все, что происходит вокруг нас и внутри нас. Знакомство с важнейшими, не подвластными воле людей, абсолютно одинаковыми и для принцев, и для нищих законами функционирования Вселенной, законами физики, лежащими в основе всех явлений природы, в основе действия всех машин, с законами, без которых нельзя понять жизнь растений, жизнь животных, жизнь самого человека, является неотъемлемой составляющей процесса формирования всесторонне развитой личности.

Человеку, живущему в современном обществе и стремящемуся стать гармоничной личностью, необходимо хотя бы прикоснуться к тому огромному пласту естественнонаучной культуры, который составляет сокровищницу мировой цивилизации.

Ответ на поставленный в начале вопрос.

Курс «Концепции современного естествознания (КСЕ)» введён в образовательный стандарт многих направлений подготовки гуманитарного профиля в связи:

- 1) с необходимостью любого образованного человека иметь представление о современных достижениях человечества в области естественных наук;

- 2) необходимостью «строгого воспитания мысли», формирования естественнонаучного типа мышления, т. к. человек, привыкший мыслить точно и логично, видит абсурдность и тенденциозность утверждения, даже в том случае, если оно замаскировано самой изощренной демагогией, может адекватно воспринимать окружающий мир, не допускать манипуляции сознанием и принимать грамотные управленческие решения;
- 3) необходимостью знания экологического состояния нашей планеты, знания причин, поставивших человечество на грань экологической катастрофы, и путей их предотвращения и устранения, необходимостью формирования такого мироощущения, при котором применение новых знаний во вред всему живущему на Земле станет абсолютно невозможным.

Какие пути достижения указанных целей используют естественные науки? Какими путями идет физика к познанию законов мироздания?

«Путь к чему-нибудь» по-гречески — методос.

Соглашения, принятые в книге

Для улучшения восприятия материала в данной книге используются пиктограммы и специальное выделение важной информации.



.....
 Эта пиктограмма означает определение или новое понятие.



.....
 Эта пиктограмма означает внимание. Здесь выделена важная информация, требующая акцента на ней. Автор здесь может поделиться с читателем опытом, чтобы помочь избежать некоторых ошибок.



.....
 Эта пиктограмма означает цитату.



.....
 В блоке «На заметку» автор может указать дополнительные сведения или другой взгляд на изучаемый предмет, чтобы помочь читателю лучше понять основные идеи.



.....
 Эта пиктограмма означает теорему, закон.



Пример

Эта пиктограмма означает пример. В данном блоке автор может привести практический пример для пояснения и разбора основных моментов, отраженных в теоретическом материале.



Выводы

Эта пиктограмма означает выводы. Здесь автор подводит итоги, обобщает изложенный материал или проводит анализ.



Контрольные вопросы по главе

Глава 1

МЕТОДЫ НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ



.....
Научный метод — способ получения знаний, позволяющий в дальнейшем его воспроизводить, проверять и передавать.
.....

Метод организует поиск истины, позволяет двигаться к цели кратчайшим путем, экономить силы и время. Поскольку критерием истины (от др. греч. κριτήριον — мерило, основание для принятия решения) является, с одной стороны, соответствие знаний опыту и практике, а с другой — соответствие знаний логическим законам (истинно всё, что не заключает в себе противоречия, логически правильно), то все известные методы познания можно разделить на эмпирические (греч. *empeiria* — опыт, практика) и теоретические (логические процедуры). Развитие физики связано с одновременным использованием обеих ее методов — эмпирического и теоретического.

1.1 Методы эмпирического уровня познания

На эмпирическом уровне обычно накапливается опытный материал, делаются попытки его первичной обработки и обобщения. Эмпирический уровень научного познания (имеющий своей основой чувственное познание (ощущение, восприятие, представление, а также данные приборов) включает в себя такие методы познания, как научное наблюдение и эксперимент.



.....
Наблюдение — это целенаправленное восприятие явлений без вмешательства в них.
.....

Наблюдение как метод познания действительности применяется либо там, где невозможен или очень затруднен эксперимент (в астрономии, вулканологии, гидро-

логии) либо там, где стоит задача изучить именно естественное функционирование или поведение объекта (в экологии, социальной психологии и т. п.). Наблюдение, как научный метод познания, в отличие от обыденных наблюдений, характеризуется целенаправленностью, планомерностью, активностью.



.....
Эксперимент (лат. *experimentum* — опыт) — метод исследования явлений в контролируемых, специально создаваемых условиях.

Это более высокий и сложный уровень научного познания по сравнению с наблюдением. Экспериментатор может вызвать изучаемое явление, не ждать пока оно само произойдет, может создать желаемые условия наблюдения: высокое давление или глубокий вакуум, сильное электрическое поле или условия экранировки от внешних электромагнитных воздействий и т. д., может исследовать влияние на изучаемое явление именно интересующего его внешнего фактора, исключив все побочные, может многократно повторять производимое исследование, пока не получит воспроизводимые и достоверные результаты.

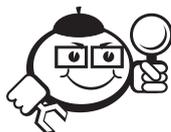
1.2 Теоретический уровень научного познания природы

Теоретический уровень исследования связан с результатами обобщения эмпирических знаний и попыткой их объяснения. Он посвящен раскрытию глубинных связей изучаемых явлений и осуществляется на рациональной, логической ступени познания. К используемым теоретическим уровням научного познания природы — методам открытия новых истин относятся следующие.



.....
Индукция (лат. *inductio* — наведение, побуждение) — это метод познания, основывающийся на формально-логическом умозаключении, которое приводит к получению общего вывода на основании частных посылок.

Индукция — движение мышления от частного, единичного к общему.



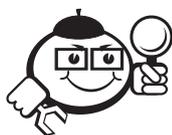
..... **Пример**

Пример индуктивного обобщения.

Были выполнены эксперименты по исследованию электрических свойств различных материалов. На основании многочисленных экспериментов с конкретными материалами был сделан общий вывод: с увеличением температуры у полупроводников растет электропроводность, у металлов — сопротивление.

.....

Убедительность индуктивных обобщений зависит от числа приводимых в подтверждение случаев. Чем обширнее база индукции, тем более правдоподобным является индуктивное заключение. Но иногда и при достаточно большом числе подтверждений индуктивное обобщение оказывается все-таки ошибочным.



Пример

Два примера индуктивных умозаключений.

1. Енисей течет с юга на север; Лена течет с юга на север; Обь и Иртыш текут с юга на север. Енисей, Лена, Обь, Иртыш — крупные реки Сибири.

Индуктивное обобщение: «Все крупные реки Сибири текут с юга на север».

2. При комнатной температуре алюминий, железо, медь, цинк, серебро, платина, золото, никель, барий, калий, свинец — твердые тела. Алюминий, железо, медь, цинк, серебро, платина, золото, никель, барий, калий, свинец — металлы.

Индуктивное обобщение: «При комнатной температуре все металлы — твердые тела». Все посылки этого умозаключения истинны, но его общее заключение ложно, ртуть — единственный из металлов — при комнатной температуре — жидкость.

Посылки обоих умозаключений истинны, но заключение 1-го истинно, а 2-ого — ложно.



Дедукция (лат. *deductio* — выведение) — это метод познания, приводящий к получению частных выводов на основе знания каких-то общих положений.

Дедукция — движение мышления от общего к частному, единичному.

Например, знаем общее положение «с увеличением температуры растет сопротивление металлов», из него следует дедуктивное умозаключение «медь — металл, следовательно, нагрев медной проволоки увеличит ее сопротивление». Или знаем общее положение «все звёзды светят не отраженным, а собственным светом», из него следует дедуктивное умозаключение: «Луна, Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн светят отраженным, а не собственным светом. Луна, Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер, Сатурн — не звезды».



Абстрагирование — отвлечение от ряда несущественных для данного исследования свойств и отношений изучаемого явления с одновременным выделением интересующих характеристик объекта и обозначением их в виде символа.

Символ звука человеческой речи — буква, символ музыкального звука — нота. Абстрактное мышление подразумевает оперирование абстракциями («человек во-

обще», «число три» и т. д.), в отличие от конкретного мышления, имеющего дело с конкретными объектами и процессами («Аристотель», «три медведя» и т. д.).

1.3 Методы, используемые и на теоретическом, и на экспериментальном уровне научного познания природы

Приёмы познания окружающей нас действительности, используемые как на теоретическом, так и на экспериментальном уровне научного познания природы.



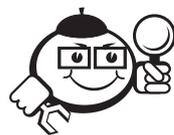
.....
Анализ — мысленное или реальное разложение объекта на составные элементы в целях всестороннего изучения.
.....

Умение мыслить связывают с умением анализировать. Анализ родился в недрах естествознания, но быстро стал универсальным для любой области знания. Так, в медицине диагностика заболеваний немислима без результатов анализов функционирования различных органов. Анализ прочно вошел и в гуманитарную сферу (экономический, политический, социологический анализ). Аналитический метод составляет первый этап познания. Его обязательно должен сопровождать синтез.



.....
Синтез — это метод изучения объекта в целостности на базе изученных в процессе анализа отдельных его сторон.
.....

Синтез не означает простое механическое соединение разъединенных анализом элементов в единую систему. Он раскрывает место и роль каждого элемента в системе целого, устанавливает их взаимосвязь и взаимообусловленность. Анализ и синтез — не две оторванные друг от друга познавательные операции, а две стороны единого аналитико-синтетического метода.



Пример

.....
Примеры: органический синтез, позволяющий получать сложные вещества, которых нет в природе (красители, лекарства), из более простых компонентов. Любой конвейер, на котором собирают сложные агрегаты (от часов до автомобилей и самолетов), олицетворяет собой идею синтеза. В теоретическом научном знании синтез может выступать как объединение в определенных аспектах противоположных теорий (например, синтез корпускулярных и волновых свойств любого объекта природы в концепции корпускулярно-волнового дуализма).
.....



.....
Моделирование — это исследование каких-либо явлений, процессов или объектов путем построения и изучения их моделей.

Модель — упрощённое представление реального устройства или явления.

.....

Это одна из основных категорий теории познания: на идее модели базируется любой метод научного исследования — как теоретический (использующий различного рода абстрактные модели), так и экспериментальный (предметные модели).

1.4 Примеры физических моделей реального мира

Ни одна физическая задача не может быть решена абсолютно точно. Всегда пренебрегают какими-то параметрами, которые для рассматриваемого случая не существенны, то есть используют упрощенную, но сохраняющую главные черты версию реальной физической системы или процесса — модель.

Часто можно пренебречь размерами движущегося тела. Не важен размер пули при описании ее полета к мишени. Не важен размер автомобиля по сравнению с многокилометровым расстоянием, которое он должен проехать. Это обстоятельство обычно иллюстрируют таким примером.



Пример

.....

Представьте, что, путешествуя в автомобиле, вы спросите прохожего: «Далеко ли до Москвы?». Будет смешно, если он ответит: «Шоферу до Москвы — 5 км, а пассажирам на заднем сидении — 5 км и 1 м...».

.....

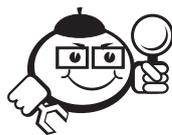


.....
Материальная точка — абстрактное тело, имеющее массу, но лишённое линейных размеров (длины, ширины, высоты), точечная масса.

.....

Материальная точка — простейшая физическая модель. Данной абстракцией можно заменить в исследовании самые различные реальные объекты: от атомов и молекул до планет Солнечной системы при изучении их движения вокруг Солнца. Одна и та же модель может быть использована для объяснения совершенно различных физических явлений.

Альберт Эйнштейн говорил: «Можно сделать так много, зная так мало».



Пример

Пример, демонстрирующий важность использования предметного моделирования.

Исследования ученого-кораблестроителя В. Рида, выполненные им на модели английского броненосца «Кэптэн», построенного 1870 году, выявили серьезные дефекты в его конструкции. Но английское Адмиралтейство не приняло во внимание результаты опытов с «игрушкой». При выходе в море «Кэптэн» перевернулся, что повлекло за собой гибель более полутысячи моряков.

В настоящее время предметное моделирование широко используется для разработки и экспериментального исследования различных сооружений (плотин электростанций, оросительных систем и т. д.), различных машин, самолетов (аэродинамические качества самолетов, в частности, исследуются путем обдувания воздушным потоком их моделей в аэродинамической трубе).

Что такое научная картина мира? В основе научного знания лежат факты, результаты наблюдений и экспериментов. Из множества похожих фактов выводятся научные законы и высказываются гипотезы.



Физический закон — это устойчивая связь между повторяющимися явлениями и процессами в окружающем мире.

Физический закон считается верным, если он подтверждён многократными экспериментами. Физические законы уточняются, но не меняются со временем.



Гипотеза (от греч. предположение) — это недоказанное утверждение, предположение или догадка.

Гипотеза — передовой край науки, вероятностное знание, нуждающееся в дополнительной проверке. Так, было установлено, что в вакууме все тела, как тяжелые, так и легкие, падают на Землю одинаково быстро, все маятники одинаковой длины колеблются с одинаковым периодом, независимо от их массы, Луна вращается вокруг Земли, а Земля и другие планеты — вокруг Солнца по неизменным орбитам. Но почему так происходит? Есть что-нибудь общее между всеми этими закономерностями? Великий английский физик Ньютон высказал гипотезу, согласно которой причина всех этих явлений одна — это закон всемирного тяготения.

Гипотезу затем или опровергают, переводя в разряд ложных утверждений, или доказывают, превращая её в установленный факт, переводя гипотезу в ранг теории.



.....

Научная теория — это система знаний, описывающая и объясняющая определенную совокупность явлений, дающая обоснование всех выдвинутых положений и сводящая открытые в данной области законы к единому основанию.

.....

Теория в отличие от гипотезы представляет собой не вероятное, а достоверное знание. Любая теория многофункциональна. *Синтетическая функция* теории заключается в объединении отдельных научных знаний в единую систему. *Объяснительная функция* — в выявлении причинных связей конкретного явления, его существенных характеристик, законов его происхождения и развития. «Вся трудность физики... состоит в том, чтобы по явлениям движения распознать силы природы, а затем по этим силам объяснить остальные явления», — писал великий английский физик Ньютон. *Методологическая функция* отвечает за разработку на базе теории разнообразных методов, способов и приемов исследовательской деятельности. *Предсказательная функция* формулирует представления о неизвестных ранее фактах, объектах и их свойствах. *Практическая функция* заключается в возможности теории быть воплощенной в практику, стать инструментом изменения действительности.

Примером фундаментальной физической теории является созданная великим английским физиком Ньютоном классическая теория тяготения, описывающая гравитационное взаимодействие законом всемирного тяготения.

Требования к гипотезам, законам, теориям

1. Они должны соответствовать дающему возможность разделить научное и ненаучное знания *принципу верификации*.



.....

Верификация (от лат. *verus* — правда, истина + *facio* — делать) — это прямая эмпирическая проверка научных утверждений или проверка истинности логических отношений между теоретическими научными утверждениями.

.....

2. Они должны соответствовать *принципу фальсифицируемости*.



.....

Фальсифицируемость — принципиальная опровержимость утверждения.

.....

Суть принципа заключается в том, что должен быть возможен эксперимент, результат которого мог бы продемонстрировать неверность теории. Даже очень большое число подтверждающих фактов в отношении какого-либо утверждения, полученного путём индуктивного обобщения, делает его лишь весьма вероятным, но не твёрдо достоверным. При этом достаточно одного бесспорного опровергающего факта для того, чтобы это индуктивное обобщение было отброшено. Популярен такой пример: наблюдение любого числа белых лебедей не может верифици-

ровать утверждение, что существуют только белые лебеди. Наблюдение же всего одного черного лебедя доказывает, что обобщение «Все лебеди — белые» ложно, и способно фальсифицировать утверждение «Чёрных лебедей не существует».

Критерий фальсифицируемости более жесток, чем принцип верификации.

Таким образом, неверифицируемость и нефальсифицируемость данных требуют отнести эти данные к области псевдонауки. Кроме того, для псевдонаучных знаний характерны: некритический подход к исходным данным (часто, в качестве таковых выступают рассказы, пересказы «очевидцев», мифы, легенды), фрагментарность (отрывочность, неполнота), невосприимчивость к критике, отсутствие общих законов, несистемность — отсутствие определенной системы псевдонаучных знаний, вследствие чего из них не выстраивается цельная картина мира.

Мы подошли к ответу на вопрос «Что такое научная картина мира?». Это качественное обобщение и мировоззренческий синтез различных научных теорий.



.....
Научная картина мира — это наиболее общие представления человека обо всей природе.

Термин «природа» в науке обозначает все, что существует не только на Земле, но и далеко за ее пределами. Синонимами слова «природа» в данном случае могут быть слова: «мир», «мироздание», «космос», «Вселенная».

Все научные картины мира рассматривают фундаментальные вопросы о материи, о движении, о пространстве и времени, о причинности, закономерности и случайности, о механизмах взаимодействия материальных тел, об общем устройстве мира.



Контрольные вопросы по главе 1

.....

1. Что является предметом изучения дисциплины «Концепции современного естествознания»?
2. Зачем гуманитариям нужны естественнонаучные знания?
3. Методы научного познания. Эмпирические методы познания. Теоретические методы познания.
4. Что такое научная картина мира? Фундаментальные вопросы, на которые отвечает научная картина мира.

Глава 2

АНТИЧНАЯ КАРТИНА МИРА

Основные достижения античной физики связаны с именами выдающихся древнегреческих мыслителей: Аристотеля, Архимеда, Аристарха Самосского, Клавдия Птолемея, Герона и др. Древние греки впитали в себя все знания цивилизаций еще более «седой» древности (ассиро-вавилонской, египетской, хеттской, финикийской крито-минойской, микенской и др.). Кроме того, успехи античной физики были обеспечены в немалой степени и тем, что в античном мире были созданы первые научные и образовательные центры: Ликей (или лицей — в древних Афинах (воспитательно-образовательное учреждение, первоначально представляющее собой простую квадратную площадку, обсаженную двумя рядами тополей) возле храма Аполлона Ликейского, где учил Сократ, затем Аристотель) и Александрийский музей (Мусейон — исследовательский, учебный и культурный центр эллинистической науки), находившийся на государственном обеспечении. В состав Музея входила обширная Александрийская библиотека. Музейом в древней Греции называли храм девяти муз. Отсюда современный термин «музей», хотя Музейон не занимался выставками каких-либо экспонатов и вообще не допускал посторонних.

Важным, несмотря на кажущуюся его второстепенность, фактором, обусловившим развитие физики в древнем мире, является благосклонное отношение к науке властьпридержащих. И Ликей, и Александрийский музей были созданы и существовали при всесторонней поддержке правителей. Традиционно полагается, что ориентация науки на практическое использование у древних греков считалась излишней (все трудные работы выполняли рабы). Однако понимание того, что именно физика обеспечивает наиболее эффективное развитие производительных сил, обороноспособности и военной мощи государства, несомненно, существовало.

Главные признаки античной картины мира

Цель научного познания античная наука определяла, как изучение процесса превращения первоначального Хаоса в Космос (греч. *kosmos* — упорядоченность) — разумно организованный и устроенный мир через поиски космического, порядкообразующего начала. В своих утверждениях представители античной науки руководствовались идеей о единстве всего сущего, о происхождении вещей из какого-либо природного первоначала, о всеобщей одушевленности материи.

2.1 Понимание материи



.....
Материя (в любой ее форме) — это то, что существует независимо от нас и поддается эмпирическому познанию.

Это ответ на поставленный древнегреческим мыслителем, математиком Фалёсом вопрос: «Что есть всё?».

Нас окружают совершенно разные сущности, многообразие их бесконечно. Все сущности разные, но мы называем все существующее окружающим миром, мирозданием, или Вселенной, предполагая единство всего существующего. Мир является единым и цельным, значит, у него есть общая основа, одна для всех разных сущностей. За разнообразием кроется невидимое единство, подобно тому, как в алфавите всего три десятка букв, которые складываются в миллионы слов, или в музыке всего семь нот, но разные их сочетания создают необъятный мир звуковой гармонии. Античные мыслители пытались найти эту первооснову, которая разворачивается в бесконечное мировое многообразие. Они называли ее *αρχή* (архе — первоначало).

Таким образом, для античной картины мира характерно понимание материи как субстанции (лат. *substantia* — сущность; то, что лежит в основе, то, что существует самостоятельно, само по себе), составляющей первооснову всего сущего. Атрибутами (от лат. *attributio* — неотъемлемое свойство) материи являются универсальность (все вещи состоят из нее) и первичность (она сама не из чего более простого не состоит).

Традиционно основоположником греческой науки, с которой начинается история европейской науки, считается Фалёс, древнегреческий мыслитель, математик, ученый, искавший физическое начало мироздания. Фалёс жил в городе Милёт (на побережье Малой Азии). Его школу называют милетской. Учениками Фалёса и продолжателями его идей были Анаксимён и Анаксимандр. Фалёс физическим началом, из которого все возникает и в которое все превращается, считал воду, Анаксимён — воздух, Анаксимандр первоначалом полагал первовещество, «áпейрон» — неопределенное, беспредельное. «...У него нет начала, но оно само является началом остальных вещей.» Гераклит Эфёсский (VI–V вв. до н.э.) считал первоначалом мира огонь. Мир или природа, согласно Гераклиту, находится в процессе непрерывных изменений, а из всего, что есть в природе, наиболее способен к изменениям именно огонь.

2.1.1 Атомистическая концепция

Демокрит (ок. 460–370 гг. до н.э.) — великий мыслитель древности, выдающийся представитель нерасчлененной науки древних греков, ученик Левкиппа — основателя теории атомного строения материи, создавший всеобъемлющую систему знаний на основе единого естественнонаучного принципа — атомистического учения. Согласно Демокриту, есть два независимых начала мироздания: атомы (бытие), из которых все состоит, и пустота (небытие), в которой атомы находятся

и движутся. Все фундаментальное бытие можно мыслить как образованное из бесчисленных неделимых и неуничтожимых частиц, атомов, имеющих разнообразную форму и беспорядочно движущихся в абсолютной пустоте окружающего пространства. Атомы сталкиваются и отталкиваются друг от друга, но иногда сцепляются в разных положениях и сочетаниях, что означает образование вещей с разным качеством (в том числе Земли и звезд). Материальные объекты можно делить на части только до определенного предела — до атомов, далее неделимых.



.....
*Атомистическая (корпускулярная) концепция Левкиппа—Демокрита: **Материя** — вещественная субстанция, состоящая из неделимых частиц — атомов.*

2.1.2 Континуальная концепция

Противоположным представлением являлась *континуальная концепция* (концепция непрерывной материи) Анаксагора—Аристотеля.



.....
*Континуальная концепция: **Материя (первоматерия)** — это непрерывная, бесконечно делимая однородная субстанция, заполняющая весь материальный мир.*

Анаксагор (ок. 500–428 гг. до н. э.) — древнегреческий математик и астроном. В сочинении Анаксагора «О природе» содержится отрицание пустоты в природе. Вещество делимо до бесконечности, «в мире нет наименьшего». Всякая вещь имеет частицы всех других вещей, «все содержит долю всего», а получают свои свойства вещи по количественному преобладанию элементов того или иного вида. Солнце и звезды Анаксагор считал раскаленными каменными массами и был первым ученым, давшим правильное объяснение солнечных и лунных затмений.



.....
 Великий древнегреческий ученый Аристотель — один из величайших мыслителей в истории человеческой цивилизации — в своих трудах систематизировал и обобщил естественнонаучные результаты, накопленные ранее древнегреческими учеными, и создал «энциклопедию античной мудрости». Труды Аристотеля охватывают все отрасли современного ему знания. Но следует заметить, что, несмотря на всю свою универсальность, Аристотель-ученый был, прежде всего и по преимуществу, биологом. Он описал детально, с большой точностью около 500 видов представителей «живой природы» и дал первую в истории науки классификацию животного мира. Многие факты, изложенные Аристотелем, «переоткрывались» в последующие века.

Аристотель учил, что материя (то, из чего состоит вся Вселенная) непрерывна, бесконечно делима и заполняет Вселенную, не оставляя места пустоте. Суще-

вание пустоты Аристотель отрицал как принципиально невозможное. Для движения материи, считал он, необходимости в пустоте нет: одни части движущейся материи уступают свое место другим, как вода в водовороте. Материя — бесформенная субстанция. Она служит только возможностью возникновения реальной вещи. Для того чтобы вещь стала реальностью, она должна получить форму.

Соединением материи с формами (простейшие из форм — теплое, холодное, сухое и влажное) образуются первоэлементы (стихии): земля, вода, воздух и огонь. Каждый элемент состоит из соединения двух противоположных качеств, одно из которых доминирует. Огонь — горячий и сухой. Вода — холодная и мокрая. Между ними находятся не столь противопоставленные друг другу элементы: земля — сухая и холодная, воздух — горячий и влажный. Благодаря бинарному строению стихии могут постепенно переходить друг в друга. Соединением первоэлементов образуются вещества (металлы, глина, кровь и др.). Соединением веществ образуются тела.

У Аристотеля Небо противопоставляется Земле. Из четырёх низших элементов — земли, воды, воздуха и огня — состоят все тела в «подлунном мире». Земля как наиболее тяжёлый элемент занимает центральное место. Над ней последовательно располагаются оболочки воды, воздуха и огня. Здесь все изменчиво и разруσιμο.

В «надлунном мире» все состоит из пятого, совершеннейшего элемента — эфира. Эфир (пятый элемент или *quinta essentia*) входит в состав звёзд и неба. Это божественный, нетленный, совершенно непохожий на другие четыре, вечный и неразрушимый элемент. Понятно, кому такое противопоставление понравилось. Канонизированное (в существенно измененном виде) католической церковью учение Аристотеля рассматривались в эпоху средневековья как абсолютная догма (греч. — утверждение, не допускающее возражений и критики) и послужило в ряде случаев тормозом дальнейшего развития науки.



Выводы

В античной картине мира присутствовали два противоположных представления о структуре материального мира.

Одно из них — *атомистическая (корпускулярная) концепция* Левкиппа—Демокрита — было основано на дискретности пространственно-временного строения материи, на недопустимости беспредельной делимости материи.

Другое представление — *континуальная концепция* Аристотеля — базировалось на признании бесконечной делимости вещества, отрицании пустоты, на идее однородности и непрерывности заполненного первоmaterией материального мира.

2.2 Представления о движении

Концепция всеобщности движения, безостановочной изменчивости вещей выражается известным высказыванием древнегреческого ученого Гераклита: «Нельзя войти дважды в одну и ту же реку». Высказывание Гераклита иллюстрирует пропо-

ведовавшуюся им концепцию всеобщего движения как основы мировой гармонии. Войти в ту же самую реку действительно невозможно: в ней течет уже другая вода, по другому руслу, и сам входящий уже не тот, каким он был в прошлый раз. «Все течет и ничто не останавливается», движение есть единственно возможный способ существования мира.

Но «дорога туда и обратно — одна и та же». С точки зрения Гераклита, мироздание является вечным движением и совершается по круговой траектории.

День сменяется ночью, после ночи наступает новый день. Солнце раз за разом проходит свой дневной путь с востока на запад тысячи и миллионы раз. Непрерывно сменяют друг друга зима, весна, лето и осень. Если мы видим вечное круговращение, естественно предположить, что оно и является одним из главных принципов мира, одной из основных черт всего существующего.



.....
Циклизм — постоянное движение и изменение в природе по кругу, в ходе которого бесконечно повторяются одинаковые циклы.

Демокрит, соглашаясь с этим принципом, утверждал, что наш мир складывается из атомов, носящихся в пустоте, через некоторое время он распадается на атомы и опять из атомов собирается. То есть мироздание Демокрита — также вечный круговорот.



Выводы

.....

Следует сказать, что у Демокрита (как и у других атомистов) речь идет о движении чисто механическом. При этом Демокрит полагал, что первичное движение никогда не было сообщено атомам, оно является основным способом их существования. Последнее положение очень важно для теории Демокрита. По существу, из него следует, что движение само по себе не нуждается в объяснении, причину нужно искать только для изменения движения. Это четкая констатация древнегреческими атомистами принципа инерции — первого закона Ньютона.

В отличие от атомистов Аристотель понимал движение как общее изменение, как активное превращение возможного в действительное, как рождение и гибель, рост и упадок, как любое изменение любого качества, т. е. предельно широко (в этом взгляды Аристотеля близки к современной научной картине мира).

.....

По Аристотелю, движение бывает двух видов: естественное и насильственное. Естественное движение в надлунном мире, где все вечно, совершенно и неизменно совершают небесные тела. Это бесконечное, равномерное, круговое, божественное движение по окружности вокруг центра мира; это движение является вечным, поскольку на окружности нет никаких граничных точек.

Первоисточником движения в мире является перводвигатель — Бог.

Естественное движение в подлунном мире (где четыре элемента имеют свои естественные места: Земля в центре, над ней сфера воды, над сферой воды сфе-

ра воздуха, над сферой воздуха сфера огня) определяется врожденным свойством всех тел стремиться к своему естественному месту и к покою. Элемент подлунного мира всегда стремится на свое место, для этого Аристотель приводил доказательство: если поднять в руке горсть земли, она упадет вниз, а если разжечь огонь, то он будет стремиться вверх. Воздух из-под воды стремится вверх, в сферу воздуха; огонь — вверх, в сферу огня; камень — вниз, по направлению к центру Земли и т. д. Естественное стремление тела занять «свое место» называлось «ропэ». Интересна созвучность представлений Аристотеля положениям общей теории относительности (ОТО) Эйнштейна. У Аристотеля «место», пространство оказывает силовое действие на тело. В ОТО искривленное пространство также «указывает» материи, как ей двигаться.

Сила стремления тела к естественному месту пропорциональна его массе, т. е. тяжелые тела падают быстрее, чем легкие (утверждение, впоследствии опровергнутое Галилео Галилеем).

Бренность земного доказывалась тем, что движение там шло по вертикальным линиям, то есть имело начало и конец. Элементы земли и воды, стремящиеся вниз, считались абсолютно тяжелыми. Элементы воздуха и огня, стремящиеся вверх, считались абсолютно легкими. А когда элементы достигают естественного места, движение их прекращается. Отсюда следовал вывод: Вселенная конечна, пустота существовать не может, Земля неподвижна, мир существует в единственном экземпляре.

Только движение тела к его естественному месту естественное. В противном случае движение насильственное. Только в подлунном мире существует насильственное движение. Насильственное движение возможно только, если к телу приложена сила со стороны другого тела: «всё, что находится в движении, должно двигаться чем-то другим»; движимое и движитель должны находиться в непосредственном контакте. По Аристотелю, когда внешнее действие прекращается, тело останавливается, скорость тела Аристотель считал пропорциональной приложенной силе. С этими утверждениями впоследствии не согласился великий английский физик Ньютон, сформулировав 1-ый и 2-ой законы механики.

2.3 Взаимодействие. Близкодействие и далекодействие

Согласно теории Аристотеля Вселенная плотно заполнена материей. По этой причине между любыми двумя телами обязательно найдется цепочка прилегающих друг к другу тел-посредников, по которой, как по эстафете, передается воздействие одного тела на другое. Осуществляется одностороннее воздействие движущего на движимое. Это первоначальная форма *концепции близкодействия*.



.....
Концепции близкодействия: передача воздействия только через посредников, при непосредственном контакте.

Концепция далекодействия: действие тел на расстоянии через пустоту.

Существования дальнодействия Аристотель не признавал. Представление о физическом взаимодействии Аристотеля тесно связано с его концепцией движения. Взаимодействие у Аристотеля не симметрично: в нем есть движущая сторона, которая действует на пассивную, не оказывающую никакого сопротивления, т. е. одностороннее воздействие одного тела на другое. Своим 3-им законом, утверждающим, что действие всегда равно противодействию, великий английский физик Ньютон с этим положением Аристотеля позднее не согласился.

2.4 Пространство и время. Субстанциальная и реляционная концепции



.....
Субстанциальная концепция: пространство и время — самостоятельные субстанции, существующие независимо от материи, отношения между пространством, временем и материей рассматриваются как межсубстанциональные.

Так, древнегреческие философы Демокрит, Эпикур, Лукреций Кар и др. считали, что для существования и движения атомов требуется пустота — некоеместилище, где атомы, сочетаясь различным образом в движении, образуют многообразие тел. Пустота существует сама по себе, независимо от того, имеются ли в ней атомы, пустота неизменна, как бы ни двигались в ней атомы. Время также представляет собой самостоятельную сущность, не связанную ни с материей, ни с пространством. Время отождествимо с вечностью — это чистая длительность, равномерно текущая от прошлого к будущему. Таким образом, пространство и время — субстанции, обладающие самостоятельным существованием и не зависящие ни от материи, ни друг от друга.



.....
Реляционная концепция (от лат. *relatio* — отношение): пространство и время — не самостоятельные сущности, а отношения, образуемые взаимодействием материальных объектов, свойства движущейся материи.

Пространство — это порядок взаимного расположения различных тел, а время — порядок сменяющих друг друга состояний тел. По Аристотелю, время и пространство сами по себе не существуют, они — производное от понятия материи, они — мера движения материальных тел, они — упорядочение последовательности изменений материи — событий, они — характеристика взаимного положения материальных тел.



Выводы

Таким образом, представления о пространстве и времени в античной картине мира истолковывали пространство и время либо как самостоятельные, объективные и независимые от вещественного наполнения начала бытия (Демокрит), либо как неотъемлемые внутренние аспекты движущейся материи (Аристотель).

2.5 Представления о причинности, закономерности и случайности

2.5.1 Концепция жесткого детерминизма

Демокрит был сторонником строгой необходимости. Развитие Вселенной, порядок мира, все в сущности определено (детерминировано) механическим движением атомов. Квинтэссенцией (самым главным, важным) учений первых древнегреческих атомистов Левкиппа и Демокрита является утверждение: «Все, что есть в мире, состоит из мельчайших неделимых частиц — атомов. Все, что происходит в мире, суть результат перемещения атомов». Любое изменение в мире можно свести к перемещениям атомов, зная законы движения атомов, можно точно рассчитать любое будущее событие. В такой системе нет места для существования случайности.



***Концепция жесткого детерминизма** (от лат. *determinare* — определять) — учение о всеобщей взаимосвязи и взаимообусловленности явлений.*

2.5.2 Телеологическая концепция

Во всей физике Аристотеля господствует мысль о целесообразности природы и всего мирового процесса. Каждый предмет природы имеет внутреннюю актуальную цель, целевую причину. Аристотель назвал ее «конечной причиной». Она — источник движения от низших форм к высшим. Принцип целесообразности Аристотель распространил на все сущее, утверждая, что «природа ничего не делает напрасно». Такой взгляд называют телеологическим (от греч. «телос» — цель и «логос» — слово).



***Телеология** — учение о целесообразности бытия.*

При этом Аристотель опирался на факты из жизни животных: процессы рождения организмов из семени, целесообразное действие инстинктов, целесообразная структура организмов, а также целесообразные функции человеческой души. Аристотель мог перенести результат изучения целесообразных функций души на мир в целом тем более легко, что для него одушевление не ограничивается областью душевной жизни человека: он распространяет принцип одушевления на весь мир в целом. Одушевление — общий космологический принцип. Если уж отдельные предметы природы обнаруживают в своем существовании и целесообразность, и разумность, то, по убеждению Аристотеля, должен быть целесообразным и целый мир.



Выводы

Итак, в античной картине мира сосуществовали концепция жесткого детерминизма атомистов Левкиппа и Демокрита и телеологическая концепция Аристотеля.

2.6 Представления об общем устройстве и происхождении мира

2.6.1 Геоцентризм

Характерной чертой античной картины мира является *геоцентризм*. По античным представлениям мир — это огромная, но не бесконечная сфера, которая имеет центр.

Центром мироздания является Земля. Она неподвижна, а все остальные объекты мира — Солнце, Луна и звезды — движутся вокруг нее. Такое представление называют геоцентризмом (от греч. *ge* — Земля и лат. *centrum* — центр).

Клавдий Птолемей (около 90 г. — около 168 г.) — греческий физик, геометр, астроном — сформулировал сложную геоцентрическую модель мира, которая была принята в западном и арабском мире до создания гелиоцентрической системы.

В античные времена были и сторонники гелиоцентрической системы, такие как Аристарх Самосский и Архимед Сиракузский. Так, гелиоцентрическую систему предлагал в своих трудах древнегреческий ученый, астроном, математик Аристарх Самосский. В IV веке до нашей эры (почти за 2 тысячи лет до Николая Коперника) он утверждал, что Земля вращается вокруг Солнца и вокруг своей оси. Аристарх Самосский первым определил расстояние до Луны, вычислил размеры Солнца. К сожалению, развитие науки не пошло по пути, указанному Аристархом Самосским, современники отвергли гелиоцентрическую систему Мира как «противоречащую опыту». Ей предстояло возродиться через 1800 лет в трудах Николая Коперника.

2.6.2 Пантеизм

Важной чертой античной картины мира был пантеизм — всебожие, или идея о том, что Бог или «мировой разум», или «душа Вселенной» — некое духовное начало мироздания растворено во всем, пронизывает собой все предметы и вещи. Именно это делает мироздание таким гармоничным, красивым и упорядоченным. Мир одушевлен, считали древние, все вокруг является и живым, и разумным. Они называли Вселенную макрокосмосом (от греч. *makros* — большой, *kosmos* — мир) — большим миром, а человека — микрокосмосом (от греч. *mikros* — маленький) — малым миром.

Такое представление о мироздании делает понятным бережное отношение наших далеких предков к окружающей природе. Нельзя вредить любому организму, будь то растение или животное, потому что все окружающее имеет душу подобно нам. Пантеистический взгляд на мироздание подчеркивал единство человека и всего, что его окружает.



Контрольные вопросы по главе 2

1. Какие ответы на фундаментальные вопросы мироздания дает античная картина мира?
2. Представления о материи, движении и взаимодействии.
3. Представления о причинности, закономерности и случайности.
4. Представления об общем устройстве и происхождении мира.

Глава 3

ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ ЭПОХИ ВОЗРОЖДЕНИЯ И НОВОГО ВРЕМЕНИ. МЕХАНИСТИЧЕСКАЯ НЬЮТОНОВСКАЯ КАРТИНА МИРА

После периода античности в истории развития естествознания возникла пауза, бесплодный период, длившийся целую тысячу лет. В средние века учение Аристотеля было католической церковью канонизировано (признано священным). Открытия, не совпадающие с канонами (не подлежащими пересмотру законами, нормами и правилами), были запрещены. Так, католической церковью был наложен запрет на учение Николая Коперника, созданное великим польским астрономом в 1543 году и вслед за Аристархом Самосским, почти через 2 тысячи лет после него, возродившее гелиоцентрическую систему мира. Главный труд Николая Коперника «Об обращениях небесных сфер» был занесен в папский «Индекс» запрещенных книг. Защитники учения Коперника были объявлены еретиками и подвергнуты гонениям инквизиции. Учение Николая Коперника подрывало опирающуюся на идеи Аристотеля религиозную картину мира. Религиозное учение о природе противопоставляло Небо Земле, противопоставляло земную материю, объявляемую тленной, преходящей, небесной материи, которая считалась совершенной, вечной и неизменной. Однако в свете идей Николая Коперника трудно было представить, почему «рядовая» планета Земля должна принципиально отличаться от других планет. Вычеркнут из списка запрещенных книг труд Николая Коперника был только в 1828 году.

Тем не менее, несмотря на запреты, гонения, костры инквизиции, к XV–XVI векам (Новое время) сдерживать человеческую мысль, устремленную к познанию природы, стало невозможно. Наука начала возрождаться, хотя уже на каком-то ином уровне, безвозвратно потеряв многое из того, что было известно древним. Возрождение науки было обусловлено, главным образом, потребностями производства. Великие географические открытия содействовали накоплению множества новых наблюдений. Развитие ремесел, судоходства, военного искусства создало

стимулы для научного исследования. Научная мысль сосредоточилась на задачах строительства, гидравлики (наука о движении и равновесии жидкостей), баллистики (от греч. *ballo* — бросаю, наука о движении снарядов, пуль при стрельбе), усилился интерес к математике. Развитие техники создало возможности для эксперимента. Новые задачи, поставленные жизнью, породили новое естествознание.

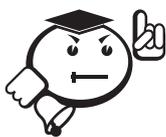
Новый период в истории физики открывает Галилео Галилей (1564–1642 гг.) — великий итальянский физик, механик и астроном, основатель точного естествознания, творец экспериментального метода в физике, а завершает английский физик и математик Исаак Ньютон (1642–1727 гг.) — «величайший ученый всех времен и народов».

Тщательно продуманный эксперимент, отделение второстепенных факторов от главного в изучаемом явлении, стремление к установлению точных количественных соотношений между параметрами явления — таков научный метод Галилео Галилея, с помощью которого он заложил фундамент классической механики.

Исаак Ньютон — гениальный английский физик, математик, астроном — в своем труде «Математические начала натуральной философии» (1687 г.) сформулировал все основные законы «классической механики». (Натуральная философия (от лат. *natura* — природа) — исторический термин, обозначающий всю деятельность по познанию природы, фактически, физика). Ньютон открыл закон всемирного тяготения, создал теорию движения небесных тел, разработал дифференциальное и интегральное исчисления, изобрел зеркальный телескоп и был автором важнейших экспериментальных работ по оптике.

3.1 Понимание материи

Аристотель отвергал атомистическое учение. Классическая механика XVII–XVIII вв., напротив, явилась дальнейшей разработкой концепции атомизма. Этой концепции ученые придерживались до конца XIX в. В 1672–1676 гг. Ньютон распространил атомистику на световые явления и создал корпускулярную теорию света, согласно которой свет — поток корпускул (частиц).



.....
 Хотя стоит заметить, что на разных этапах своей научной деятельности Ньютон рассматривал также и возможность существования волновых свойств света, в частности, в 1675 году он предпринял попытку создать компромиссную корпускулярно-волновую теорию природы света.

Тем не менее в механической картине мира делается акцент (лат. *accentus* — «ударение») на корпускулярные (лат. *corpusculum* — тельце, частица) свойства материи и считается, что материя существует исключительно в форме вещества, имеющего дискретную структуру.

3.2 Представления о движении

В механистической картине мира признавался один вид движения — механическое перемещение в пространстве и времени. На основании этого считалось: атомы движутся по законам классической механики и это движение позволяет объяснить все происходящие в мире явления. Химические, биологические процессы — это механические перемещения частиц, живой организм — это механизм, все процессы, протекающие в организме, можно описать с помощью законов механики и т. п.

Движение в классической механике определяется законами Ньютона.

3.2.1 Первый закон Ньютона. Инерциальные системы отсчета



.....
Первый закон Ньютона — закон инерции (лат. *inertia* — бездействию): если на тело (материальную точку) не действует сила со стороны других тел, то оно либо находится в покое, либо движется прямолинейно и равномерно. Нет действующей силы — нет изменения скорости.

$$\sum F_i = 0 \rightarrow v = \text{const.}$$

.....

Действительно, ни камень на дороге, ни мяч, лежащий посреди футбольного поля, не подпрыгнут и не покатятся, если их перед этим никто не пнет ногой. Если камень или мяч лежат на дороге или на поле, их скорость равна нулю. И она не изменится без посторонней помощи. Если камень крутится на веревке, описывая окружность, то причина, отклоняющая камень от прямолинейного пути, — натяжение веревки. Оборвется веревка — и камень полетит прочь с той же скоростью и в том же направлении, в котором он двигался в момент обрыва веревки. Если мяч катится, то он бы так и катился с постоянной скоростью бесконечно, если бы не действовала сила трения о землю, о воздух, сила удара ноги и т. д. При всем желании водителя, автомобиль, движущийся с большой скоростью, не может затормозить мгновенно, особенно на скользкой, мокрой или обледеневшей дороге, когда гасящая скорость сила трения мала. Не стоит сомневаться в том, что первый закон Ньютона, закон инерции, и в этом случае четко сработает, и проверять его на дороге не стоит.

Инерция есть краткое обозначение способности тел сохранять неизменной скорость, двигаться прямолинейно и равномерно. . . безо всякой причины, в согласии с представлениями Демокрита и вопреки представлениям Аристотеля.

Инерция есть неотъемлемое свойство каждой частички во Вселенной.

А бывает иначе: действующая сила не наблюдается, а скорость меняется, а ускорение есть? *Первый закон Ньютона выполняется всегда, в любой системе отсчёта?*

Представьте, что вы едете в автобусе (поезде, летите в самолете). Вы спокойно стоите при любой скорости транспорта относительно Земли — лишь бы эта скорость была постоянной по величине и направлению. Но как только транспорт-

ное средство начнет резко тормозить (или набирать скорость, или делать поворот), вы приходите в состояние «беспричинного движения», хотя никто при этом вас пальцем не трогает. Вы изменяете свою скорость относительно системы отсчета, связанной с транспортным средством, хотя никакого воздействия со стороны других тел при этом не наблюдается. Это говорит о том, что первый закон Ньютона в данном случае не выполняется, то есть он выполняется не во всех системах отсчёта.

Не подверженные внешнему воздействию тела называются свободными. Первый закон Ньютона фактически постулирует, что существуют системы отсчета, в которых свободное тело или покоится, или движется прямолинейно и равномерно.



.....
***Инерциальная система отсчета** — система отсчета, в которой выполняется 1-ый закон Ньютона.*

Любая система отсчёта, движущаяся относительно какой-либо инерциальной системы равномерно, прямолинейно, также является инерциальной. Систем, исключаяющих «беспричинные» движения, множество. Астрономические наблюдения, космические полеты показывают, что инерциальной является система отсчёта, начало которой совмещено с центром Солнца, а оси направлены на неподвижные звёзды. Эта система называется гелиоцентрической (Гелиос — по-гречески означает Солнце).

Для нас, обитателей Земли, важной системой отсчета является Земля. По отношению к очень многим явлениям Земля — вполне инерциальная система. При решении очень многих задач систему отсчёта, связанную с Землёй, геоцентрическую (Гео — по-гречески означает Земля), можно считать практически инерциальной.

Первый закон Ньютона (закон инерции) утверждает, что если на тело не действуют другие тела, то относительно инерциальной системы отсчета скорость тела не меняется. То есть причина изменения скорости — СИЛА.

Для того чтобы охарактеризовать непостоянство скорости, физика пользуется понятием ускорения.



.....
***Ускорение** — изменение скорости за единицу времени.*

Вместо того чтобы говорить: «скорость тела изменилась на величину \vec{a} за 1 секунду», говорят короче: «ускорение тела равно \vec{a} ». Если мы обозначим через \vec{v}_1 скорость прямолинейного движения в начальный момент времени t_1 , а через \vec{v}_2 — скорость в последующий момент времени t_2 , то правило расчета среднего ускорения \vec{a} выразится формулой:

$$\vec{a} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1},$$

где $(t_2 - t_1)$ — время, в течение которого изменялась скорость.

На вопрос о том, как движется тело под действием силы F , отвечает 2-ой закон Ньютона.

3.2.2 Второй закон Ньютона



.....
Второй закон Ньютона: в инерциальной системе отсчета ускорение тела \vec{a} прямо пропорционально векторной сумме всех действующих на тело сил $\vec{F} = \sum_i \vec{F}_i$, обратно пропорционально массе тела m и направлено по прямой, по которой направлена суммарная сила $\sum_i \vec{F}_i$, т. е.

$$\vec{a} = \frac{\sum_i \vec{F}_i}{m} \text{ или } \vec{F} = m \cdot \vec{a}.$$

.....

Большой греческой буквой \sum_i обозначают сумму.

$$\vec{F} = \sum_i \vec{F}_i = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots + \vec{F}_i.$$

Под действием постоянной силы $\vec{F} = \sum_i \vec{F}_i$ тело будет двигаться с постоянным ускорением \vec{a} (не скоростью \vec{v} , как полагал Аристотель). Тело сохраняет неизменной свою скорость (ускорение $\vec{a} = 0$) при отсутствии силы $\vec{F} = 0$. Действующая сила, не равная 0, $\vec{F} \neq 0$, меняет значение и/или направление скорости \vec{v} .

Согласно второму закону Ньютона масса тела m есть мера его инертности, то есть способности «бездействовать», сопротивляться изменению скорости под действием приложенной силы \vec{F} .

3.3 Представления о взаимодействии

В первом и втором законах Ньютона рассматривается только одно тело, на которое действует или не действует сила \vec{F} . Представление о взаимодействии, третий закон Ньютона, отражает тот факт, что силы всегда действуют парами: каждой силе \vec{F}_{12} , приложенной к телу 1 со стороны тела 2, соответствует сила \vec{F}_{21} , приложенная к телу 2 со стороны тела 1, всегда равная по величине \vec{F}_{12} и противоположная ей по направлению.

3.3.1 Третий закон Ньютона



.....
Третий закон Ньютона (закон равенства действия и противодействия): действие одного тела на другое всегда имеет взаимный характер: тела действуют друг на друга силами одной и той же природы, равными по величине, направленными по одной прямой и противоположными по направлению

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}.$$

.....

Хлопнув ладонью по столу, приложив к столу силу \vec{F}_{12} , вы чувствуете, что стол при этом прикладывает к ладонке силу \vec{F}_{21} . Если увеличить силу \vec{F}_{12} , то сила \vec{F}_{21} , приложенная столом к ладонке, тоже увеличивается.

Яблоко падает на Землю оттого, что его притягивает Земной шар; но согласно 3-му закону Ньютона, точно с такой же силой и яблоко притягивает к себе всю нашу планету $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$. Почему говорят, что яблоко падает на землю, вместо того, чтобы сказать: «Яблоко и Земля падают друг на друга»? Яблоко и Земля действительно падают друг на друга, но скорость этого падения различна для яблока и для Земли. 3-й закон Ньютона: $m_1 a_1 = m_2 a_2$. Откуда $a_1/a_2 = m_2/m_1$. При взаимодействии массивное тело получает меньшее ускорение, а легкое тело — большее ускорение. Равные силы взаимного притяжения $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$ имеют разные результаты своего действия и сообщают разные ускорения: яблоку — ускорение $9,8 \text{ м/с}^2$, а земному шару — во столько раз меньше, во сколько раз масса яблока меньше массы Земли.

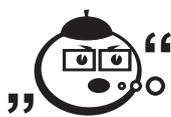
3.3.2 Закон всемирного тяготения

На сегодня достоверно известно о существовании четырёх фундаментальных взаимодействий: гравитационного, электромагнитного, сильного и слабого. Исследуя окружающий нас мир, мы можем заметить великое множество самых разнообразных сил: сила тяжести, сила натяжения нити, сила сжатия пружины, сила трения, сила сопротивления воздуха, сила взрыва, электрические и магнитные силы, силы прилива и отлива, силы землетрясений и ураганов, ядерные силы и т. д. Однако все эти силы — лишь различные проявления какого-либо из четырех фундаментальных взаимодействий. Из четырех фундаментальных взаимодействий во времена Ньютона было известно только одно — гравитационное.



.....
Гравитация (от лат. *gravitas* — тяжесть) — универсальное фундаментальное взаимодействие, существующие между всеми материальными телами.

Сила тяготения — одна из самых могущественных сил, действующих во Вселенной. Именно эта сила притягивает к центру Земли все находящиеся на ней тела, она же определяет «верх» и «низ» в привычном нам мире, она же когда-то «округлила» Землю, это с ней «борются» прыгуны и штангисты, ей человек противопоставляет силу тяги могучих двигателей космических ракет. Во всех приведенных примерах эта сила велика, так как одним из взаимодействующих тел здесь выступает наша достаточно массивная планета Земля. Но если мы рассмотрим взаимодействие двух каких-нибудь тел, находящихся на Земле, например двух книг, лежащих на столе, то мы не заметим действующей между ними силы тяготения. Почему? Потому, что сила тяготения между двумя лежащими на столе книгами очень мала по сравнению с силой трения между книгой и столом. Гравитация является самым слабым из четырёх типов фундаментальных взаимодействий.



.....
 «Ничтожная для небольших масс сила тяготения становится весьма ощутимой, когда речь идет о колоссальных массах небесных тел. Так, даже Нептун, очень далекий от нас, медленно кружащийся на краю солнечной системы, шлет нам свой «привет»

притяжением Земли с силой 18 миллионов тонн!» — пишет советский учёный, популяризатор физики, математики и астрономии Я. И. Перельман.

.....

Несмотря на огромное расстояние, отделяющее нас от Солнца, Земля удерживается на своей орбите единственно силой тяготения. Если бы сила солнечного притяжения вдруг исчезла, Земля полетела бы по линии, касательной к ее орбите, и умчалась бы в бездонную глубь мирового пространства.

В классической механике гравитационное взаимодействие описывает закон всемирного тяготения. Этот закон был открыт Ньютоном около 1666 года.

.....



Закон всемирного тяготения: сила F гравитационного притяжения между двумя материальными точками с массами m_1 и m_2 , разделёнными расстоянием r , пропорциональна обоим массам и обратно пропорциональна квадрату расстояния r между ними:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}.$$

.....

Чем больше массы m_1 и m_2 , тем сильнее они притягиваются, чем меньше расстояние между ними r , тем сильнее они притягиваются. Гравитационная постоянная $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-2}$. Это чрезвычайно малое число, так что сила тяготения — одна из самых слабых сил во Вселенной. Однако именно сила тяготения удерживает планеты и звезды на орбитах и в целом формирует облик Вселенной.

Гравитационные силы универсальны. Сила всемирного тяготения (гравитация) прижимает нас к Земле, отвечает за движение планет и звезд, пронизывает весь космос. Гравитационные силы не могут быть силами отталкивания, только притяжения. Гравитационное взаимодействие нельзя «заэкранировать», ослабить или устранить с помощью какого-либо экрана, источник гравитации (массу тела) невозможно включить или выключить (тело излучает гравитационное поле непрерывно).

Согласно представлениям о взаимодействии, принятым в механической картине мира, сила тяготения является дальнедействующей силой: она действует мгновенно на неограниченное расстояние, то есть с бесконечной скоростью, передача гравитационного взаимодействия между удаленными друг от друга телами не требует никакого материального посредника, то есть по Ньютону, взаимодействие происходит мгновенно, независимо от расстояния r , с бесконечно большой скоростью через пустое пространство без посредства чего-либо. Работает принцип дальнедействия.

Труды Ньютона в течение двухсот лет сохраняли роль краеугольного камня неколебимых основ классической механики. Практически все удавалось объяснить с точки зрения закона всемирного тяготения. В 1705 году английский астроном Эдмунд Галлей опубликовал расчеты орбит 24 комет. Он обнаружил, что орбиты ярких комет в 1531, 1607 и 1682 годах практически совпадают и что это похоже на одну и ту же комету,двигающуюся по сильно вытянутому эллипсу с фокусом на Солнце. Развивая труды Галлея, французский математик, механик и аст-

роном Алексис Клод Клеро предсказал возвращение кометы Галлея в 1758 году. И действительно, комету увидели в ночь на Рождество. Так, используя только законы Ньютона, карандаш и бумагу, астрономы открыли нового постоянного члена Солнечной системы. В 1840-х годах британский математик и астроном Джон Куч Адамс в Англии и французский математик Урбен Жан Жозеф Леверье во Франции пришли к выводу, что наблюдаемые отклонения в движении планеты Уран могут быть объяснены существованием в Солнечной системе восьмой планеты. Их вычисления привели к открытию Нептуна. Это был новый триумф механики Ньютона.

Итак, сформулированный Ньютоном закон всемирного тяготения стал одним из выдающихся достижений в области естествознания за всю историю его существования. Этот закон позволил на строгой научной основе подвести физическую базу под положение о материальном единстве мира, всеобщей взаимосвязи всех природных явлений. Закон всемирного тяготения оказался одним из самых впечатляющих и вместе с тем загадочных положений теоретического естествознания.

Применение этого закона позволило добиться выдающихся успехов в области небесной механики (предсказавшей «на кончике пера» существование ранее неизвестных планет), космологии и в дальнейшем практического освоения космического пространства, позволило летательным аппаратам и человеку преодолеть земное притяжение и выйти в просторы Вселенной. Тем не менее до сих пор физическая сущность всемирного тяготения остается тайной. На сегодня сложилось два диаметрально противоположных взгляда на природу тяготения: имеет ли оно вещественно-энергетический субстрат в виде квантово-полевых образований (материальных частиц — гравитонов) или же обусловлено исключительно геометрическими свойствами пространственно-временного континуума. Так, согласно геометрической трактовке, не силы тяготения обуславливают отклонение вблизи Солнца, проходящего мимо светового луча далекой звезды, а искривление пространства-времени под воздействием нашего светила.

3.4 Представления о пространстве и времени

Согласно Ньютону гравитационная сила является далекодействующей, т. е. действует через пустое пространство мгновенно, на неограниченное расстояние, с бесконечной скоростью. Аристотель отрицал существование пустого пространства, связывая пространство, время и движение. Атомисты XVIII–XIX вв., наоборот, признавали атомы и пустое пространство, в котором атомы движутся.

Согласно представлениям механической картины мира, существуют абсолютное пространство и абсолютное время. Это материальные субстанции (то, что лежит в основе и ни от чего не зависит). Пространство существует, время течет само по себе, независимо от присутствия или отсутствия материальных тел.

Если бы из Вселенной можно было убрать все материальные тела, то свойства пространства и свойства времени остались бы неизменными.

3.5 Законы сохранения

Для понимания природных процессов и явлений важным является принцип их инвариантности относительно сдвигов в пространстве и времени.



.....
Симметрия — инвариантность, неизменность, возвращение объекта в исходное состояние при осуществлении над ними преобразований.

Система обладает симметрией, если в процессе проходящих в ней изменений какая-то характеристика системы остается неизменной (инвариантной). Пример геометрической дискретной симметрии: внешний вид снежинки не изменяется при повороте снежинки на 60° , на 120° , на 180° и т. д. вокруг оси, перпендикулярной к центру снежинки.

3.5.1 Виды симметрии

Физическое пространство и время характеризуют три основных вида симметрии.



.....
Однородность пространства — эквивалентность (равноправие) всех точек физического пространства, когда параллельный сдвиг физической системы в любом направлении (перемещение, трансляция в пространстве) не влияет на характер протекающих в ней процессов.



Пример

.....
 Измерим период колебаний маятника, результат обозначим как T_1 . Теперь перенесем маятник в соседнюю комнату и проведем то же измерение. Результат запишем как T_2 . Оказывается, $T_1 = T_2$, это и есть проявление однородности пространства.

Однородность — одно из ключевых свойств пространства в классической механике. Пространство называют однородным, если параллельный перенос системы отсчета не влияет на результат измерений.



.....

Однородность времени — эквивалентность (равноправие) всех моментов времени, когда сдвиг (движение, трансляция во времени) физической системы не влияет на характер протекающих в ней процессов.

.....

Инвариантность по отношению к трансляциям во времени означает, что если сегодня при данных условиях эксперимент дал определенные результаты, то и завтра, и позже при тех же условиях этот эксперимент даст те же самые результаты. Однородность времени проявляется в неизменности физических законов: какими они были во времена Ньютона, такими остаются в наши дни, такими же будут и в будущем. Опыт, поставленный в одинаковых физических условиях в разные моменты времени, дает одинаковые результаты.



.....

Изотропность пространства — эквивалентность (равноправие) всех направлений физического пространства, когда произвольный поворот физической системы в любом направлении не влияет на характер протекающих в ней процессов.

.....

Пространство называют изотропным, если поворот системы отсчета на произвольный угол не приводит к изменению результатов измерений.

3.5.2 Теорема Эмми Нётер

Амалия Эмми Нётер (1882–1935 гг.) — немецкий математик.



.....

Теорема Эмми Нётер. Каждой непрерывной симметрии физической системы соответствует некоторый закон сохранения: однородности времени — закон сохранения энергии, однородности пространства — закон сохранения импульса, изотропности пространства — закон сохранения момента импульса.

.....

3.5.3 Закон сохранения и превращения энергии

Основное неотъемлемое свойство материи — движение. Установлено, что все формы движения (механическое, тепловое...) превращаются друг в друга в строго определенных количественных отношениях. (Если потереть одну ладонь о другую, ладони разогреются, механическое движение перейдет в тепловое, если потереть интенсивнее, ладони разогреются сильнее). Это обстоятельство позволило ввести понятие «энергия».



.....
Энергия (др.-греч. деятельность) — скалярная физическая величина, единая мера различных форм движения и взаимодействия материи, мера перехода движения из одной формы в другую (механическую, тепловую, электрическую, ядерную...).

.....



.....
Закон сохранения и превращения энергии: во всех явлениях, происходящих в природе, энергия не возникает из ничего и не исчезает, а лишь переходит из одного вида в другой в эквивалентных количествах.

.....

К закону сохранения энергии по теореме Эмми Нётер приводит инвариантность по отношению к временной трансляции. Закон сохранения энергии — следствие симметрии по отношению к трансляциям во времени.

3.5.4 Закон сохранения импульса

Слово «импульс» происходит от лат. *impulsus* — толчок.



.....
Импульс тела — векторная физическая величина, равная произведению массы тела m на скорость его движения \vec{v}

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}.$$

.....

Второй закон Ньютона:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a},$$

где a — ускорение, «скорость изменения скорости».

$$\vec{a} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}; \quad m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \vec{F}; \quad \Delta \vec{p} = m \cdot \Delta \vec{v}; \quad \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \vec{F}.$$

Быстрота изменения суммарного импульса системы тел $\Delta \vec{p} / \Delta t$ равна суммарному вектору всех внешних сил \vec{F} , действующих на систему.



.....
Закон сохранения импульса: если сумма внешних сил, действующих на систему, равна нулю, $\vec{F} = 0$, то импульс системы не изменяется.

.....

Наглядное подтверждение выполнения закона сохранения импульса: при выстреле из пушки снаряд вылетает из ствола в одну сторону, а пушка отскакивает в другую сторону. В реактивных двигателях рабочее тело с большой скоростью истекает из двигателя, и, в соответствии с законом сохранения импульса, образуется реактивная сила, толкающая двигатель в противоположном направлении.

К закону сохранения импульса в силу теоремы Эмми Нётер приводит инвариантность по отношению к пространственной трансляции.

3.5.5 Закон сохранения момента импульса

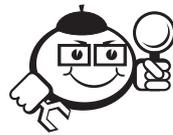
Если закон сохранения импульса — это закон сохранения поступательного количества движения, то можно сказать, что закон сохранения момента импульса — это закон сохранения вращательного количества движения.



.....
Момент импульса L определяется скоростью вращения тела ω , величиной массы тела и распределением массы внутри тела, то есть моментом инерции I .

$$L = \omega \cdot I.$$

.....



Пример

.....

Самый расхожий пример закона сохранения момента импульса — фигуристка, выполняющая фигуру вращения с ускорением. Спортсменка медленно входит во вращение, широко раскинув руки (распределение массы в теле создает большой момент инерции I), затем она собирает массу своего тела ближе к оси вращения, прижимая руки к туловищу (момент инерции I уменьшается), скорость вращения ω увеличивается, т. к. момент импульса $L = \omega \cdot I$, согласно закону сохранения момента импульса, должен оставаться неизменным. Мы убеждаемся наглядно, что с уменьшением момента инерции I скорость вращения ω увеличивается, а их произведение сохраняется постоянным. Закон сохранения момента импульса — закон сохранения вращательного количества движения — помогает нам ехать на велосипеде, а кошкам приземляться при падении на лапы.

.....

Инвариантность по отношению к пространственным вращениям можно рассматривать, согласно теореме Нётер, как причину существования закона сохранения момента импульса.

3.6 Представления о причинности, закономерности и случайности

В классическую механику Ньютона концепция жесткого детерминизма была встроена на уровне математического аппарата: при точном задании начального состояния системы уравнения Ньютона позволяют получить единственно возможное решение, описывающее изменение системы за любой будущий период времени.

Значит, в принципе, можно однозначно определить состояние материальной точки для любого прошлого и будущего момента времени, зная координаты и скорость в начальный момент времени и действующие на точку силы.

Классический детерминизм

Механистическая картина мира давала представление о Вселенной как о гигантской заводной игрушке: предполагалось, что любое событие однозначно определяется начальными условиями, заданными абсолютно точно. В таком мире нет места случайности. В это время родилось мнение, что, зная точные значения координат и скоростей всех частиц, образующих Вселенную в настоящий момент времени, в принципе, можно на основании точных физических законов предсказать будущее и описать прошлое. Приверженцем абсолютного детерминизма был французский физик, математик, механик и астроном Пьер-Симон Лаплас. Он постулировал, что если бы какой-нибудь всеобъемлющий разум (демон Лапласа) был в состоянии фиксировать в любой момент положения и скорости всех атомов Вселенной, все силы, действующие на них, если бы для него не существовало никаких математических проблем и если бы он мог мгновенно делать сложные расчеты, то он мог бы дать сведения обо всей прошлой и будущей судьбе мира, совершенно точно предсказать все мировые события. В этом заключается суть лапласовского детерминизма.

3.7 Представления об общем устройстве и происхождении мира

Итак, в XVI–XVII вв. произошла научная революция, результатом которой стала замена просуществовавшей приблизительно 2 тысячи лет античной научной картины мира механической Ньютоновской научной картиной мира. Чем отличается устройство мира в механической картине от представлений древних?

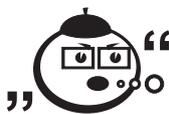
Гелиоцентризм

Гелиоцентризм сменил древний геоцентризм. В механической картине мира Земля — не неподвижный центр мира, а одна из планет, которая вместе с другими вращается вокруг Солнца. Гелиоцентрическая система мира позволила установить параметры Солнечной системы и открыть законы планетных движений.

Механицизм

Одной из основных особенностей античной, древней научной картины мира был пантеизм — представление о мироздании как об огромном живом и разумном организме. В мире все разумно, целесообразно и гармонично, считали древние. Космос — живой, соразмерный организм, обладающий разумной душой. Вселенную пронизывает мировой разум, который и делает все вокруг прекрасным и упорядоченным.

Можно предположить, что, на вопрос о том, почему небесные тела движутся так четко и упорядоченно, Аристотель, возможно, ответил бы, что существует космический Ум, который и направляет движение каждого небесного тела.



.....
На этот же вопрос Ньютон в своем труде «Математические начала натуральной философии» (1687 г.) дает такой ответ: «Понятие «механика» ошибочно замыкают на изделия человеческих рук. В действительности же на механическом принципе устроен

весь окружающий мир, по крайней мере, мир планет Солнечной системы. Великим механиком является сам Господь, создающий материальный мир согласно простым законам механики».

.....

Вся упорядоченность, стройность, четкость и как бы разумность движения объясняется тем, что оно подчиняется закону всемирного тяготения и сформулированным Ньютоном трем законам механики, которые позволяют объяснить и исчерпать абсолютно все происходящее в мире.



.....

***Механицизм** — представление, согласно которому мироздание — это грандиозный механизм.*

.....

Живая и неживая природа — обе состоят из механических деталей, считали представители механицизма. Любой объект окружающего мира, как и мир в целом, является более или менее сложным механизмом, бездушной и неразумной машиной, и поэтому не обязательно относиться к природным объектам бережно. Наоборот, можно делать по отношению к ним что угодно. В Новое время начинается активное завоевание, покорение и преобразование природы человеком. Через несколько столетий мы получили ужасающие результаты этой деятельности, которая поставила и природу, и человечество на грань уничтожения.

Стационарность Мироздания

В античной картине мира всё непрерывно меняется, это всеобщее изменение носит циклический характер. Согласно механической научной картине мира Вселенная — грандиозный механизм, существующий по неизменным законам и созданный Богом. Механизм Вселенной, созданный Богом, совершенен. А это означает, что сломаться или испортиться он не может. Следовательно, мировой механизм является неизменным и существует всегда в одном и том же виде.

Мироздание стационарно (от лат. *stationarius* — неподвижный).

Основанием для создания единой механической картины мира послужил всеобъемлющий характер открытых Ньютоном законов движения тел. Этим законам с удивительной точностью подчиняются как громадные небесные тела, так и мельчайшие песчинки, гонимые ветром. И даже ветер — движение не видимых глазом частиц воздуха — подчиняется тем же законам.

На протяжении долгого времени ученые были уверены, что единственными фундаментальными законами природы являются законы механики Ньютона.



.....

Французский математик, механик и астроном Жозеф Луи Лагранж говорил, что «нет человека счастливее Ньютона: ведь только однажды одному человеку суждено построить картину Мира».

.....



Контрольные вопросы по главе 3

1. С чем связано глобальное изменение взглядов человека на мир и самого себя в XV в.?
2. Какая наука стала главной в период Нового времени? Какой ее великий представитель открывал этот период в истории физики и какой его завершил?
3. Почему классическое естествознание называют экспериментально-математическим?
4. Какое представление о мироздании пришло на смену античному пантеизму в Новое время?
5. Что такое гелиоцентризм? Идею какого древнегреческого ученого через 1800 лет после него возродил Николай Коперник?
6. Чем объяснялась стройность и упорядоченность мироздания в классическом естествознании?
7. Сформулируйте законы, которыми объясняются все явления природы в механической картине мира.
8. Теорема Эмми Нётер. Законы сохранения.
9. Демон Лапласа. Концепция абсолютного детерминизма.
10. Почему классическое естествознание считало мир неизменным? Что такое стационарность?
11. Почему наука Нового времени считала свою картину мира в основном законченной?

Глава 4

РЕЛЯТИВИСТСКАЯ КАРТИНА МИРА

4.1 Пространство и время в релятивистской картине мира

Объектом изучения классического естествознания был макромир (греч. *makros* — большой). Это мир, в котором мы живем, реальность, повседневно нас окружающая. Предметом классической механики является движение со скоростями, которые много меньше скорости света в вакууме c ($v \ll c$; $c \approx 3 \cdot 10^8$ м/с) и макроскопические тела (макротела) — физические тела, размеры которых много больше размеров атомов ($\gg 10^{-10}$ м). Однако по современным представлениям помимо макромира есть еще две области действительности.

Микромир (греч. *mikros* — маленький) — сфера предельно малых объектов. Обобщением классической механики на тела, размеры которых сравнимы с размерами атомов, является квантовая механика.

Мегами́р (греч. *megas* — очень большой) — сфера колоссальных космических расстояний и громаднейших временных промежутков. Скорости движения могут быть сравнимы со скоростью света в вакууме $c \approx 3 \cdot 10^8$ м/с. Обобщением классической механики на тела, двигающиеся с произвольной скоростью, в том числе и близкой к скорости света c , является релятивистская механика.

Классическое естествознание имело дело только с макромиром, в котором мы живем, который можем наблюдать и который поэтому является для нас наиболее изученным, привычным, простым и понятным. Наши о нем представления во многом исходят из повседневного опыта, очевидных вещей и здравого смысла.

Не так обстоит дело с микро- и мегамиром, которые выходят за пределы нашего жизненного опыта и недоступны для нашего наблюдения.

Неудивительно поэтому, что законы, которые там действуют, вполне могут не совпадать с простыми представлениями, привычными ожиданиями, очевидными вещами и здравым смыслом. Примером такого несовпадения явился результат опыта американских физиков Майкельсона и Морли, оказавшийся в противоречии с классическим законом сложения скоростей. Что это за закон?

4.2 Классический закон сложения скоростей

Система K — неподвижная система координат (свяжем ее, например, с вокзалом). Пусть подвижная система K^* движется относительно неподвижной системы K со скоростью \vec{v}_0 (вагон движется относительно вокзала со скоростью \vec{v}_0). Пусть материальная точка A движется в подвижной системе K^* со скоростью \vec{v}^* (пассажир в вагоне движется по вагону со скоростью \vec{v}^* в том же направлении, что и вагон). Тогда скорость пассажира относительно вокзала — \vec{v} — равна скорости вагона относительно вокзала \vec{v}_0 плюс скорость пассажира в вагоне относительно вагона \vec{v}^* . $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{v}^*$. \vec{v} — скорость относительно неподвижной системы K равна сумме \vec{v}_0 — скорости подвижной системы K^* и скорости в подвижной системе \vec{v}^* .

4.3 Опыт Майкельсона—Морли

Земля движется относительно Солнца и звёзд (относительно «вокзала») со скоростью $u = 30$ км/с («вагон»). Если луч света от источника на Земле («пассажир») идет в направлении движения Земли («вагона»), то относительно Солнца и звёзд («вокзала») скорость движения луча должна быть равна сумме скорости Земли u («вагон») и скорости света c («пассажир») ($v_1 = u + c = 300\,030$ км/с). Если луч света идет в противоположном направлении, против движения Земли, то скорость луча должна быть $v_2 = u - c = -299\,970$ км/с относительно неподвижного наблюдателя.

Американскими учёными Альбертом Майкельсоном и Эдвардом Морли был поставлен физический опыт на изобретенном Альбертом Майкельсоном приборе — интерферометре — с целью измерения зависимости скорости света от движения Земли. Вопреки ожиданию, в эксперименте не обнаружилось зависимости скорости светового луча от скорости движения Земли и от направления измеряемой скорости. При многочисленных повторениях опыта вывод из результатов эксперимента был одинаков: $v_1 = v_2 = c$. Движение Земли вокруг Солнца не влияет на скорость распространения светового луча.

4.4 Частная (специальная) теория относительности (СТО)

В классической физике опыт Майкельсона не нашел объяснения. Между электродинамикой (раздел физики, изучающий электромагнитное поле, а свет — это и есть электромагнитное излучение, воспринимаемое человеческим глазом) и механикой Ньютона возникли противоречия. Ответ на появившиеся вопросы и единственно верный выход из создавшегося положения нашел 26-летний эксперт федерального патентного бюро в швейцарском городе Берне Альберт Эйнштейн.

В 1905 году Альберт Эйнштейн создал новую физическую теорию пространства и времени — теорию относительности, исторически подготовленную трудами Г. А. Лоренца, Ж. А. Пуанкаре и других ученых. Основные положения частной (специальной) теории относительности (СТО) Альберт Эйнштейн изложил в опубликованной в 1905 году научной статье «К электродинамике движущихся сред».

4.5 Два постулата специальной теории относительности

В основе СТО лежат два постулата (постулат (лат. *postulare* — требовать) — термин, обозначающий положение, без доказательства принимаемое за истинное).



.....
Первый постулат — принцип относительности Эйнштейна.

Все законы природы (не только законы механики) одинаковы во всех инерциальных системах отсчёта, все уравнения, выражающие законы природы, инвариантны (неизменны) по отношению к любым инерциальным системам отсчета (ИСО).

.....

Это распространение принципа относительности Галилея (законы механики во всех инерциальных системах отсчета одинаковы, никакими механическими опытами нельзя определить, покоится данная система или движется равномерно и прямолинейно) не только на механические, как учил Галилей, но на все физические явления. Все физические, химические, биологические явления протекают во всех инерциальных системах отсчета одинаково, при одинаковых условиях протекания.



.....
Второй постулат СТО — принцип постоянства скорости света.

Скорость света в пустоте (вакууме) c одинакова во всех инерциальных системах отсчета и не зависит от движения источников и приёмников света.

.....

Скорость света в вакууме является константой для всех ИСО, а не относительной величиной. Скорость распространения света будет одна и та же во всех ИСО при излучении света в одной из ИСО. Никакой сигнал не может быть передан со скоростью, превышающей скорость света в вакууме. Двигаться со скоростью, равной скорости света в вакууме, могут только полевые частицы, масса покоя которых равна нулю (например, фотоны).

Элементы релятивистской механики

Физические явления, описываемые теорией относительности, называются релятивистскими (англ. *relative* — соотносительный). Что с чем соотносится в релятивистской механике? Скорости движения тел соотносятся со скоростью света в вакууме ($v \approx c$), а не много меньше c , как в классической механике.

Эксперимент показал, что скорость света в вакууме всегда равна $c = 3 \cdot 10^8$ м/с. Это утверждение кажется противоречащим здравому смыслу. Действительно, пусть относительно неподвижной системы («вокзала») движется не вагон, а космический корабль со скоростью, близкой к скорости света c . Пусть внутри космического корабля распространяется луч света («пассажир») со скоростью $c = 3 \cdot 10^8$ м/с относительно корабля. Эксперимент говорит, что скорость луча света («пассажира») при этом будет одинакова и относительно «вокзала», и относительно корабля («вагона»). Как это понять? Если скорость света инвариантна, одинакова во всех

ИСО, то что тогда относительно в теории относительности, что изменяется в движущейся ИСО так, чтобы законы физики были одинаковы для всех ИСО?

Альберт Эйнштейн неопровержимо доказал в своей теории относительности, что при движении материальных объектов со скоростями, близкими к скорости света, для этих объектов относительно пространственные и временные промежутки.

В движущемся объекте изменяются пространственный и временной интервалы в таком соотношении, чтобы скорость света оставалась постоянной. Соотношения, определяющие эти изменения, рассмотрены в трудах французского математика, физика и астронома Ж. А. Пуанкаре, нидерландского физика-теоретика Г. А. Лоренца и названы преобразованиями Лоренца.

4.6 Преобразования Лоренца



Преобразования Лоренца — кинематические формулы, связывающие между собой пространственные координаты и моменты времени одного и того же события в двух различных инерциальных системах отсчета.

В системе K^* , движущейся в направлении оси x с постоянной скоростью v относительно неподвижной системы K , координаты (x^*, y^*, z^*) и время (t^*) связаны с координатами (x, y, z) и временем (t) в неподвижной системе K формулами:

$$x^* = \frac{x - v \cdot t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \quad y^* = y; \quad z^* = z; \quad t^* = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

Координаты (x, y, z) и время (t) в неподвижной системе K выражаются через координаты (x^*, y^*, z^*) и время (t^*) в подвижной системе K^* :

$$x = \frac{x^* + v \cdot t^*}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \quad y = y^*; \quad z = z^*; \quad t = \frac{t^* + \frac{v}{c^2}x^*}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$



Если скорость движения v мала по сравнению с c — скоростью света, $v \ll c$, где v — скорость подвижной системы отсчета (СО), $v/c \rightarrow 0$, то преобразования координат Лоренца переходят в преобразования координат Галилея — соотношения классической механики для преобразования координат: $x = x^* + vt^*$, $y = y^*$, $z = z^*$, $t = t^*$.

В преобразованиях Галилея преобразуются только координаты, а время является одинаково текущим во всех ИСО, в преобразованиях Лоренца время также подвергается преобразованиям.

4.7 Принцип соответствия

Какой особенностью обладают фундаментальные физические теории?

Особенностью фундаментальных физических теорий является их преемственность. Новая более общая теория включает в качестве частного случая старую, определяя границы ее применимости. Так, механика Ньютона в течение двух столетий прекрасно описывала наблюдаемое поведение макроскопических тел. Однако движение тел со скоростью, близкой к скорости света в вакууме c , классическая механика объяснить не могла. СТО, основанная на постулатах, отличных от ньютоновских, объяснила законы движения тел при скоростях, соотносимых со скоростью света в вакууме c . В специальной теории относительности в пределе малых скоростей $v \ll c$ результаты СТО совпадают с результатами классической механики Ньютона, тем самым определяя границу применимости классической механики.



.....
Принцип соответствия — утверждение, что любая новая более общая научная теория не находится в противоречии со старой и даёт те же следствия в некотором предельном приближении (частном случае).

Согласно принципу соответствия современная физика не отрицает классическую, а выступает как ее рациональное обобщение, содержащее классическую теорию в качестве частного, предельного случая. Этот принцип был сформулирован выдающимся датским физиком-теоретиком Нильсом Бором (1885–1962 гг.), одним из создателей современной физики, лауреатом Нобелевской премии по физике (1922 г.). Все развитие физики до сих пор проходило в соответствии с Боровским принципом соответствия.

4.8 Следствия из преобразований Лоренца

4.8.1 Лоренцево сокращение длины

В классической механике, при малых скоростях движения длина стержня, то есть пространственный интервал l (расстояние между двумя пространственными точками, началом стержня x_1 и концом стержня x_2), остается неизменным при переходе из неподвижной системы K в движущуюся систему K^* . Длина неподвижного стержня (на вокзале) равна длине движущегося $l = l^*$ (в вагоне).

С точки зрения релятивистской механики высоких скоростей все движущиеся предметы будут казаться нам сокращенными в направлении движения. Наблюдается сокращение размеров тел в направлении движения (Лоренцево сокращение). Длина стержня l , измеренная с Земли, относительно которой стержень движется со скоростью v , оказывается меньше длины l^* , измеренной в ракете относительно которой стержень покоится. Из формул преобразования координат Лоренца следует соотношение Лоренцева сокращения длины $l = l^* \cdot \sqrt{1 - v^2/c^2}$.



.....
Вопрос. Что означает «сплющивание» тела в направлении движения? Означает ли это деформацию тела? Означает ли это структурные изменения в стержне? Сокращается ли длина на самом деле, или же это только кажется?

Ответ. Лоренцево сокращение длины связано с тем, что пространственный интервал, *длина — это относительная величина*, зависящая от системы отсчета, из которой ее измеряют, подобно тому, как в классической механике скорость относительно вагона одна, относительно вокзала — другая, как форма траектории.

Спросить: «Сокращается ли длина на самом деле?» — это то же самое, что спросить: «Двигается ли измеряемый стержень на самом деле?».

Да, движется относительно Земли и относительно Земли имеет длину l . Нет, не движется, покоится относительно ракеты и относительно ракеты имеет длину l^* .

.....

4.8.2 Промежуток времени между событиями

В классической механике, при малых скоростях движения временной интервал Δt в неподвижной K и Δt^* в подвижной K^* СО одинаков. Если на вокзале прошло полчаса, то и в вагоне поезда тоже прошло полчаса. Это следует из ньютоновской концепции абсолютного времени, согласно которой ход времени одинаков во всех точках пространства и во всех ИСО $t_1 = t_1^*$, $t_2 = t_2^*$.

С точки зрения релятивистской механики промежуток времени между двумя событиями в ракете, измеренный по часам в ракете Δt^* , оказывается меньше (например, $\Delta t^* = 30$ мин.), чем промежуток времени между этими же событиями, измеренный по часам на Земле (например, $\Delta t = 60$ мин.) Из формул преобразования координат Лоренца следует соотношение:

$$\Delta t^* = \Delta t \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}.$$



.....
 Движущиеся часы идут медленнее, чем неподвижные. Эйнштейн постулировал, что это свойство самого времени, все физические процессы (включая саму жизнь) должны при движении замедляться в том же отношении. Многочисленные эксперименты по удлинению времени жизни элементарных частиц и замедлению хода макроскопических часов при их движении подтверждают теорию относительности.

.....

4.8.3 Преобразование скоростей. Релятивистский закон сложения скоростей

Классический закон сложения сонаправленных скоростей $v = v^* + v_0$, не соответствующий второму постулату теории относительности, заменяется в СТО законом, учитывающим одинаковость скорости света в вакууме в любой ИСО. Релятивистский закон сложения скоростей дает ответ на вопрос, как это может быть, чтобы скорость света и для космонавта в космической ракете, и для неподвижного наблюдателя, относительно которого ракета летит, была одна и та же.

$$v = \frac{v^* + v_0}{1 + \frac{v^* \cdot v_0}{c^2}},$$

где v — скорость луча («пассажира») относительно неподвижной системы (относительно «вокзала»), v^* — скорость относительно подвижной системы (относительно «вагона»), v_0 — скорость подвижной СО относительно неподвижной (скорость «вагона»), c — скорость света.



.....
Пусть скорость космического корабля (подвижной системы K^*) равна скорости света $v_0 = c$ относительно Земли (неподвижной системы K), скорость света внутри корабля относительно корабля (подвижной системы K^*) тоже $v^* = c$. Тогда с точки зрения наблюдателя на Земле скорость света внутри летящего корабля относительно Земли:

$$v = \frac{v^* + v_0}{1 + \frac{v^* \cdot v_0}{c^2}} = \frac{c + c}{1 + \frac{c \cdot c}{c^2}} = \frac{2c}{2} = c.$$

Тоже равна скорости света c !

Скорость света в вакууме одинакова во всех ИСО и не может быть превышена.

.....

4.8.4 Одновременность событий

На Земле (неподвижной системе K) в точках с координатами x_1 и x_2 происходят два события одновременно, интервал времени между событиями равен нулю $\Delta t = t_2 - t_1 = 0$. Найденный из преобразований Лоренца интервал времени между этими же событиями в подвижной системе K^* :

$$\Delta t^* = t_2^* - t_1^* = \frac{v(x_1 - x_2)}{c^2 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

Формула говорит, что если одновременные на Земле события происходят в одном месте (координата $x_1 = x_2$; $x_1 - x_2 = 0$), то в системе K^* они будут также совпадать и в пространстве ($x_1^* = x_2^*$), и во времени ($\Delta t^* = 0$, $t_1^* = t_2^*$).

Промежуток времени между причинно связанными событиями при смене системы отсчета может менять величину, но не знак.

Промежуток времени между причинно несвязанными событиями при смене системы отсчета может менять как величину, так и знак.

4.9 Релятивистское выражение для импульса

В классической механике импульс тела равен произведению массы m тела на его скорость \vec{v} :

$$\vec{p} = m\vec{v}.$$

Выражение для релятивистского импульса тела

$$\vec{p} = \frac{m_0 \vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}.$$

Это выражение для импульса имеет техническую состоятельность, соответствует закону сохранения импульса и подтверждается многочисленными экспериментами.

Что следует из релятивистского выражения для импульса?

Если на тело долгое время t действует постоянная сила F , то в механике Ньютона скорость тела v будет непрерывно возрастать, $v = v_0 + at$, a — ускорение, t — время, в течение которого скорость увеличивалась под действием силы F , $a = F/m$.

При этом скорость тела v может превысить любую скорость, даже скорость света c .

В релятивистской механике, по мере приближения скорости тела к скорости света в вакууме c , начинает наблюдаться рост не скорости тела, а его импульса. Чем ближе к c , тем в большей мере этот рост сказывается не на скорости v , а на массе тела m .

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}; \quad v \rightarrow c; \quad \frac{v^2}{c^2} \rightarrow 1; \quad m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \rightarrow \infty.$$

Если скорость тела стремится к скорости света в вакууме $v \rightarrow c$, то знаменатель в формуле релятивистской массы m стремится к 0, масса m стремится к бесконечно большой величине, поэтому ускорение стремится к нулю $a = F/\infty \rightarrow 0$, т.е. скорость перестает изменяться, перестает возрастать, как бы долго ни действовала сила F . Никакой материальный объект с массой покоя, отличной от нуля, $m \neq 0$, не может достичь скорости света в вакууме c .



.....
Вопрос. Увеличение массы с ростом скорости v означает, что у тела при этом прибавляется вещества?

Ответ. Нет, количество атомов и молекул неизменно.

Вопрос. Что же тогда означает рост массы с увеличением скорости тела?

Ответ. Означает, что при приближении скорости тела к c увеличивается инертность тела, т. е. увеличивается способность сопротивляться увеличению скорости под действием F .

.....

4.9.1 Релятивистское выражение для энергии

Выражение для полной энергии движущегося тела:

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

При скорости $v = 0$ это выражение переходит в $E_0 = m_0 c^2$.

Поэтому энергию E_0 , определяемую выражением $E_0 = m_0 c^2$, называют энергией покоя, а соотношение $E_0 = m_0 c^2$ — соотношением эквивалентности (равнозначности) массы m_0 и энергии E_0 .



.....
 Если тело обладает массой m_0 , то в силу одного этого факта, без всяких дополнительных условий тело обладает энергией $E_0 = m_0 c^2$.

.....

Физическое содержание понятия массы заключается в том, что масса тела есть мера содержащейся в теле внутренней энергии. Говорят: «Масса есть внутренняя энергия и ничего более». Энергия E_0 представляет собой внутреннюю энергию частицы, не связанную с движением частицы как целого. Можно сказать, что природа затратила определенные усилия на то, чтобы «собрать» данное тело из мельчайших частиц вещества, и мерой этих усилий служит энергия покоя тела $E_0 = m_0 c^2$.

Эта энергия велика. Так, в одном килограмме любого вещества заключена энергия, равная $1 \text{ кг} \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ м/с})^2 = 9 \cdot 10^{16}$ Дж. Для получения такой энергии надо сжечь 9 миллионов тонн дров. Посчитано, что количества энергии, заключенной в одном грамме вещества любой природы, хватило бы, чтобы двигать автомобиль мощностью в 70 лошадиных сил непрерывно в течение пятидесяти лет.

Поскольку энергия тела E и его масса m пропорциональны друг другу, всякому изменению энергии тела ΔE соответствует изменение массы тела Δm , и наоборот, всякому изменению массы соответствует изменение энергии тела:

$$\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}; \quad \Delta E = c^2 \cdot \Delta m.$$

При нагревании тела энергия возрастает, следовательно, возрастает и его масса. Так, при нагревании 1 кг воды на 100 К её масса возрастает на $4,67 \cdot 10^{-12}$ кг. Столь ничтожное изменение массы невозможно заметить на фоне погрешностей измерительных приборов.

Солнце излучает энергию, равную $3,8 \cdot 10^{26}$ Дж/с. $\Delta m = 3,8 \cdot 10^{26} / (3 \cdot 10^8)^2 \approx 4 \cdot 10^9$ кг/с.

Из-за излучения такой энергии масса Солнца уменьшается примерно на 4 млн т каждую секунду. На сколько же хватит нашего Солнца, так щедро излучающегося во все стороны? Ученые доказали, что человечество может быть спокойно за будущее Солнца, а вместе с ним и за свое собственное. Как указывает академик С. И. Вавилов, масса Солнца так огромна ($2 \cdot 10^{30}$ кг), что оно имеет шансы «похудеть» хотя бы наполовину не прежде, чем пройдут тысячи миллиардов лет.



.....
 В рамках теории относительности Эйнштейн открыл совершенно неожиданную для всех форму энергии. Оказывается, масса соответствует энергии, это получило отражение в формуле $E = m \cdot c^2$, где c — скорость света в вакууме ($3 \cdot 10^8$ м/с).

Из этой формулы следует, что мизерной массе соответствует колоссальная энергия. Это соответствие проявляется при ядерном распаде урана в атомных реакторах. Из этой формулы также следует, что для искусственного получения даже самых малых масс материи требуются колоссальные затраты энергии. И действительно, на современных ускорителях элементарных частиц протоны разгоняются почти до скорости света, и лишь тогда в результате обстрела ими мишени часть кинетической энергии протонов преобразуется в новые элементарные частицы.

4.10 Четырёхмерное пространство-время

Когда астрономы фотографируют галактику (гигантское скопление звезд), находящуюся на расстоянии в миллионы световых лет, понятно, что свет, экспонирующий фотопленку, начал свое путешествие к нам еще тогда, когда по Земле бродили динозавры. Глядя в ночное небо, мы смотрим в прошлое, взгляд в глубины пространства равносильен взгляду назад во времени. Когда мы с Земли смотрим на Солнце, мы видим то, что было на Солнце 8 минут тому назад, т. к. свет идет от Солнца до Земли 8 минут. Когда мы с Земли смотрим на Марс, то заглядываем в прошлое примерно на 4 минуты назад. Полярную звезду мы видим такой, какой она была около шести веков назад. Галактику в созвездии Андромеды мы наблюдаем с опозданием в 2 млн лет. Даже Луну мы видим в прошлом, какой она была ~ 1,2 с назад.

Таким образом, время и пространство теснейшим образом связаны друг с другом и образуют единый континуум (непрерывную совокупность) — пространство-время.

Поэтому в СТО и в общей теории относительности (ОТО) рассматривается не пространство и время, а единый континуум пространство-время. Представления о четырехмерном пространстве-времени связаны с именем немецкого математика, учителя Альберта Эйнштейна, Германа Минковского (1864–1909 гг.). Геометрическую четырехмерную модель теории относительности называют пространство-время Минковского.

В четырехмерном пространстве-времени есть четыре перпендикулярных направления. Кроме измерений вверх-вниз, вправо-влево, вперед-назад, в четырехмерном пространстве-времени добавляется еще одно измерение — будущее-прошлое.

Событие, происходящее с некоторой частицей, характеризуется местом, где оно произошло (т. е. совокупностью значений x, y, z), и временем t , когда оно произошло («Что? Где? Когда?»). В воображаемом четырехмерном пространстве, по осям которого откладываются пространственные координаты x, y, z и время t , событие можно изобразить точкой.



.....
Мировая точка — точка, изображающая событие в четырехмерном пространстве-времени.

С течением времени мировая точка, соответствующая данной частице, перемещается в четырехмерном пространстве-времени, описывая некоторую линию.



.....
Мировая линия — путь мировой точки в четырехмерном пространстве-времени.

4.11 Пространственно-временной интервал между событиями

В обычном пространстве расстояние Δl между двумя точками, согласно преобразованиям координат Галилея, — инвариант во всех системах и равно

$$\Delta l = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta z^2 + \Delta y^2}.$$

В четырёхмерном пространстве-времени аналогом Δl — расстояния между двумя точками и инвариантом при переходе к другой ИСО — является «расстояние между двумя мировыми точками», обобщение понятий «пространственное расстояние» и «промежуток времени», называемое пространственно-временным интервалом между событиями Δs :

$$\Delta s = \sqrt{c^2 \Delta t^2 - \Delta x^2 - \Delta z^2 - \Delta y^2} = \sqrt{c^2 \Delta t^2 - \Delta l^2}.$$



Выводы

Итак, инвариантами СТО не являются (от выбора системы отсчета зависят):

- а) пространственный интервал, расстояние между двумя точками;
- б) временной интервал, промежуток времени между событиями;
- в) одновременность событий.

Инвариантами СТО являются (от выбора системы отсчета не зависят):

- а) c — скорость света в вакууме;
 - б) пространственно-временной интервал между событиями Δs ;
 - в) предшествование причины следствию, т. е. причинно-следственная связь между событиями.
-

4.12 Понятие об общей теории относительности

4.12.1 Постановка задачи

Несмотря на все успехи закона всемирного тяготения к концу XIX века стало очевидно, что с орбитой самой близкой к Солнцу планеты — Меркурия — не все в порядке. Орбита Меркурия очень медленно поворачивается вперед по ходу движения планеты. Это наблюдение и некоторые другие не поддавались объяснению с помощью законов Ньютона, которые точны при рассмотрении движений со скоростями, много меньшими скорости света и в слабых гравитационных полях.

Необходимо было радикально перестроить все представления.

4.12.2 Неинерциальные системы отсчёта. Силы инерции

Законы Ньютона выполняются в инерциальных системах отсчёта (ИСО). А как описывается движение тела в неинерциальной СО?

Запишем классический закон сложения скоростей (см. пункт 4.2):

$$\vec{v} = \vec{v}^* + \vec{v}_0.$$

Производная по времени даёт подобное соотношение для ускорений:

$$\vec{a} = \vec{a}^* + \vec{a}_0.$$

В любой инерциальной системе отсчёта справедлив второй закон Ньютона, следовательно, мы можем записать для неподвижной (инерциальной) системы:

$$\frac{\vec{F}}{m} = \vec{a} = \vec{a}^* + \vec{a}_0 \quad \Rightarrow \quad \vec{a}^* = \frac{\vec{F}}{m} - \vec{a}_0.$$

При равенстве нулю действующей силы $\vec{F} = 0$ в неинерциальной (подвижной) системе отсчёта тело движется с ускорением $\vec{a}^* = -\vec{a}_0$.

То есть в неинерциальной, движущейся с ускорением \vec{a}_0 системе отсчёта тело ведёт себя так, как если бы на него действовала некоторая сила:

$$\vec{F}_{in} = m \cdot (-\vec{a}_0).$$

Эту силу называют *силой инерции*. Она направлена в сторону, противоположную ускорению \vec{a}_0 движущейся неинерциальной системы отсчёта K^* . \vec{F}_{in} — сила инерции; m — масса тела (пассажира трамвая); $(-\vec{a}_0)$ — ускорение системы, в которой тело находится (трамвая), взятое с обратным знаком.

В однородном поле сил инерции все тела движутся с одинаковым ускорением (это ускорение системы, в которой тело находится, со знаком минус $(-\vec{a}_0)$) независимо от массы пришедших в движение тел. Как это понимать?



Пример

Пассажир находится в вагоне трамвая. Трамвай резко трогается, т. е. система, в которой находится тело, начинает двигаться с ускорением по ходу трамвая. Пассажира никто пальцем не трогает, но он резко отклоняется назад, будто к нему приложили силу, равную его массе, умноженной на ускорение трамвая со знаком минус. Если трамвай резко затормозит (ускорение против хода трамвая), пассажир начнет падать по ходу трамвая. Трамвай поворачивает вправо, пассажира отклоняет влево и т. д. Это действует сила инерции.

$$\vec{F}_{in} = m \cdot (-\vec{a}_0).$$

4.12.3 Принцип эквивалентности

Было замечено, что притяжение Земли очень похоже на силу инерции, которая, например, прижимает нас к спинке сидения ускоряющегося автомобиля. настолько похоже, что даже непонятно, чем они отличаются. Предположили, что эти силы — одной и той же природы, и это предположение оказалось очень плодотворным. Силы инерции \vec{F}_{in} подобны силам тяготения \vec{F}_G . Обе силы пропорциональны массе тела m , на которое они действуют.

$$\vec{F}_{in} = m \cdot (-\vec{a}_0); \quad \vec{F}_G = m \cdot \vec{g}.$$

Поэтому в однородном поле сил инерции все тела движутся с одинаковым ускорением, равным ускорению системы, в которой тело находится, взятым со знаком минус ($-\vec{a}_0$), независимо от массы тел.

В однородном поле сил тяготения все тела тоже движутся с одинаковым ускорением (это ускорение свободного падения $g = G \cdot M/r^2$) независимо от их массы.

На этом основании говорят об эквивалентности сил инерции \vec{F}_{in} и сил тяготения \vec{F}_G (в однородном гравитационном поле).



Все физические явления в однородном поле тяготения происходят так же, как и в однородном поле сил инерции. Неинерциальная система эквивалентна инерциальной системе, в которой присутствуют силы тяготения.

С помощью опытов, проводимых в комнате без окон, невозможно выяснить:

- покоитесь ли вы в поле тяжести;
- равноускоренно движетесь по прямой в далеком космосе на расстоянии в миллионы километров от всех источников тяготения.

Оба случая полностью эквивалентны.

Эта эквивалентность сил тяготения и сил инерции лежит в основе общей теории относительности Эйнштейна — ОТО.

По сравнению со СТО, в ОТО вводится дополнительный постулат — принцип эквивалентности. Его роль заключается в том, что он позволяет уравнивать в правах все системы отсчета, как инерциальные, так и неинерциальные. Каким образом?

Принцип эквивалентности утверждает, что *ускоренное движение физически полностью эквивалентно покою в гравитационном поле.*

Тогда систему отсчета, связанную, например, с тормозящим автобусом (движущуюся с ускорением, неинерциальную), можно заменить системой отсчета, связанной с неподвижным автобусом (инерциальной!), добавив при этом гравитационное поле, чья сила тяготения направлена вперед по ходу автобуса. Так можно избавиться от различия между инерциальными и неинерциальными системами отсчета.

Поскольку же равноправие всех инерциальных систем отсчета постулируется принципом относительности, принятым еще в СТО, выходит, что принцип эквивалентности позволяет рассматривать как равноправные абсолютно все системы отсчета — инерциальные и неинерциальные.

Ярчайшим доказательством эквивалентности сил инерции и сил гравитации является состояние невесомости космонавтов на космической станции:

$$F = G \cdot \frac{mM}{r^2}.$$

Космонавты «падают» на Землю под действием гравитационных сил и «отлетают» под действием центробежных сил инерции:

$$F = -m \cdot \frac{v^2}{r}.$$

Принцип эквивалентности — основополагающий в ОТО Эйнштейна.

4.12.4 Кривизна пространства

Свет из одной точки в другую распространяется по кратчайшему расстоянию. В однородной среде кратчайшим путем является прямая линия. Прямолинейностью распространения света пользуются при проведении прямых линий на поверхности Земли и под землей в метро, при определении расстояний на земле, на море и в воздухе. Прямолинейное распространение света — факт, установленный ещё в глубокой древности. Об этом писал основатель геометрии Евклид за 300 лет до нашей эры.

Что такое свет? Свет может рассматриваться либо как электромагнитная волна, либо как поток фотонов — «световых частиц», обладающих энергией. Если кванты света, фотоны, летящие со скоростью света, имеют энергию E , то, согласно принципу эквивалентности, они обладают релятивистской массой $m = E/c^2$. То есть любой носитель энергии E имеет массу $m = E/c^2$ и должен подчиняться закону всемирного тяготения, даже лучи света. Лучи света притягиваются к Солнцу в соответствии с Ньютоновским законом всемирного тяготения.

Согласно принципу эквивалентности сил гравитации и инерции, введенному Эйнштейном, отклонение светового луча звезды, проходящего по касательной к периметру Солнца, составляет примерно 1,75 угловых секунд. Расчет в рамках классической механики Ньютона дает отклонение светового луча на значительно меньший угол (около 0,9 угловых секунд).

Очень точными наблюдениями установлено, что лучи звезд, проходя вблизи Солнца, действительно искривляются, отклоняются от прямой линии (рис. 4.2), и это экспериментально наблюдаемое отклонение совпадает с предсказанием ОТО.

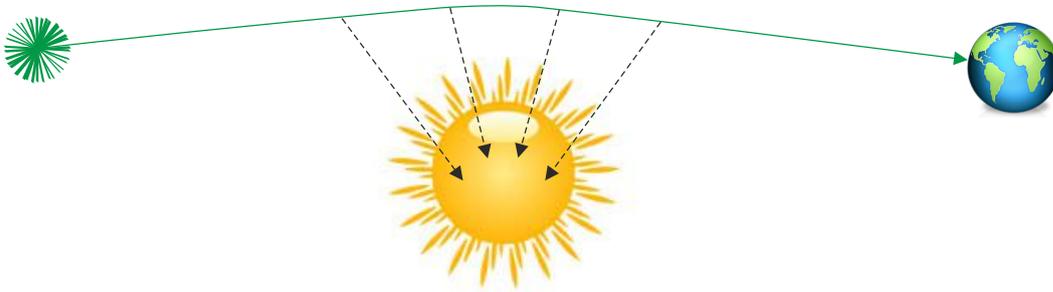


Рис. 4.2 – Отклонение светового луча в гравитационном поле, создаваемом массой Солнца

Получаемое при этом ускорение не зависит от массы m_r и от других свойств движущегося объекта, его траектория определяется только свойствами гравитационного поля, создаваемого массой Солнца M .

Одинаковое для всех движущихся тел ускорение, одинаковым образом искривляющее траекторию движущихся тел, Эйнштейн представил как искривление четырёхмерного пространства-времени (x, y, z, t) .

Если все тела в одной и той же точке пространства получают одинаковое ускорение, т.е. одинаково меняют свою траекторию, то это искривление траектории можно связать не со свойствами тел, а со свойствами самого пространства в этой точке, с искривлением четырёхмерного пространства-времени (x, y, z, t) .

Присутствие и движение материальных тел изменяет геометрические свойства пространства-времени, и наоборот, геометрические свойства пространства-времени влияют на движение материальных тел.



.....
*По образному выражению известного физика Джона Уилера:
 «Материя говорит пространству, как ему искривляться, а пространство говорит материи, как ей двигаться».*

Для описания этого искривленного четырехмерного пространства-времени евклидова геометрия на плоскости уже не подходит, требуется особая неевклидова геометрия. Это геометрия Лобачевского, это геометрия Римана. Движение тел по инерции (нет силы — нет изменения скорости) в искривленном пространстве происходит не по прямой, а по некоторым кривым — геодезическим линиям.

Движение в поле тяготения не есть собственно движение под действием силы, а есть движение по инерции в пространстве с кривизной, обусловленной наличием тяготеющих масс, к которому можно применять СТО для решения всех задач.



.....

Основным отличием пространства-времени ОТО от пространства-времени СТО является его кривизна. В рамках ОТО постулируется, что гравитационные эффекты обусловлены не силовым взаимодействием тел и полей, находящихся в пространстве-времени, а деформацией самого пространства-времени, которая связана с присутствием массы-энергии.

.....

Массивное тело искривляет пространство-время вокруг себя. В теории имеется две реальности: пространство-время и материя. Материя выступает на фоне пространства-времени, искривляя его. Если материю убрать, что пространство становится плоским (псевдоевклидовым).

СТО применима только в инерциальных системах отсчета — т. е. в СО, движущихся без ускорения. ОТО свободна от этого ограничения, поскольку она опирается на принцип эквивалентности, позволяющий уравнивать в правах все системы отсчета.

Как следствие, ее можно использовать в сколь угодно сильных гравитационных полях. Известны результаты множества проверок справедливости ОТО.

4.12.5 Наблюдения, подтверждающие справедливость ОТО

Аномалия движения Меркурия

Обобщая СТО для неинерциальных систем отсчета, Альберт Эйнштейн построил ОТО, представляющую собой современную теорию тяготения. Применив ОТО к задачам о движении планет вокруг Солнца, Эйнштейн получил, что орбиты планет — это не просто эллипсы, а медленно поворачивающиеся эллипсы. Оценив скорость предсказанного теорией поворота орбиты, Альберт Эйнштейн нашел, что такой поворот может быть действительно замечен только у ближайшей к Солнцу планеты — Меркурия, который вращается в области сильного гравитационного поля Солнца и поэтому в области большой кривизны пространства-времени. Для более удаленных планет эффект очень мал и незаметен.

К моменту создания ОТО аномалия движения Меркурия была установлена и ждала своего объяснения уже полвека. ОТО объяснила наблюдаемую аномалию.

Отклонение Солнцем электромагнитного излучения

В 1960-х годах астрономы открыли на небе объекты, названные квазарами (англ. *quasi stellar radiosource* — квазизвездный источник радиоизлучения), которые излучают в десятки раз больше энергии, чем самые мощные галактики. Солнце в радиодиапазоне светит сравнительно слабо, поэтому радиоастрономам очень удобно наблюдать отклонение Солнцем радиоволн, излучаемых квазарами. Результаты наблюдений с чрезвычайно высокой точностью соответствуют ОТО Эйнштейна.

Гравитационное замедление времени

Представим себе, что луч света, излученный на Земле, удаляется от Земли. Макс Планк (1858–1947 гг.), выдающийся немецкий физик-теоретик, получил формулу, согласно которой «частицы света», кванты света, фотоны имеют энергию, равную

$$E_{\text{кванта}} = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda},$$

где $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж · с — постоянная Планка; λ — длина световой волны (путь, который волна проходит за время одного колебания T , называемое периодом T , $\lambda = c \cdot T$); ν — частота волны (число колебаний волны за 1 с). Фотоны, обладающие массой в движении, по мере удаления от Земли теряют свою кинетическую энергию, т. к. гравитационное поле Земли притягивает и «тормозит» фотоны. Скорость движения «частиц света», согласно СТО, изменяться не может. Тогда потеря кинетической энергии, уменьшение энергии фотона связаны с уменьшением частоты ν , или, что то же, с увеличением длины волны $\lambda = c \cdot T$. Увеличение длины волны автоматически означает увеличение периода T . Увеличение периода T эквивалентно замедлению течения времени. (Например, часы «тикают» и стрелка перемещается на какой-то угол не каждую секунду, а каждые две секунды, т. е. часы идут в два раза медленнее.) Эффект увеличения длины волны называется гравитационным красным смещением. (Не следует путать гравитационное красное смещение, вызванное полем тяготения, с космологическим красным смещением, обусловленным расширением Вселенной.) Гравитационное красное смещение является прямым следствием замедления течения времени в гравитационных полях. Такое смещение наблюдается в спектральных линиях Солнца и тяжелых звезд, например Сириуса. Третий эффект, предсказанный ОТО, — гравитационное замедление течения времени — также нашел экспериментальное подтверждение.

Эффект гравитационного замедления времени подтверждается прямым экспериментом: на высоте 104 км на ракете были подняты водородные часы, точность хода которых составляет 10^{-15} с. На Земле оставили точно такие же часы, предварительно синхронизировав их с улетевшими часами. Через два года часы вернули и сравнили показания, разность $4,5 \cdot 10^{-10}$ с совпала с рассчитанной по ОТО с точностью 0,02%.



Выводы

Таким образом, в сильном поле тяготения геометрия обычного трехмерного пространства оказывается неевклидовой, а время течет медленнее, чем вне поля.

4.12.6 Возможность появления черных дыр

ОТО предсказывает возможность появления *черных дыр*. Чтобы понять, как возникает черная дыра, надо вспомнить, каков жизненный цикл звезды.

Звезда образуется, когда большое количество газа (в основном водорода) начинает сжиматься силами собственного гравитационного притяжения. Под действием гравитационной силы атомы газа движутся со все увеличивающимися скоростями и увеличивающейся кинетической энергией, которая определяет температуру газа. В результате газ разогревается и в конце концов становится таким горячим, что атомы водорода, вместо того чтобы отскакивать друг от друга при столкновении, начинают сливаться, образуя атомы гелия, в ходе термоядерной реакции.

Большинство звезд на протяжении большего времени своей жизни сохраняют стабильные размеры за счет того, что огромная сила гравитационного сжатия уравновешивается силой теплового и светового давления, порождаемого термоядерными реакциями в недрах звезд. Но когда запасы ядерного горючего в звезде исчерпаны, гравитацию уже ничто не уравновешивает, звезда теряет свою механическую устойчивость и с увеличивающейся скоростью начинает сжиматься к центру.

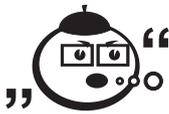


.....
Черные дыры — космические объекты, образовавшиеся в результате гравитационного коллапса (лат. *collapsus* — упавший, рухнувший) звезд.

Если сила гравитационного сжатия сожмет звезду до размеров, меньших ее гравитационного радиуса (для Солнца — это 3 км, для Земли — 0,9 см), то никакое излучение, никакая частица не смогут преодолеть притяжение этого объекта и выйти из сферы его гравитационного радиуса, в том числе кванты света. Гравитационное поле становится настолько сильным, что пространство-время там не просто искривляется, но «сворачивается» и звезда исчезает из нашей Вселенной. Это и есть черная дыра.

ОТО предсказывает и другие экспериментально подтвержденные эффекты.

4.12.7 Основная идея теории относительности



.....
В апреле 1921 г. корреспондент газеты «Нью-Йорк таймс» спросил Эйнштейна, как бы он мог кратко сформулировать главную идею своей теории. Эйнштейн ответил: «Суть такова: раньше считали, что если каким-нибудь чудом все материальные вещи исчезли бы вдруг, то пространство и время остались бы; согласно же теории относительности вместе с вещами исчезли бы и пространство, и время».

В начале XX века А. Эйнштейн разрабатывает СТО, пространство и время рассматриваются исключительно как система отношений между материальными телами (реляционный подход). Дальнейшее углубление научных представлений о пространстве-времени связано с развитием ОТО. В ОТО А. Эйнштейна между материей в форме гравитационного поля и геометрическими свойствами пространства-времени невозможно провести четкую грань.

Современное научное понимание пространства и времени сочетает элементы субстанциального и реляционного подходов.



.....
Основная идея теории относительности заключается в том, что материя и пространство-время едины и не существуют одно без другого.

ОТО дает более точные результаты по сравнению с Ньютоновской механикой. Однако Солнечная система содержит только достаточно слабые гравитационные поля. Использование сложных уравнений ОТО здесь неоправдано: более простые математические методы Ньютоновской механики дают правильный результат в 99,99% случаев. ОТО работает в далеком космосе, в области сильных гравитационных полей, например около таких результатов эволюции звезд, как черная дыра.



.....
 «Было бы нелепо применять теорию относительности к движению автомобилей, пароходов и поездов, как нелепо употреблять счетную машину там, где вполне достаточно таблицы умножения. . .», — сказал, когда-то Альберт Эйнштейн.



Контрольные вопросы по главе 4

.....

1. Опыт Майкельсона—Морли и его результат.
2. Сформулируйте постулаты специальной теории относительности.
3. Преобразования Лоренца и следствия из них.
4. Закон взаимосвязи массы и энергии.
5. Инварианты специальной теории относительности.
6. Уравнение второго закона Ньютона в неинерциальной системе отсчета.
7. Принцип эквивалентности.
8. Что такое четырёхмерное пространство-время?
9. Основная идея теории относительности.
10. Основные предсказания общей теории относительности.
11. Наблюдения, подтверждающие справедливость теории относительности.

Глава 5

РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ОБ УСТРОЙСТВЕ МИРА В ТЕРМОДИНАМИКЕ И МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКЕ

5.1 Динамические и статистические закономерности в природе



.....
***Законы природы** — это объективно существующие, общие, устойчивые связи между процессами или явлениями, происходящими в природе, непреложный (часто математически выраженный) порядок природных явлений, которому подчиняются все наблюдаемые явления природы.*
.....

Закон человеческий может быть отменен, нарушен, закон природы — никогда. Природа не знает нарушения своих законов. Единственный способ избежать неприятностей — это научиться жить и работать в согласии с законами природы.

Наука рассматривает два основных типа причинно-следственных связей и, соответственно, два типа законов природы — динамические и статистические.



.....
***Динамические законы** — законы, отражающие однозначные причинно-следственные связи.*
.....

Динамические теории — классическая механика, СТО и ОТО.



.....
Статистические теории — теории, отражающие многозначные причинно-следственные связи, подчиняющиеся вероятностному детерминизму.

Статистические теории — статистическая механика, все квантовые теории.

Основу любой физической теории составляют три элемента: совокупность физических величин, с помощью которых описываются объекты или явления данной теории (например, в механике Ньютона это координаты, скорости, силы); понятие состояния и уравнения движения, которые описывают эволюцию состояния системы (в механике Ньютона это законы Ньютона).

Принцип детерминизма особенно просто выглядит в классической механике, которая учит, что по начальным данным можно однозначно описать состояние механической системы в сколь угодно далеком будущем (и реконструировать прошлое).

В статистических закономерностях однозначно связаны не значения физических величин (как в динамических), а только вероятности определенных значений тех или иных физических величин, связи же между самими величинами неоднозначны.

5.2 Что такое вероятность?

Представим себе, что есть некоторое случайное событие A (подбросили мячик вверх и поймали). Проводим N испытаний (например, $N = 100$, сто раз подбросили мячик), в каждом из этих испытаний событие A либо происходит, либо не происходит (либо ловим мячик, либо он падает на пол).

Пусть событие A произошло N_A раз ($N_A = 70$, то есть 70 раз поймали, 30 раз мячик оказался на полу) при проведении $N = 100$ испытаний.

Вероятность события A (ловим подброшенный мячик) $W(A) = N_A/N = 0,7$.

Точнее

$$\Delta W(A) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{N_A}{N}.$$



.....
Вероятность ΔW какого-либо события A — это предел, к которому стремится отношение числа случаев N_A , когда это событие произошло, к общему числу испытаний N , при бесконечном увеличении числа испытаний $N \rightarrow \infty$.

5.3 Функция распределения

Пусть v — случайная величина (для определенности, скорость частицы).

$v \div (v + \Delta v)$ — некоторый интервал значений этой величины (например, от 1 м/с до 2 м/с, $\Delta v = 1$ м/с). Попадание значения v в интервал $v \div (v + \Delta v)$ — событие случайное. Очевидно, ΔW — вероятность этого события — зависит от ширины ин-

тервала Δv (чем больше интервал Δv , тем больше вероятность попадания в этот интервал, чем меньше интервал, тем меньше вероятность попадания) $\Delta W = f \cdot \Delta v$.

Еще от чего зависит вероятность ΔW ? От того, в каком месте оси скоростей располагается этот интервал Δv . Так, вероятность того, что между двумя остановками скорость трамвая попадет в интервал значений 5 км/ч — (5 км/ч + 5 км/ч) больше вероятности попадания скорости трамвая в интервал той же ширины $\Delta v = 5$ км/ч, но расположенный в другом месте оси скоростей, $1 \cdot 10^9$ км/ч — (1×10^9 км/ч + 5 км/ч). $1,079 \cdot 10^9$ км/ч — это скорость света.

Следовательно, коэффициент пропорциональности f — это функция v (f зависит от положения на оси скоростей) $\Delta W = f(v) \cdot \Delta v$, $f(v) = \Delta W / \Delta v$.



.....
Функция распределения (плотность вероятности) $f(v)$ — это величина, численно равная вероятности того, что значение случайной величины v (скорости) попадет в единичный интервал, расположенный на оси скоростей около точки v .

5.4 Основной постулат молекулярной физики



.....
 Всякий макроскопический объект состоит из огромного числа молекул, подчиняющихся законам механики.

Состояние системы можно полностью подробно охарактеризовать набором координат и скоростей всего огромного числа молекул системы.



.....
Микросостояние — состояние системы, характеризуемое набором координат и скоростей всех молекул системы в данный момент времени.

Как показывает несложный расчет, в таком маленьком объеме, как одна капля воды, содержится примерно $3 \cdot 10^{22}$ молекул воды. Возможно проследить за движением каждой из $3 \cdot 10^{22}$ микрочастиц, составляющей систему? Нет. Однако в совокупном движении огромного числа частиц, координаты и скорости которых в любой момент времени случайны, проявляются определённые статистические закономерности. Статистический метод, основанный на законах теории вероятности и математической статистики, позволяет определить средние значения величин, оценить вероятности любых возможных значений величин.

Приложение теории вероятности к термодинамическим системам явилось важной вехой в развитии физики. Организатор и первый директор знаменитой Кавендишской лаборатории Кембриджского университета Джеймс Клерк Максвелл (1831–1879 гг.), используя классическую механику и представления о вероятности,

получил закон распределения молекул по скоростям, показал, что в газовых средах, где преобладает хаотичность движения частиц, есть определенный порядок.

Распределение Максвелла не позволяет получить точное значение скорости молекулы. Распределение Максвелла позволяет получить только вероятность $f(v)$ того, что значение скорости молекулы v попадет в единичный интервал, расположенный на оси скоростей около точки v , устанавливает, какая доля частиц имеет данную скорость, как распределены по скоростям молекулы в газе.

Австрийский физик-теоретик Людвиг Эдуард Больцман (1844–1906 гг.) получил зависимость, устанавливающую распределение молекул в газе по координатам.

Д. Клерк Максвелл и Л. Э. Больцман указали на принципиальное отличие поведения отдельной частицы и большой совокупности частиц. Если при описании одной классической частицы всегда можно определить ее координаты и скорости в любой момент времени, то при описании поведения большого коллектива частиц (молекул газа в сосуде) можно определить только вероятность того, что частица имеет данную координату и скорость, лишь указать распределение частиц в зависимости от какого-либо параметра (например, распределение молекул газа по скоростям, или распределение по высоте над уровнем моря плотности воздуха в атмосфере Земли).



.....

Поведение коллектива частиц носит вероятностный характер. Так, в науке появилось представление о фундаментальности случайного и вероятностном характере причинно-следственных отношений. Эти идеи стали основополагающими для развития науки XX века и синергетического подхода к изучению мира.

.....

Макросостояние системы

Состояние системы менее подробно, чем полным набором координат и скоростей всего огромного числа молекул системы в данный момент времени, можно охарактеризовать такими параметрами, как объем системы V , температура T , давление системы p .



.....

Макросостояние — состояние системы, характеризуемое макроскопическими параметрами: объемом V системы, температурой T , давлением p .

.....

5.5 Классическая термодинамика

Классическая термодинамика имеет дело с макросостояниями системы, не с отдельными молекулами, а с макроскопическими телами, состоящими из огромного числа частиц. Классическая термодинамика — динамическая теория. Ее законы дают однозначные связи всех физических величин.

Возникла термодинамика (греч. θερμη — тепло, δυναμις — сила) в первой половине XIX века в связи с развитием теории тепловых машин. Широкое применение

тепловых машин поставило на повестку дня вопрос о возможностях увеличения КПД тепловой машины, то есть возникла необходимость теоретического анализа процесса превращения теплоты в работу. В основе термодинамики лежит совокупность постулатов, которые называют началами термодинамики.

5.5.1 Первое начало термодинамики



.....

Первое начало термодинамики — выражение закона превращения и сохранения энергии. В каждом элементарном процессе тепло δQ , приобретённое системой, расходуется на увеличение внутренней энергии системы dU и на работу δA , совершаемую системой в этом процессе:

$$\delta Q = dU + \delta A.$$



.....

Внутренняя энергия U системы — это собственные энергетические ресурсы системы, энергия всех видов движения и взаимодействия частиц в системе.

.....

Если привести два тела в соприкосновение, то они могут обмениваться энергией, как механической, так и внутренней U . Процесс обмена различными формами энергии характеризуется понятиями совершения работы (A) и переданного тепла (Q).

Количеством переданной механической энергии мы измеряем совершённую работу.



.....

Работа (A) — это мера переданной другому телу механической энергии.

Количество теплоты (Q) — это мера переданной энергии теплового движения молекул (внутренней энергии U).

*Вечный двигатель первого рода — **perpetuum mobile*** — это воображаемая, непрерывно действующая машина, которая будучи раз запущенной совершала бы работу, не получая энергии извне.

.....

Согласно первому началу термодинамики, закону сохранения и превращения энергии $\delta A = \delta Q - dU$ это невозможно, в том числе и применительно к термодинамическим процессам. Если к системе не поступает энергия извне $\delta Q = 0$, то работа δA должна совершаться за счет убыли внутренней энергии $-dU$. Даже если бы это было возможно, то после исчерпания запаса внутренней энергии двигатель перестал бы работать. Устройство, не потребляющее энергии, но совершающее работу, — вечный двигатель первого рода — невозможно, так как оно нарушает закон сохранения энергии — первое начало термодинамики.

5.5.2 Второе начало термодинамики. Понятие энтропии

При всей его значимости первое начало термодинамики ничего не говорит о том, какие энергетические превращения возможны, а какие нет, каково направление протекания процесса, есть ли предельное состояние, к которому система стремится, и что оно собой представляет.

А между тем многие процессы, вполне допустимые с точки зрения первого начала термодинамики, никогда не реализуются в действительности.



Пример

Например, горячий чай на столе остывает, нагревая чашку, блюдце, стол, окружающий воздух, но никто не наблюдал, чтобы теплообмен осуществлялся в обратном направлении — не от горячего объекта к холодному, а от холодного к горячему. Стол бы еще сильнее охладился, а чай в чашке опять закипел.

Шарик на ниточке отклонили от положения равновесия, он покачался и остановился. Механическая энергия упорядоченного движения шарика превратилась во внутреннюю энергию хаотического движения молекул окружающего воздуха, немного нагрев его. Первое начало термодинамики допускает обратный переход энергии хаотического движения молекул окружающего воздуха в механическую энергию упорядоченного движения шарика, но никто никогда не наблюдал увеличения амплитуды колебаний шарика за счет такого процесса.

Капаем чернила в стакан с водой. Молекулы чернил проникают между молекулами воды (диффундируют), равномерно распределяются по объему, окрашивая воду в стакане. Обратную локализацию чернил в капли на поверхности воды не наблюдали.

В реальности такого не бывает, хотя первому началу термодинамики, законам механики, вообще никаким законам это не противоречит.

Никаким законам, кроме одного. Этот закон **второе начало термодинамики**.



Второе начало термодинамики имеет много формулировок. Наиболее общая принадлежит австрийскому физику-теоретику Людвигу Эдуарду Больцману: «Природа в своих процессах стремится от менее вероятных состояний к более вероятным».

Второе начало термодинамики указывает направление процессов. Все процессы самопроизвольно протекают только в одном направлении более вероятных состояний, а в обратном направлении самопроизвольно протекать не могут. Самопроизвольные процессы необратимы. А какие состояния более, какие менее вероятные?

Мы говорим, что систему можно характеризовать макросостоянием (давлением p , объемом V , температурой T) и микросостоянием (набором координат и скоростей всех составляющих систему молекул). Данное макросостояние изолирован-

ной системы может создаваться большим числом различных микросостояний. Это связано с тем, что частицы, образующие систему (молекулы газа в баллоне), постоянно перемещаются (изменяют координаты) и изменяют свой импульс (скорость) при соударениях. В результате этого микросостояния системы (набор координат и скоростей частиц) постоянно и хаотично сменяют друг друга, хотя макросостояние (давление, объем, температура газа в баллоне) может при этом не меняться.

Как измерить степень хаоса хаотично сменяющихся друг друга микросостояний?

Естественной мерой хаоса, мерой беспорядка является количество микросостояний, в которых может находиться система, существующая при этом в определенном макросостоянии (т. е. имеющая неизменные p , V , T).

Чем больше количество микросостояний, тем менее предсказуемым и более хаотичным является макропроцесс, происходящий в системе. Чем больше количество микросостояний, посредством которых может реализоваться данное макросостояние, тем чаще это макросостояние будет осуществляться, тем более вероятным будет это макросостояние.

Мерой термодинамической вероятности макросостояния является физическая величина, называемая энтропией S (др.-греч. ἐντροπία — поворот, превращение).



.....
Согласно Людвигу Больцману энтропия

$$S = k \cdot \ln G,$$

где k — постоянная Больцмана ($k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К); G — статистический вес макросостояния или его термодинамическая вероятность — количество возможных микросостояний системы, посредством которых может быть реализовано данное макросостояние.
.....

Как и первое начало термодинамики, второе начало термодинамики было установлено путем обобщения огромного количества экспериментальных наблюдений и носит эмпирический характер.

Отличие между первым и вторым началом термодинамики заключается в следующем.



.....
Первое начало термодинамики — это всеобъемлющий, ничем не ограниченный закон природы. Второе начало термодинамики носит статистический характер, работает только тогда, когда речь идет об очень большом числе частиц и микросостояний.
.....



.....
Пример

Для пояснения рассмотрим двухкамерный объем с газом. Очевидно, что число возможных микроположений молекул газа в двух камерах больше, чем в одной. Поэтому термодинамическая вероятность макросостояния «газ заполняет обе камеры» больше, чем вероятность макросостояния «газ заполняет только одну камеру».

Если газ находится только в одной камере, то при первой благоприятной возможности он, согласно второму началу термодинамики, самопроизвольно заполнит обе камеры, перейдя от менее вероятного состояния к более вероятному. Но если число молекул газа в системе мало, то нарушение второго начала термодинамики возможно. Пусть в объеме (рис. 5.1) находится одна молекула. Какова вероятность того, что она окажется в левом отсеке?

$$W_1 = \frac{1}{2}.$$

Пусть в объеме находятся две молекулы. Какова вероятность того, что вторая молекула окажется в левом отсеке?

$$W_2 = \frac{1}{2}.$$

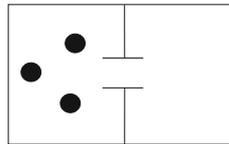


Рис. 5.1 – Двухкамерный объем с газом

Какова вероятность того, что и первая, и вторая молекулы одновременно окажутся в левом отсеке? Вероятность того, что два независимых случайных события произойдут одновременно равно произведению их вероятностей $W = W_1 \cdot W_2 = 1/2 \cdot 1/2 = 1/2^2$.

Пусть в объеме находятся три молекулы $W = W_1 \cdot W_2 \cdot W_3 = 1/2 \cdot 1/2 \cdot 1/2 = 1/2^3$. Пусть в объеме находится 1 моль молекул ($N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$)

$$W = W_1 \cdot W_2 \cdot W_3 \cdot \dots = 1/2 \cdot 1/2 \cdot 1/2 \cdot \dots = 1/(2^{N_A}).$$

Если в объеме находится $6,02 \cdot 10^{23}$ молекул, то все молекулы вряд ли окажутся одновременно в левом отсеке, но если молекул не статистическое количество, а только 3, 4, 5, то это может случиться.



Необратимый процесс (расширение газа на оба отсека) — это процесс, обратный которому очень маловероятен, хотя и не невозможен вообще.



Пример

Популярен такой пример. Возможно ли, чтобы все молекулы воздуха в аудитории собрались в одной ее половине, а в другой воздуха бы не стало?

Да, возможно, но вероятность этого события сравнима с вероятностью того, что 20 тысяч обезьян, хаотично стуча по клавишам печатающего устройства, без единой ошибки наберут все тома «Войны и мира» Льва Николаевича Толстого.



Энтропия — мера необратимости процесса, мера перехода энергии в такую форму, из которой она уже не может самостоятельно перейти в другую форму.

Энтропия характеризует беспорядок в системе, чем больше беспорядка, тем выше энтропия. Упорядоченное движение, любой порядок характеризуются малым числом микросостояний. Хаос может быть реализован значительно большим числом микросостояний. Хаос имеет большую термодинамическую вероятность, больший статистический вес. Чем больше беспорядок и хаотичность состояния системы, тем больше величина энтропии системы, тем больше термодинамическая вероятность этого состояния системы. Энтропия является одной из фундаментальных функций в термодинамике, в ряде прикладных наук (химии, биологии, теории информации), в естествознании в целом.

5.5.3 Энтропия и информация

Понять связь энтропии с теорией информации можно из следующего примера. При случайном бросании кубика вероятность появления на верхней грани какого-либо числа (например, числа 5) равна $p(5) = 1/6$, а общее число равноправных событий равно числу граней кубика — 6.

Но если после бросания получена информация о том, что выпало нечетное число, то вероятность появления на верхней грани числа 5 становится равной $p(5) = 1/3$, а общее число равноправных событий равно 3 — выпадение чисел 1, 3, 5.

Энтропия $S = k \cdot \ln G$. До получения информации $G = 6$, $S_1 = k \cdot \ln 6$. После получения информации $G = 3$, $S_2 = k \cdot \ln 3$. $S_2 - S_1 = \Delta S < 0$.

В процессе получения информации энтропия уменьшается. Энтропия характеризует меру неопределенности будущего события, будущего поведения системы. С этой точки зрения упорядоченность любой системы может трактоваться как мера предсказуемости ее будущего. В математике энтропия характеризуется как информационная функция. Энтропия есть мера недостатка информации о системе.

5.5.4 Энтропия с точки зрения термодинамики



С точки зрения термодинамики **энтропия** — это такая функция состояния системы, изменение которой dS в элементарном равновесном процессе равно отношению порции тепла δQ , которое система получает (или отдает) в этом процессе, к термодинамической температуре системы T :

$$dS = \frac{\delta Q}{T}.$$

При переводе вещества из одного состояния в другое состояние энтропии изменяется на величину, вычисляемую путем деления каждой малой порции тепла δQ , затрачиваемой во время перевода, на абсолютную температуру T , при которой это тепло затрачено. Так, при плавлении твердого тела энтропия возрастает на величину теплоты плавления, деленной на температуру плавления.

Из строгого вывода понятия энтропии следует, что изменение энтропии dS определяется зависимостью

$$dS \geq \frac{\delta Q}{T}.$$

Знак равенства «=» относится к условиям равновесия, знак «>» относится к процессам релаксации (процессам перехода в равновесное состояние).

Для изолированных систем (нет обмена с внешней средой ни энергией, ни веществом) $\delta Q = 0$. Следовательно, $dS \geq 0$.

Отсюда важнейшее положение термодинамики для изолированных систем.



В изолированной системе живой и неживой материи самопроизвольно могут протекать только такие процессы, при которых энтропия системы возрастает. Процесс идет до того состояния, при котором энтропия обладает максимальным для данных условий значением.

Это закон возрастания энтропии изолированной системы — одна из формулировок второго начала термодинамики.

Энтропия изолированной системы никогда не убывает. Она или растёт, пока в системе протекает процесс релаксации, или остаётся неизменной, если система равновесна. Процессы, при которых энтропия уменьшается, неосуществимы в изолированных системах.



Вечный двигатель второго рода — устройство, работающее циклически и превращающее всё подводимое к нему тепло Q_H в механическую работу A .

Невозможность осуществления вечного двигателя второго рода постулируется в термодинамике в качестве одной из формулировок второго начала термодинамики.

Можно ввести коэффициент η , характеризующий полезное потребление тепла, получаемого от нагревателя Q_H , коэффициент полезного действия (КПД) тепловой машины:

$$\eta = \frac{A}{Q_H} = \frac{Q_H - Q_X}{Q_H} = 1 - \frac{Q_X}{Q_H} = 1 - \frac{T_X}{T_H}.$$

Хотелось бы использовать тепло на все 100%, т. е. построить периодически действующую тепловую машину без холодильника (теплота, отдаваемая холодильнику $Q_X = 0$). Возможность построения такой машины не противоречит первому началу термодинамики — закону сохранения энергии.

Однако уже Николая Леонар Сади Карно (1796–1832 гг.), французский инженер, физик и математик, один из основателей термодинамики понял, что такая тепловая машина принципиально невозможна. Карно сравнивал работу тепловых двигателей с работой водяных двигателей. Производство работы в водяных двигателях связано с падением воды с высокого на более низкий уровень. Аналогично, возможность производства работы тепловыми двигателями обусловлена самопроизвольным переходом теплоты от более нагретого тела к менее нагретому, т. е. для работы теплового двигателя необходимы два тепловых источника различной температуры. Этим и объясняется причина, по которой нельзя перевести в работу теплоту окружающей нас атмосферы или теплоту морей и океанов при отсутствии таких же масштабных источников теплоты с более низкой температурой.

Тепловая машина преобразует теплоту в работу и действует строго периодически, т. е. после завершения цикла возвращается в исходное состояние. Рабочее тело машины, получая тепло от нагревателя, меняет своё состояние (газ расширяется). Поэтому и совершается работа. По завершении цикла система должна быть возвращена в исходное состояние. Если этого не произойдет, в какой-то момент времени состояние рабочего тела машины удалится так далеко от исходного, что станет несовместимым с самой возможностью существования машины. Для сжатия требуется работа внешней силы, уменьшающая КПД. Сжатие газа не может происходить самопроизвольно. Почему?

Потому, что число возможных микроразположений молекул газа тем больше, чем больше объем камеры. Следовательно, термодинамическая вероятность макросостояния «газ заполняет всю камеру» больше, чем термодинамическая вероятность макросостояния «газ сжат и заполняет только часть камеры», т. е. все молекулы газа собрались в одной ее половине, а в другой газа нет. Это возможно, но уже было упомянуто, чему равна вероятность такого события.



.....
 Формулировка второго начала термодинамики Вильяма Томсона (лорда Кельвина) звучит так. Невозможен круговой процесс, единственным результатом которого было бы производство работы за счет охлаждения теплового резервуара.

Из второго начала термодинамики следует, что невозможно создать вечный двигатель второго рода — периодически действующую машину, которая целиком

превращала бы в работу теплоту, извлекаемую ею из окружающих тел (океана, атмосферного воздуха или других практически неисчерпаемых природных источников теплоты).



Пример

Очень впечатляющий пример: океанский корабль с двигателем мощностью 100 тыс. кВт мог бы полностью обеспечить работу своей машины за счет охлаждения морской воды на 15°C (от 20°C до 5°C), охлаждая 1 м^3 воды в течение 6 с, т. е. всего 10 м^3 воды в минуту. К сожалению, этот процесс термодинамически невозможен, и, пlying по такому, в буквальном смысле, океану энергии, корабль вынужден сжигать уголь или нефть.

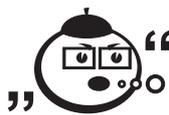
5.5.5 Стрела времени (направленность физических процессов)

В законах Ньютона можно обратить время, заменив переменную t на $(-t)$. Ньютоновская механика не даёт ответа на вопрос о направленности физических процессов. Ответ на вопрос о «стреле времени» даёт второе начало термодинамики: все процессы протекают в сторону увеличения энтропии.



.....
Второе начало термодинамики в формулировке немецкого физика-теоретика Рудольфа Юлиуса Эммануэля Клаузиуса (1822–1888 гг.): «Теплота не может переходить от тела, менее нагретого, к телу, более нагретому».

Если два объекта с разными температурами, представляющие собой замкнутую систему, приведены в тепловой контакт, то теплообмен между ними протекает единственным образом — тепло идет от объекта с большей температурой к объекту с меньшей температурой.



.....
«Энтропия является, следовательно, величиной, — пишет знаменитый французский ученый Анри Пуанкаре, — в некотором роде измеряющей эволюцию данной системы или, по крайней мере, указывающей направление этой эволюции».

5.5.6 Гипотеза тепловой смерти Вселенной

Принимая во внимание «стрелу времени», указывающую направление эволюции, Клаузиус сделал следующий печальный вывод. Если теплообмен между телами протекает единственным образом — тепло передаётся от объекта с большей к объекту с меньшей температурой, то говоря о Вселенной в целом, можно предположить, что вся ее теплота (энергия) с течением времени будет равномерно распределяться между всеми ее частями. Температура звезд, космического пространства — всего станет одинаковой. Прекратятся все направленные процессы. Вся мировая энергия превратится в энергию хаотичного теплового движения, равномерно распределенного по всей Вселенной. Это значит, что макротела рассыплются на молекулы, молекулы — на атомы, а атомы — на элементарные частицы, которые будут хаотично носиться в мировом пространстве. Наступление теплового равновесия во Вселенной будет означать ее превращение в хаос, или «тепловую смерть Вселенной».

Например, человеческое тело, как правило, теплее окружающей среды. Если установится тепловое равновесие между телом и средой (например, температура и среды, и тела равна $+20^{\circ}\text{C}$), то это будет означать смерть человека. Так и тепловое равновесие во Вселенной равносильно ее смерти. Из хаоса, утверждали древние греки, Вселенная родилась, в хаос же, по законам термодинамики, должна возвратиться. Есть много сложных и не очень рассуждений, опровергающих эту гипотезу.

Опровержение первое. Нельзя применять второе начало термодинамики к Вселенной, так как она не является замкнутой. Вселенная безгранична.

Опровержение второе. Вывод о «тепловой смерти» Вселенной несостоятелен, поскольку не учитывает влияние тяготения. Вселенную необходимо рассматривать как гравитирующую систему. Вследствие тяготения однородное изотермическое распределение вещества во Вселенной не соответствует максимуму энтропии, такое состояние не является наиболее вероятным.

Вселенная не стационарна — она расширяется, и первоначально однородное вещество распадается под действием сил тяготения, образуя звезды, галактики, скопление галактик и т. д. Эти процессы происходят с ростом энтропии. В земных условиях рост энтропии (меры беспорядка) сопровождается размыванием всяческой структуры, в космических же условиях рост энтропии, наоборот, приводит ко всё большему структурированию Вселенной. Причиной такого странного поведения энтропии в космических масштабах является гравитация, которой в лабораторных условиях пренебрегают ввиду ее относительной слабости.

Таким образом, в Метагалактике существенную роль играет тяготение, которое никак не учитывалось при изучении земных термодинамических процессов.

5.5.7 Свойства энтропии



- Энтропия — мера хаоса, беспорядка и бесструктурности в системе.

Изолированная система с течением времени неизбежно переходит в более однородное, бесструктурное состояние.

- Энтропия — измеряемая физическая величина. Энтропия замкнутой системы не убывает: $dS \geq 0$. Мера хаоса в системе — энтропия — в изолированной системе может только увеличиваться и, достигнув максимума, оставаться постоянной. $dS = 0$ для обратимых процессов и $dS > 0$ для необратимых.
- Энтропия — мера «некачественности» энергии. Устройство, полностью превращающее тепловую энергию хаотического движения молекул в работу (упорядоченное движение), — вечный двигатель второго рода — невозможно.
- Энтропия — функция состояния системы. Это значит, что в замкнутой системе в обратимом процессе, при возвращении системы в исходное состояние $dS = 0$.
- Энтропия аддитивна: энтропия системы равна сумме энтропий всех её частей.

.....

5.5.8 Энтропия в открытых системах

Второе начало термодинамики (в формулировке неубывания энтропии) иногда используется критиками эволюции с целью показать, что развитие природы в сторону усложнения невозможно. Подобная интерпретация физического закона неверна. Выражение $dS \geq 0$ было получено для изолированных систем (в системе нет обмена с внешней средой ни энергией, ни веществом), $\delta Q = 0$.



.....

В открытых системах, свободно обменивающихся с окружающей средой энергией в виде тепла, величина $\delta Q \neq 0$. В таких системах может быть $\delta Q > 0$ — эндотермический процесс идет с поглощением тепла и возрастанием энтропии и $\delta Q < 0$ — экзотермический процесс идет с выделением тепла и уменьшением энтропии $dS < 0$.

.....

5.5.9 Постулат Нернста. Третье начало термодинамики

Вальтер Герман Нернст (1864–1941 г.) — немецкий химик, лауреат Нобелевской премии по химии 1920 г.

Второе начало термодинамики — статистический закон, описывающий закономерности хаотического движения большого числа частиц, составляющих замкнутую систему. В системах, состоящих из малого числа частиц, возможны отклонения от второго закона термодинамики.

Когда еще второй закон «отключается», когда еще физическая система обнаруживает «черты не признающего вероятность часового механизма»? Эрвин Рудольф

Йозеф Александр Шредингер (1887–1961 гг.) — австрийский физик-теоретик, лауреат Нобелевской премии, один из разработчиков квантовой механики в своей книге «Что такое жизнь с точки зрения физики?» — пишет, что квантовая теория дает на этот вопрос краткий ответ, а именно: это случается при абсолютном нуле температуры. При приближении к температуре абсолютного нуля $T = 0$ К молекулярная неупорядоченность перестает влиять на физические явления. Это — знаменитая «тепловая теорема» Вальтера Германа Нернста — **третье начало термодинамики**.



.....
 Согласно постулату Нернста при уменьшении температуры энтропии всех тел уменьшаются и принимают одинаковое для всех веществ нулевое значение при температуре абсолютного нуля. $S = 0$ при $T = 0$ К.

Для разных процессов достаточным приближением к абсолютному нулю может быть и не очень низкая температура. Так, для маятниковых часов комнатная температура практически эквивалентна нулю. Это — причина того, что маятниковые часы работают «динамически», не ощущая нарушающего действия теплового движения уже при обычной температуре.

5.5.10 Тепловые двигатели и охрана окружающей среды

Увеличение КПД тепловых двигателей достигается за счет применения все более совершенных видов топлива, позволяющих увеличить температуру нагревателя T_H . Сжигание топлива сжигает и атмосферный кислород. Для нужд промышленности вырубают леса, восстанавливающие запасы кислорода в атмосфере. Количество кислорода в атмосфере постоянно уменьшается. При сгорании всех видов топлива в атмосферу выбрасывается огромное количество углекислого газа. CO_2 , поднимаясь вверх, экранирует тепловое излучение, испускаемое земной поверхностью. Нарушается тепловой баланс. Возникает опасный парниковый эффект, угрожающий повсеместным повышением температуры, таянием льдов на полюсах, затоплением части суши, необратимым изменением климатических условий. Ежегодно температура атмосферы Земли повышается на $0,05^\circ\text{C}$. За последние 20 лет человечество увеличило содержание CO_2 в атмосфере на 20%. При сгорании топлива в атмосферу выбрасываются вредные вещества, загрязняющие окружающую среду. Только автомобильные двигатели ежегодно выбрасывают в почву 3 млн тонн свинца. Соединения азота, поднимаясь в стратосферу, губят тонкий слой атмосферного O_3 , лишая Землю защиты от губительных для всего живого космических лучей. Перед человечеством остро стоит вопрос охраны окружающей среды от продуктов его же деятельности.



Контрольные вопросы по главе 5

1. Что такое микросостояние и макросостояние системы?
2. Что устанавливает распределение Максвелла? Что устанавливает распределение Больцмана?
3. Первое начало термодинамики. Вечный двигатель первого рода — это... Почему невозможно его создание?
4. Наиболее общая формулировка второго начала термодинамики, принадлежащая австрийскому ученому Людвигу Больцману.
5. В чем заключается отличие второго начала термодинамики от первого?
6. Взаимозависимость величин термодинамической вероятности состояния системы, энтропии и степени упорядоченности.
7. С точки зрения термодинамики энтропия — это такая функция состояния системы. . .
8. Второе начало термодинамики. Вечный двигатель второго рода — это устройство. . . Почему невозможно его создание?
9. В чем суть гипотезы о «тепловой смерти Вселенной»? Ее опровержения.
10. Постулаты Нернста и Планка. Третье начало термодинамики.

Глава 6

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ КАРТИНА МИРА

6.1 «Электромагнитные» представления древних

Начало XIX века ознаменовалось мощным развитием теплотехники и теплоэнергетики, интенсивным внедрением парового двигателя в транспорт и промышленность. Но постепенно эпоху теплотехники сменила эпоха электричества, которая еще в больших масштабах преобразила жизнь, быт и труд человека.

Электрические явления были знакомы человеку еще в древности. Древнегреческий мыслитель Фалес Милетский за шесть веков до нашей эры обратил внимание на наблюдения ткачей, касающиеся способности янтарных челноков притягивать легкие тела. Само слово «электричество» происходит от греческого слова «электрон» — янтарь. Древние еще в IV веке до н. э. обнаружили, что, кроме янтаря, и другие вещества (агат, оникс) способны в результате трения приобретать электрические свойства. Они знали также, что существует особый минерал — железная руда (магнитный железняк), способный притягивать железные предметы. Залежи этого минерала находились возле города Магнесии, название которого послужило источником термина «магнит». Древние пытались дать объяснение этим явлениям. Существовали материалистические учения, которые пытались объяснить все явления природы естественными законами. Так, атомисты учили, что все состоит из мелких материальных неделимых частиц — атомов, действие магнита материалистически объяснялось «истечением» этих мельчайших частиц из магнита.

В настоящее время археологи порой обнаруживают загадочные предметы, которые не вписываются в наше представление о древних культурах. При их исследовании невольно закрадывается мысль, что, например, электричество было известно древним и использовалось ими. Забавная гипотеза. Но что если во всем виноваты «темные века», лишившие европейцев исторической памяти? Нельзя недооценивать предков. Все забывается, и некоторые вершинные достижения той или иной культуры, удивительные секреты утрачиваются по прошествии малого времени. Войны, пожары, гибель письменных источников умножают забвение. Многие ис-

чезло без следа, возможно, утрачены целые направления науки, плоды деятельности крупных научных школ, приемы династий ремесленников. И теперь, когда археологи находят непривычный артефакт (лат. *arte* — искусственно + *factus* — сделанный) — объект, имеющий следы направленного механического воздействия человека, они не знают, как объяснить его появление. Он становится неразрешимой загадкой, «фразой из книги, которая давно сожжена».

С распадом античных цивилизаций (I–II вв. н. э.) рассеялась по миру их уникальная культура, а с ней и сформированные древними зачатки наук. Проходит более тысячи лет, прежде чем разрозненные остатки древней науки начинают собираться. XVIII век реанимирует и развивает и «электромагнитные» представления древних.

6.2 Полевая форма существования материи — электрическое поле

6.2.1 Два вида электричества

В 1733 году французский физик Шарль Франсуа Дюфе открыл существование двух видов электричества, которые он назвал «стеклянным» и «смоляным». Первое возникало на стекле, горном хрустале, драгоценных камнях, шерсти, волосах; второе — на янтаре, шелке, бумаге.



.....
 При этом Дюфе установил, что электричество одного рода отталкивает от себя электричество того же рода и притягивает электричество другого рода. То есть одноименно заряженные тела отталкиваются, а разноименно заряженные тела — притягиваются.

Теперь электричество первого рода (стеклянное) называют положительным, а второго рода (смоляное) — отрицательным. В науке принято положительное электричество обозначать знаком «+», а отрицательное — знаком «-».

6.2.2 Процесс заряжения тела (электризация)

Все тела состоят из атомов. Согласно планетарной модели атома атом состоит из положительно заряженного ядра, вокруг которого движутся отрицательно заряженные электроны, — подобно тому, как планеты движутся вокруг Солнца. Положительный заряд ядра атома в точности равен отрицательному заряду всех электронов в атоме. В любом теле, состоящем из электронейтральных атомов количество положительных зарядов в точности равно количеству отрицательных зарядов. Тело не заряжено, электронейтрально. При этом электроны в атомах одних веществ удерживаются ядрами сильнее, в атомах других — слабее. При соприкосновении, при трении тел электроны с тела, где они удерживаются слабо, переходят на поверхность другого тела, атомы которого удерживают электроны крепче. Всякий процесс заряжения есть процесс перехода электронов с одного тела на другое.

При переходе на поверхность другого тела электроны переносят с собой свой отрицательный заряд. Заряд электрона определяется величиной $e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кулона. Поэтому прежде нейтральное тело, на которое электроны переходят, перенося свой отрицательный заряд, становится отрицательно заряженным (например, ладонь, гладящая котика), а тело, с которого электроны ушли, тело с недостатком электронов (шерстка котика), становится положительно заряженным.

Уменьшение числа электронов на шерстке котика в точности равно числу увеличения электронов на гладящей котика ладони.



.....
Электрический заряд любого заряженного тела является дискретным. Он состоит из целого числа зарядов электрона.
.....

Каков будет ответ на вопрос: может ли заряженное тело иметь заряд $q = -2 \cdot 10^{-19}$ Кл? Нет, не может, если на него перейдет один электрон, заряд тела будет $e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, меньше, чем $q = -2 \cdot 10^{-19}$ Кл. Если на него перейдет два электрона, заряд тела будет уже $q = 2e = -3,2 \cdot 10^{-19}$ Кл, больше, чем $q = -2 \cdot 10^{-19}$ Кл. Электрон переходит целиком и переносит свой заряд целиком, поделится на части и поделить на части свой заряд электрон не может.

6.2.3 Закон сохранения электрического заряда

Закон сохранения электрического заряда — один из фундаментальных, строгих законов природы сформулировал Бенджамин Франклин (1706–1790 гг.), американский государственный деятель, ученый, известный своими трудами по электричеству.



.....
Алгебраическая сумма электрических зарядов любой электрически изолированной (т. е. не обменивающейся зарядами с внешней средой) системы остается неизменной, какие бы процессы ни происходили внутри этой системы:
.....

$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \text{const},$$

где n — число зарядов в системе.
.....

Уменьшение числа зарядов электронов на шерстке котика в точности равно числу увеличения зарядов электронов на гладящей котика ладони, а сумма зарядов неизменна.

6.2.4 Электрическое поле

Почему электрические заряды взаимодействуют, притягиваются или отталкиваются? Что является агентом, осуществляющим это взаимодействие?

Этим агентом является всегда присутствующее вокруг заряда электрическое поле. Электрический заряд, помещенный в некоторую точку пространства, изме-

няет свойства данного пространства, порождает вокруг себя электрическое поле. Посредством этого электрического поля и осуществляется взаимодействие зарядов.

Если взаимодействие осуществляется между неподвижными электрическими зарядами, то агент, посредством которого осуществляется это взаимодействие, называют электростатическим полем.



.....
 Не существует электростатических полей, не связанных с зарядами, как не существует электрических зарядов, не окружённых электростатическим полем.



.....
Электростатическое поле — это частная форма электромагнитного поля, особого полевого вида материи.

В отличие от механистической картины мира, где исходными идеями были классический атомизм и механицизм, в электродинамической картине исходной идеей стал континуализм (от лат. *continuus* — непрерывный). Если в механистической картине мира вещество считалось состоящим из дискретных частиц (атомов, молекул), то электромагнитное поле обладает непрерывностью. Передача взаимодействия в этой новой картине мира осуществляется материальным электромагнитным полем.



Выводы

.....

Таким образом, представления о дискретности и непрерывности материи в электродинамической картине мира получили свое четкое выражение в двух формах материи: веществе и поле.

.....

6.2.5 Электрический заряд

Что такое электрический заряд? Как и масса, электрический заряд — это природная данность.



.....
Электрический заряд — это свойство тел, позволяющее им взаимодействовать с электромагнитными полями: создавать электромагнитные поля, будучи их источниками, и подвергаться силовому действию этих полей.

С одной стороны, электрический заряд — это источник электромагнитного поля, связанный с материальным носителем.



.....
 Бывают частицы без электрического заряда, но не бывает электрического заряда без частицы.

С другой стороны, электрический заряд — это скалярная физическая величина, которая определяет интенсивность электромагнитных взаимодействий подобно тому, как масса определяет интенсивность гравитационных взаимодействий.

Сила притяжения между двумя точечными массами:

$$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}.$$

Аналогичной по форме записи формулой определяется сила взаимодействия (притяжения или отталкивания) между двумя точечными зарядами:

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

Первая формула — это закон всемирного тяготения.

Вторая формула — это закон Кулона — основной закон электростатики.

Шарль Огюстен Кулон — французский военный инженер и ученый-физик, исследователь электромагнитных и механических явлений. Его именем названы единица электрического заряда и закон взаимодействия электрических зарядов.



.....
 Закон Кулона: сила электрического взаимодействия F между двумя неподвижными точечными зарядами в вакууме прямо пропорциональна произведению этих зарядов q_1 и q_2 и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними r .

Величина коэффициента пропорциональности k в СИ $k = 9 \cdot 10^9$ Нм²/Кл².



.....
Точечный заряд — заряженное тело, размеры которого пренебрежимо малы по сравнению с расстояниями до других заряженных тел, с которыми это тело взаимодействует.

6.2.6 Напряженность электрического поля

Основное свойство электрического поля заключается в том, что на всякий заряд, помещенный в это поле, действует сила Кулона:

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

Назовем заряд q_1 полеобразующим, а заряд q_2 — пробным зарядом. Заряд q_2 всегда будем брать один и тот же, а именно: точечный (чтоб не исказить поле), единичный, положительный. $q_2/q_2 = +1$.

Тогда сила \vec{E} , действующая всегда на один и тот же точечный, единичный, положительный заряд, $\vec{E} = \vec{F}/q_2$, будет определяться только величиной и знаком полеобразующего заряда q_1 и являться характеристикой поля полеобразующего заряда:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_{\text{пр}}}; \quad E = k \cdot \frac{q}{r^2}.$$



.....
Напряженность в данной точке поля — это сила, действующая на точечный, единичный, положительный заряд, внесенный в эту точку поля.

6.2.7 Силовые линии электрического поля

Как сделать «видимым» невидимое электрическое поле? Как его нарисовать? Графически электрическое поле изображается линиями напряженности (силовыми линиями), как это показано на рисунке 6.1. Силовые линии проводят таким образом, чтобы касательная к силовой линии в каждой точке совпадала с направлением вектора напряженности \vec{E} в данной точке поля.

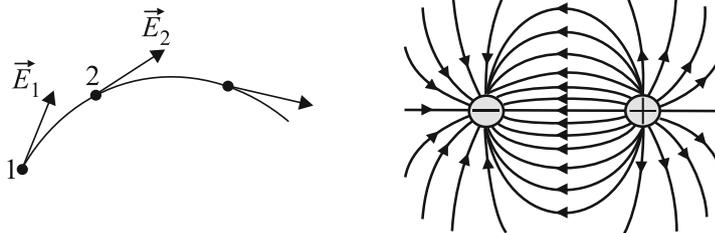


Рис. 6.1 – Силовые линии электростатического поля

Силовые линии электростатического поля (рис. 6.1) всегда разомкнуты. Они начинаются на положительном заряде и заканчиваются на отрицательном заряде, никогда не замыкаясь в «кольцо».

6.2.8 Электрический ток

Огромную важность имело открытие электрического тока, связанное с именами итальянских ученых Луиджи Гальвани (1737–1798 гг.) и Алессандро Джузеппе Антонио Анастасио Вольта (1745–1827 гг.).



.....
Электрический ток — это упорядоченное движение электрических зарядов.

Электрические заряды будут двигаться упорядоченно, если:

- 1) эти заряды имеются;
- 2) имеется электрическое поле, которое будет их двигать.

Если электростатическое поле однородное, то сила, действующая на заряженную частицу, постоянна как по величине, так и по направлению. Движение заряженной частицы полностью аналогично движению тела в поле тяжести Земли без учета сопротивления воздуха. Положительно заряженная частица «упадет» на отрицательный заряд, отрицательно заряженная частица «упадет» на положительный заряд. На этом движение прекратится.

От действия электростатического поля на тело можно защититься металлическим экраном, т. к. внутри него поле отсутствует! Кусты и деревья являются мощным экраном, который сдерживает проникновение электромагнитных волн.

Поле тяжести не может вновь поднять частицу на высоту, с которой она упала, и обеспечить непрерывное круговое движение. Электростатическое поле тоже не может обеспечить непрерывное движение зарядов. Чтобы частица (например, капля воды) осуществляла круговорот, надо, чтоб на ее пути стоял насос, поднимающий каплю на высоту, с которой она уже сама будет падать. Точно так же и с заряженными частицами. Надо, чтоб был источник каких-то сторонних (не электрических) сил, которые бы переносили положительную частицу, «упавшую» на отрицательный заряд, обратно на положительный заряд, а отрицательную частицу, «упавшую» на положительный заряд, — обратно на отрицательный заряд, против действия сил кулоновского отталкивания. Дальше на заряд противоположного знака они уже будут сами «падать», осуществляя непрерывное движение зарядов — электрический ток. Таким образом, для протекания тока необходимо наличие замкнутой электрической цепи, в которую входят *источники тока*, обеспечивающие, подобно водяному насосу, непрерывное движение.

Понятие «электрический ток» ввел в физику Андре Мари Ампер (1775–1836 гг.) — великий французский физик и математик, один из основоположников электродинамики. Андре Мари Ампер открыл явление механического взаимодействия электрических токов (если токи в проводниках имеют одинаковое направление, то между ними действует сила притяжения, если токи в проводниках имеют противоположное направление, то между ними действует сила отталкивания) и установил количественные соотношения для силы взаимодействия электрических токов.

6.3 Полевая форма существования материи — магнитное поле

Древние греки считали, что электрические и магнитные силы имеют общую природу. В средние века, т. к. не наблюдалось никакого взаимодействия между заряженным телом и магнитом, было принято считать, что древние греки ошибались.

Однако в 1820 году датский учитель физики Ханс Кристиан Эрстед в конце лекции предположил продемонстрировать своим ученикам это отсутствие связи между электричеством и магнетизмом. Эрстед включил электрический ток вблизи от намагниченной стрелки. По словам одного из его учеников, «он был буквально ошарашен, когда магнитная стрелка пришла в движение» и расположилась перпендикулярно проводу. Так датский физик Ханс Кристиан Эрстед открыл действие электрического тока (т. е. движущихся электрических зарядов) на магнитную стрелку, возродив представления древних ученых о связи электричества и магнетизма.

Новость об открытии Эрстедом взаимодействия электрического поля и магнита быстро облетела всех физиков и дала толчок к выдвижению новых гипотез, объединяющих в одно развивающиеся параллельно учения об электричестве и магнетизме. Так, Андре Мари Ампер в короткое время выяснил связь магнитных явлений с электрическими и определил магнетизм как результат действия электрического тока.



.....
Источник магнитного поля — движущиеся электрические заряды (электрические токи).

Стационарные токи порождают постоянные магнитные поля.



.....
 Как и электрическое поле, магнитное поле — это форма существования материи.

Обнаружить магнитное поле можно по его воздействию на движущиеся в нем электрические заряды. На неподвижные заряды магнитное поле не действует.

Силовая характеристика электрического поля — это напряженность электрического поля, т. е. сила, действующая на точечный, единичный, положительный заряд.



.....
Силовая характеристика магнитного поля — индукция магнитного поля \mathbf{B} — это сила, действующая со стороны магнитного поля, на единичный заряд, движущийся с единичной скоростью, в направлении, перпендикулярном направлению магнитного поля \mathbf{B} .

6.3.1 Силовые линии магнитного поля

Графически магнитное поле изображается магнитными силовыми линиями.

Силовые линии магнитного поля проводят таким образом, чтобы касательная к силовой линии в каждой точке совпадала с направлением вектора индукции магнитного поля \mathbf{B} . Силовые линии магнитного поля (в отличие от всегда разомкнутых силовых линий электростатического поля) всегда замкнуты (деформированные или не очень «кольца», надетые на ток).

Как, зная направление тока, направить силовую линию, поставить стрелку на «кольце» силовой линии магнитного поля? Работает правило правого буравчика, который всегда при вас. Если (рис. 6.2) отогнутый большой палец правой руки показывает направление тока, то четыре других пальца закручиваются по направлению силовой линии магнитного поля, создаваемого этим током.

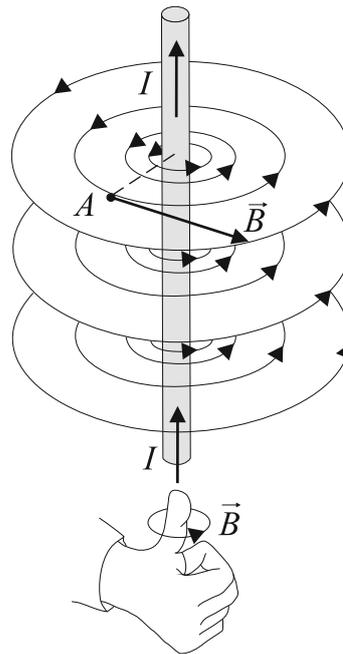


Рис. 6.2 – Правило правого буравчика

6.3.2 Явление электромагнитной индукции

Электрические токи создают вокруг себя магнитные поля. Можно было предположить, что существует и обратный эффект: магнитное поле должно вызывать протекание тока в проводнике. Майкл Фарадей (1791–1867 гг.) – великий английский физик, создатель учения об электромагнитном поле, в 1821 году поставил себе задачу «превратить магнетизм в электричество» и в 1831 году открыл явление электромагнитной индукции, объединяющее магнетизм и электричество, показывающее, что это одна и та же сила природы.



.....
 В последующие годы Фарадей исследовал это явление во всех деталях и получил закон электромагнитной индукции, согласно которому «изменяющееся во времени магнитное поле приводит к появлению в пространстве вихревого электрического поля, если в этом пространстве есть проводящий контур, то он позволяет обнаружить возникновение вихревого электрического поля по возникающему в контуре электрическому току».

6.4 Система уравнений Максвелла

Свою завершенность электромагнитная картина мира получила в работах великого английского физика, создателя классической электродинамики и одного из основателей статистической физики Джеймса Клерка Максвелла (1831–1879 гг.) и выразилась в системе уравнений, отражающих взаимосвязь электрических и магнитных явлений. Четыре уравнения Максвелла эквивалентны четырем утверждениям.

1. Электрическое поле с незамкнутыми силовыми линиями (электростатическое, кулоновское, потенциальное) порождается неподвижными электрическими зарядами — источниками этого поля. Силовые линии электростатического поля имеют начало и конец, начинаются на положительном заряде и заканчиваются на отрицательном заряде. Электростатическое поле не может обеспечить непрерывное движение электрических зарядов.

2. Источником электрического поля могут быть не только неподвижные электрические заряды, но и изменяющееся во времени магнитное поле, также порождающее поле электрическое. При этом возникает не электростатическое поле с незамкнутыми силовыми линиями, а вихревое, соленоидальное электрическое поле, линии напряженности которого замкнуты в кольца подобно силовым линиям породившего его магнитного поля.

Замкнутое в «кольцо», электрическое поле, в отличие от электростатического поля, способно поддерживать электрический ток — движение по «кольцу» зарядов.

Если в пространстве с вихревым электрическим полем есть проводящий контур, то он позволяет обнаружить вихревое электрическое поле по возникающему в этом контуре направленному движению электрических зарядов — электрическому току.

3. Магнитные поля могут создаваться либо а) движущимися зарядами (электрическими токами), либо б) переменными электрическими полями. Силовые линии магнитного поля, линии вектора индукции магнитного поля \mathbf{B} , в обоих случаях замкнуты. Переменное электрическое поле, порождающее магнитное поле, Максвелл назвал «током смещения», так как оно способно породить магнитное поле, подобно движущимся (смещающимся) зарядам тока проводимости.

4. Силовые линии магнитного поля всегда замкнуты. Магнитное поле всегда соленоидальное или вихревое. Физическая причина соленоидальности магнитного поля — отсутствие в природе свободных магнитных зарядов, аналогичных электрическим зарядам, на которых начинались бы или заканчивались линии магнитной индукции. Нет южных и северных магнитных зарядов.

6.5 Полевая форма существования материи — электромагнитное поле

Статические поля — и электрическое, и магнитное — можно рассматривать раздельно, не обнаруживая никакой видимой связи между ними. Но при переходе к переменным электрическому и магнитному полям становится понятным, что они должны рассматриваться вместе, как единое электромагнитное поле.



.....
 Электрическое поле и магнитное поле — это компоненты единого физического объекта — электромагнитного поля.

Введение Фарадеем понятия электромагнитного поля и математическое определение законов электромагнитного поля, данное в системе уравнений Максвелла, явились самыми крупными событиями в физике со времен Галилея и Ньютона.

Из уравнений Максвелла следует важный вывод о том, что переменное магнитное поле порождает переменное электрическое поле, которое, в свою очередь, порождает переменное магнитное поле, которое и т. д. Таким образом, электромагнитное поле способно существовать самостоятельно — в отрыве от породивших его электрических зарядов и токов. Изменение состояния этого поля имеет волновой характер. Поля такого рода называют электромагнитными волнами.

Теория электромагнитного поля стала общепризнанной после того, как немецкий физик, один из основоположников электродинамики Генрих Рудольф Герц (1857–1894 гг.) экспериментально доказал существование электромагнитных волн.

По теории Максвелла, *причиной возникновения электромагнитных волн является ускоренное движение электрических зарядов*. Все типы электромагнитных волн — результат различных видов ускоренного движения электрических зарядов.

В 1896 году учение об электромагнитных волнах перешло в фазу практических применений, родилась радиотехника. Этим величайшим завоеванием человеческой культуры человечество обязано русскому ученому Александру Степановичу Попову. Александр Степанович продемонстрировал изобретённый им радиоприёмник на заседании физического отделения Русского физико-химического общества 25 апреля 1895 года. 12 марта 1896 года А. С. Попов передал первую в мире радиограмму: «Генрих Герц». Через год радио Попова участвовало в спасательных работах по снятию с камней броненосца «Генерал-адмирал Апраксин».

Электромагнитные волны образуют сплошной спектр длин волн, подразделяющийся на шесть условных диапазонов (рис. 6.3): *а)* γ -излучение; *б)* рентгеновское; *в)* ультрафиолетовое; *г)* видимое излучение; *д)* инфракрасное; *е)* радиоволны.

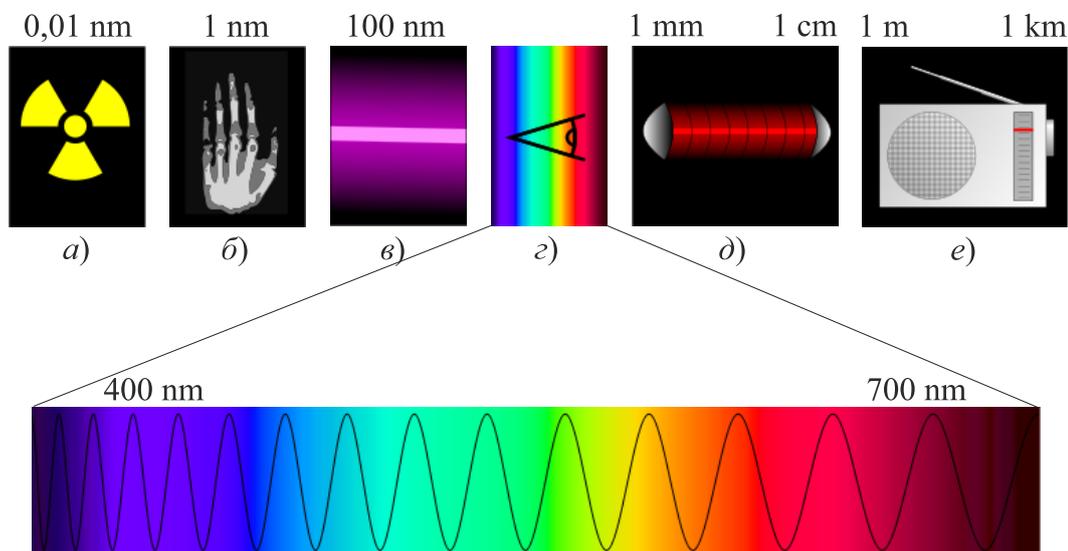


Рис. 6.3 – Спектр электромагнитных волн

6.6 Электромагнитное взаимодействие

Среди четырёх типов фундаментальных взаимодействий, открытых наукой, — гравитационного, электромагнитного, сильного и слабого — электромагнитное взаимодействие занимает ведущее место по широте и многообразию проявлений,

фиксируемых человеком. Силы упругости и трения, передача информации по каналу «мозг — мышцы» и обратно, свет и возможность его видеть и т. д. — всё это проявление электромагнитных взаимодействий. Сама жизнь невозможна без сил электромагнитного взаимодействия. Полеты в космос показали, что все живые существа, в том числе и человек, могут длительное время находиться в состоянии невесомости, т. е. без действия сил тяготения, без гравитационного взаимодействия, но если бы на мгновение исчезли бы силы электромагнитного взаимодействия, то в то же мгновение исчезла бы и жизнь. Строение атомов, химическая связь (объединение атомов в молекулы), образование из молекул макроскопических объектов, различных тел — все это определяется силами электромагнитного взаимодействия.



.....
 Электромагнитные силы, электромагнитное взаимодействие — это проявления особого вида материи — электромагнитного поля.

6.7 Явления интерференции и дифракции

Классическая теория, представляющая свет как электромагнитные волны, хорошо объясняет такие явления, как интерференция — пространственное перераспределение энергии излучения при наложении нескольких волн, и дифракция — явление отклонения света от прямолинейного распространения в однородной среде, при котором свет, огибая препятствие на своем пути, заходит в область геометрической тени (наблюдается для длин волн не меньших чем размер препятствия).

В чем суть явления интерференции и дифракции?

Что такое волна? Волна — процесс распространения в пространстве любых изменений состояния материи (например, колебаний) без переноса вещества.

Частицы, из которых состоит тело, связаны друг с другом силами взаимодействия. Если какая-то частица начинает колебаться (край гороховой ленты в руке гимнастки), она тянет за собой рядом расположенные частицы. Благодаря взаимодействию между частицами колебательное движение начинает распространяться в пространстве. При этом своего местоположения (своей координаты) частицы (горошины на ленте) не меняют, только начинают (не сходя с места) совершать колебания. Сначала начинают колебаться близкие к источнику колебания частицы, затем все более и более далекие. При этом горошины не собираются все в конце ленты, а, оставаясь на своих местах, колеблются так, как им велит колебаться источник колебаний — рука гимнастки. Волна переносит энергию, но не переносит вещество.

Что такое электромагнитная волна? Ускоренное движение электрических зарядов является источником электромагнитного поля: создаваемое переменное магнитное поле H , порождает переменное электрическое поле E , которое порождает переменное магнитное поле H и т. д. Система порождающих друг друга и распространяющихся в пространстве переменных электрического E и магнитного H полей (рис. 6.4) — это электромагнитная волна.

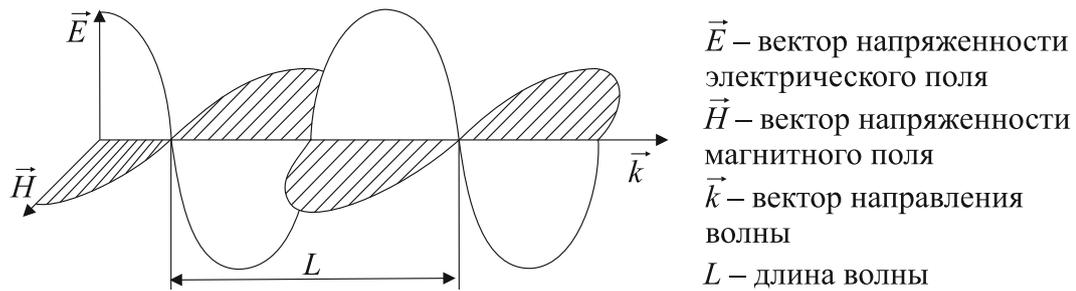
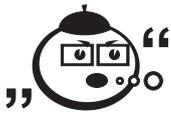


Рис. 6.4 – Электромагнитная волна



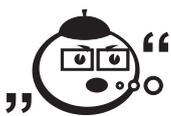
«Мыльный пузырь, витая в воздухе... зажигается всеми оттенками цветов. Мыльный пузырь, пожалуй, самое изысканное чудо природы», – писал Марк Твен.

Что делает мыльный пузырь столь достойным восхищения? Это явление называют *интерференцией волн* (от лат. *inter* – взаимно и *ferio* – ударяю).

Явление интерференции происходит при взаимодействии двух и более волн одинаковой частоты. Интерференцией называется наложение волн, приходящих от разных источников, приводящее к перераспределению энергии этих волн в пространстве. В результате интерференции образуется устойчивая во времени картина ослабления и усиления колебаний в различных точках пространства.

На Интернет-сайте URL: <http://elementy.ru/trefil/21151> (дата обращения: 05.05.2015) «Элементы большой науки» это явление объясняется так.

Чтобы понять механизм явления интерференции, проще всего обратиться к примеру волн на водной поверхности и представить себе, что каждая волна несет в себе инструкцию для элементов водной поверхности, например «подняться на 1 метр» или «опуститься на 30 см». В точке взаимодействия двух волн поверхность просуммирует две такие инструкции – в данном примере она поднимется на 70 см (1 метр минус 30 см). Самое поразительное происходит в точке встречи двух волн равной амплитуды, достигших места встречи в противофазе (то есть когда пик максимума амплитуды одной волны накладывается на пик минимума амплитуды другой). В таком случае, условно говоря, одна волна передает поверхности инструкцию «подняться на 1 м», а другая – «опуститься на 1 м», в результате чего поверхность воды просто остается на месте. Это точка интерференционного минимума. В этом случае на воде мы наблюдаем точку штиля. В акустике (науке о звуке) – тишину. В оптике – точку полной темноты.



«Кто бы мог подумать, что свет, слагаясь со светом, может вызвать мрак...» (французский физик Франсуа Жан Доминик Араго).

Возможна и прямо противоположная ситуация, когда две волны встречаются в точке совпадения фаз и амплитуды колебаний среды складываются (при равной амплитуде встретившихся волн амплитуда колебаний среды удвоится).

В этом случае водная поверхность получает два раза, от обеих волн, одинаковую команду, например «подняться на 1 м». Это явление называют интерференционным усилением волн. Волны на поверхности воды в таких точках интерференционного максимума будут самыми высокими, звуки — самыми громкими, свет — самым ярким.

Таким образом, осуществляется перераспределение энергии волн в пространстве. Из точек интерференционных минимумов энергия перекачивается в точки интерференционных максимумов.

Естественно, имеется множество промежуточных значений интерференционной амплитуды колебаний, которые образуют причудливую и в то же время упорядоченную интерференционную картину взаимодействия волн.

Эффект интерференционного гашения позволяет нам судить, имеем мы дело с волной или с частицей. Фактически, именно явление интерференции света окончательно убедило ученых XIX столетия в волновой природе света.

Дифракция — интерференция вторичных волн.

Христиан Гюйгенс ван Зюйлихем (1629–1695 гг.), голландский механик, физик и математик, астроном, изобретатель, создатель волновой теории света.

Огюстен Жан Френель (1788–1827 гг.), выдающийся французский физик, обладавший безошибочной научной интуицией, величайшим экспериментальным остроумием и мастерством, создатель волновой теории света.

Явление дифракции объясняется на основе принципа Гюйгенса—Френеля.



.....
 Каждую точку фронта волны можно рассматривать как самостоятельный источник вторичных сферических волн; огибающая этих волн дает положение фронта волны в следующий момент времени.

Дальнейшая дифракционная картина, возмущение в любой точке пространства является результатом интерференции вторичных волн, излучаемых каждой точкой фронта волны. С дифракцией связывают широкий круг явлений, возникающих при распространении волн в неоднородных средах, в том числе огибание волной препятствия, то есть проникновение волны в область геометрической тени. Дифракционные эффекты заметно проявляются при размерах неоднородностей, сравнимых с длиной волны.

6.8 Основные характеристики электромагнитной картины мира

После создания А. Эйнштейном специальной теории относительности в 1905 г. электродинамическая картина мира приобрела релятивистский характер. На смену абсолютным пространству и времени пришло четырехмерное пространство-время, на смену дальнему действию пришло ближнедействие.

1. Представления о дискретности и непрерывности материи в электродинамической картине мира получили свое четкое выражение в двух формах материи: веществе и поле. Совокупность неделимых атомов перестала быть конечным пре-

делом делимости материи, в качестве такового принималось единое абсолютно непрерывное бесконечное поле с силовыми точечными центрами — электрическими зарядами и волновыми движениями в нем.

2. В соответствии с реляционной концепцией пространства и времени, пространство и время несамостоятельны, зависимы от материи, существуют только вместе, полностью зависят друг от друга и образуют единое пространство-время — абсолютную характеристику четырехмерного Мира (пространственно-временного континуума Минковского). Новая величина — пространственно-временной интервал — остается неизменной (инвариантной) при переходе от одной системы отсчета к другой:

$$\Delta s^2 = c^2 \Delta t^2 - \Delta l^2.$$

3. Движение понимается не только как простое механическое перемещение. Взаимодействие заряженных частиц рассматривается, как электромагнитная форма движения. Движение — изменение электромагнитного поля.

Изменение электромагнитного поля сопровождается распространением электромагнитных волн. Первичным по отношению к такой форме движения, как механическое перемещение, становилось распространение колебаний в поле, которое описывалось не законами механики, а законами электродинамики. Движение возможно при полном отсутствии тел и частиц и не сводится к механическому.

4. В электродинамической картине мира впервые возникло представление о полевом механизме взаимодействия:

- передача взаимодействия между зарядами осуществляется материальным посредником — электромагнитным полем;
- электрическое поле возникает при наличии электрических зарядов, а магнитное — при их движении, движущиеся с ускорением заряды создают в пространстве электромагнитное поле;
- в электромагнитных волнах происходит периодическая «перекачка» электрического поля в магнитное и обратно;
- ньютоновская концепция дальнего действия заменяется фарадеевским принципом ближнего действия, утверждающим, что любые взаимодействия передаются через материальных посредников, через поля от точки к точке, непрерывно и с конечной скоростью.

Скорость распространения электромагнитного поля равна скорости света, являющегося видимым диапазоном спектра электромагнитных волн.

5. Электромагнитная картина мира имеет много общего с механической. Так, в механической картине мира «первокирпичиками» были неизменные, не имеющие структуры частицы — атомы, их движение предопределялось начальными условиями и законами механики. Считалось, что можно однозначно определить состояние материальной точки для любого прошлого и будущего момента времени, зная координаты и скорость в начальный момент времени и действующие на точку силы.

В электромагнитной картине мира роль таких частиц выполняют точечные электрические заряды и электромагнитные поля, «поведение» тех и других также предопределено начальными условиями и строгими физическими законами, т. е. в электромагнитной картине мира физические процессы также считаются жестко

детерминированными. Считалось, что можно точно рассчитать будущее Вселенной, зная, как в ней распределены поля и порождающие их заряженные частицы. Электродинамика Максвелла, как и механика Ньютона, является динамической теорией.

Отличает эти картины мира представление о материи: в механической картине мира материя дискретна (атомы), мир состоит из пустоты и неизменных неделимых частиц, пребывающих в бесконечном механическом движении, в электромагнитной — материя непрерывна (поле), в мире нет пустоты, он заполнен электромагнитным полем, все явления объясняются взаимодействием электрических зарядов. То есть какого-либо нового понимания причинности по сравнению с механистической картиной мира не произошло.

Главными считались причинно-следственные связи и динамические законы, их выражающие. Описание электрических, магнитных, оптических явлений с помощью теории Максвелла происходило в принципе так же, как и описание механического движения в механике Ньютона. По заданным начальным и граничным условиям для поля, при определенных значениях зарядов и токов в пространстве в начальный момент времени определялось состояние поля в любой последующий момент времени и в любой точке пространства.

Окружающий мир (электродинамическая система, построенная из электрически заряженных частиц, взаимодействующих посредством электромагнитного поля) стал казаться еще более упорядоченным и открытым для понимания человеком. Новая электромагнитная картина мира объяснила большой круг явлений, непонятных с точки зрения механистической картины мира, глубже вскрыла материальное единство мира, объяснив электричество и магнетизм на основе одних и тех же законов.



Контрольные вопросы по главе 6

1. Что это такое электрический заряд?
2. Почему электрические заряды взаимодействуют? Что является агентом, осуществляющим это взаимодействие?
3. Электрический ток — это ...
4. Первое уравнения Максвелла: электростатическое поле порождается... Чем?
5. Второе уравнения Максвелла: переменное электрическое поле порождается также... Чем?
6. Третье уравнения Максвелла: магнитные поля могут создаваться либо а)..., либо б)...
7. Четвертое уравнения Максвелла: южные и северные магнитные заряды в природе... Обнаружены или нет?
8. Новая форма существования материи в электромагнитной картине мира. Электрическое поле и магнитное поле — это компоненты единого физического объекта... Какого?

9. Что называют электромагнитными волнами? Электромагнитная волна продольная или поперечная? Что и как колеблется в электромагнитной волне?
10. В вакууме электромагнитное поле всегда распространяется со скоростью. . . Какой?
11. На какие шесть условных диапазонов подразделяют спектр электромагнитных волн?
12. Кто передал первую в мире радиограмму 12 марта 1896 года?
13. Какое взаимодействие занимает ведущее место по широте и многообразию проявлений, фиксируемых человеком?
14. Примеры проявления электромагнитных взаимодействий.
15. Концепция детерминизма в электромагнитной картине мира.

Глава 7

КВАНТОВО-ПОЛЕВАЯ КАРТИНА МИРА

7.1 Тепловое излучение

Механизм теплового излучения простой: в конечном итоге все тела состоят из заряженных частиц (положительные ядра атомов, отрицательные электроны), которые при температуре выше абсолютного нуля находятся в состоянии хаотического теплового движения, а «дёргающийся» заряд — это источник электромагнитного излучения — особого, полевого, вида материи. Из созданной Максвеллом теории следует, что быстропеременное электромагнитное поле должно распространяться в пространстве в виде поперечных волн.



.....
Поперечная волна — волна, распространяющаяся в направлении, перпендикулярном к плоскости, в которой происходят колебания векторов напряженности электрического E и магнитного H полей.
.....

Показанная на рисунке 6.4 система порождающих друг друга и распространяющихся в пространстве переменных электрического и магнитного полей — это электромагнитная волна. Длина электромагнитной волны L (или λ) — это расстояние, на которое распространяется волна за время одного колебания векторов напряженности электрического E и магнитного H полей. Скорость электромагнитной волны в вакууме $c = 3 \cdot 10^8$ м/с, т. е. за 1 секунду волна проходит $3 \cdot 10^8$ метров. Значит, за 1 секунду вектора напряженности электрического E и магнитного H полей совершают $v = c/L$ колебаний. Число колебаний, совершаемых за 1 секунду, — это частота волны. Диапазон длин (L) и частот ($v = c/L$) электромагнитных волн определяется всеми возможными частотами колебаний заряженных частиц, создающих электромагнитные волны, и этот диапазон огромен (рис. 6.3). В инфракрасной (ИК), видимой и ультрафиолетовой (УФ) областях излучают молекулы, из

которых состоит излучающее вещество. Потеря атомами излучающего тела энергии на тепловое электромагнитное излучение компенсируется за счет внутренней энергии хаотического теплового движения молекул излучающего тела.

Наиболее интенсивным источником теплового электромагнитного излучения вблизи земной поверхности, является Солнце. Максимум интенсивности солнечного спектра приходится на длину волны $\sim 0,5$ мкм. На эту длину волны эволюция настроила максимальную чувствительность человеческого глаза.



.....
Вопрос. Излучают ли электромагнитные волны: 1) парты, за которыми Вы сидите? 2) тетради, в которых Вы пишете? 3) ручки, которыми Вы пишете? 4) Вы сами?

Ответ. 1) Да. 2) Да. 3) Да. 4) Да. Все тела при температуре выше абсолютного нуля излучают электромагнитные волны. Стены, пол, потолок комнаты — всё излучает электромагнитные волны.

7.1.1 Излучение абсолютно черного тела



.....
Абсолютно чёрное тело (АЧТ) — физическая модель, тело, поглощающее всё падающее на него электромагнитное излучение на всех длинах волн и ничего не отражающее.

В природе АЧТ не существуют, модель АЧТ можно наблюдать, глядя ясным днем на открытые окна домов. Луч света, попадающий внутрь, претерпевает многократные отражения от стен, при каждом отражении энергия света частично поглощается (рис. 7.1). Поэтому интенсивность выходящего света во много раз меньше интенсивности падающего извне первичного излучения. По этой причине окна домов кажутся днем черными, хотя в комнатах светло из-за отражения света от стен.

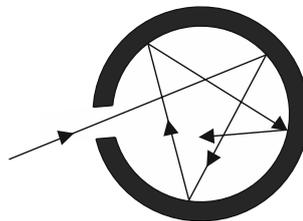


Рис. 7.1 – Модель абсолютно чёрного тела (АЧТ)

7.1.2 Характеристики теплового излучения

Опыты показали, что тепловое излучение обладает следующими характеристиками (рис. 7.2).

1. Длины волн λ (или L) теплового излучения образуют непрерывный спектр (т. е. любым телом излучаются все длины волн, от 0 до ∞ , промежутков, длин волн, которые не излучаются, нет).
2. Спектральная зависимость интенсивности излучения $r_{\lambda,T}$ ($r_{\lambda,T}$ — энергия, излучаемая с единицы площади поверхности нагретого тела (например, с 1 см^2) за единицу времени (за 1 секунду), в единичном интервале длин волн имеет явно выраженный максимум (то есть имеется длина волны, на которую приходится максимум излучаемой энергии, для Солнца — это $\sim 0,5 \text{ мкм}$).

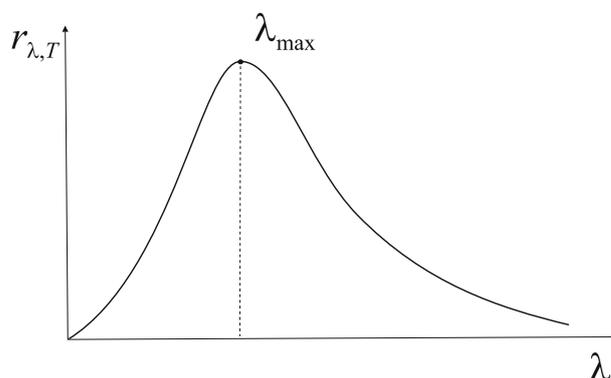


Рис. 7.2 – Спектральная зависимость интенсивности излучения



.....
Закон Стефана–Больцмана. Австрийскими физиками Йозефом Стефаном экспериментально и Людвигом Больцманом теоретически была найдена формула для площади под экспериментальной кривой теплового излучения — это энергия, излучаемая АЧТ с единицы площади поверхности тела за единицу времени во всем (от 0 до ∞) интервале длин волн $R_T = \sigma T^4$, R_T — интегральная энергетическая светимость, σ — постоянная Стефана–Больцмана, $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$.

Законы Вина

Немецкий физик Вильгельм Карл Вернер Отто Фриц Франц Вин (1864–1928 гг.), Нобелевский лауреат, получил формулы для координат максимума на кривой теплового излучения АЧТ, которые определяются температурой T , до которой нагрето тело.



.....
Первый закон Вина. Длина волны λ_T , на которую приходится максимум интенсивности излучения АЧТ, обратно пропорциональна термодинамической температуре излучающего тела:

$$\lambda_T = b_1 \cdot \frac{1}{T}.$$

Экспериментальное значение первой постоянной Вина $b_1 = 2,89 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$.

То есть с ростом T максимум интенсивности излучения смещается в сторону коротких волн (в видимом диапазоне длинные волны мы называем красными, короткие — синими). Говорят: «Да гори оно все синим пламенем!». Почему не красным? Потому, что у синего пламени температура выше (шутка).



.....
Второй закон Вина.

$$r_{\lambda, T \text{ max}} = b_2 \cdot T^5.$$

Максимальная интенсивность излучения $r_{\lambda, T \text{ max}}$ пропорциональна термодинамической температуре АЧТ в пятой степени T^5 .

.....

Вторая постоянная Вина $b_2 = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{К}^{-5}$.

7.1.3 «Ультрафиолетовая катастрофа»

Итак, экспериментальная зависимость интенсивности теплового излучения $r_{\lambda, T}$ от длины волны излучения λ была получена. Формула для площади под кривой (интегральная светимость R_T) была определена (закон Стефана—Больцмана). Формулы для координат максимума $\lambda_T, r_{\lambda, T}$ были определены (законы Вина). Осталось дать ответ на вопрос.

Какой формулой описывается экспериментальная зависимость интенсивности излучения от длины волны?

Над ответом на этот вопрос трудились многие крупные ученые конца XIX века. Однако все попытки окончились неудачей. Так, безупречно точный расчет, выполненный английскими физиками Д. Рэлеем и Д. Джинсом в рамках классической физики, позволил получить формулу, но, как показал опыт, она давала согласие с экспериментом только в области длинных волн (низких частот). Для коротких волн (в видимом диапазоне длинные волны — красные, короткие — фиолетовые) формула, полученная методами классической физики, давала абсурдный, резко расходящийся с экспериментом результат, энергия излучения уходила в бесконечность.



.....
Расхождение в области коротких (ультрафиолетовых) волн классической теории теплового излучения с опытом получило название «ультрафиолетовой катастрофы».

.....

Как видим, эта «ультрафиолетовая катастрофа» не имеет никакого отношения к ультрафиолетовой катастрофе, связанной с истощением в результате антропогенной деятельности озонового слоя атмосферы, защищающего поверхность Земли и человечество от губительного действия солнечных ультрафиолетовых лучей.

Последовательное развитие исследований в области теплового излучения, в конечном счете, привело к созданию квантовой теории света.

То есть эта «катастрофа» привела к рождению новой физики.

7.2 Квантовая теория света

7.2.1 Гипотеза Планка. Формула Планка

Кто вывел физику из научного тупика, в который она попала на рубеже XIX и XX столетия, кто разрешил проблему «ультрафиолетовой катастрофы»?

Макс Карл Эрнст Людвиг Планк (1858–1947 гг.), выдающийся немецкий физик-теоретик. Работы Макса Планка по исследованию излучения чёрного тела легли в основу такого удивительного раздела физики, как квантовая механика.

Формула для интенсивности равновесного теплового излучения $r_{\lambda, T}$, совпадающая с экспериментом на всех длинах волн, включая короткие, была получена Максом Планком в 1900 году. Выдающееся значение работы Планка заключалось в том, что он имел смелость отступить от представлений классической физики, введя представление о прерывном, квантовом обмене энергией между излучающей системой и электромагнитным полем излучения.



.....
Согласно гипотезе Макса Планка энергия электромагнитной волны имеет структуру. Она «упакована» в отдельные порции энергии — по латыни кванты электромагнитного поля (лат. *quantum* — количество), по-гречески фотоны (греч. $\phi\omega\tau\omicron\zeta$ — свет):

$$E_{\text{фот}} = h\nu = hc/\lambda,$$

где $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж · с — постоянная Планка.
.....

Если частота электромагнитной волны ν мала (соответственно, длина волны λ — велика, $\lambda = c/\nu$), то энергия кванта $E_{\text{фот}}$ — мала. «Порции», из которых состоит энергия электромагнитной волны, так малы, что деление на эти «порции» незаметно. Поэтому при малых частотах ν (больших длинах волн λ) классическая теория удовлетворительно согласуется с экспериментом. Если частота электромагнитной волны ν и «порция» $h\nu$ достаточно большие, не заметить деления на «порции» нельзя. Тогда получить согласие с экспериментом можно только на основе квантовых представлений.

7.2.2 Фотоэффект



.....
Фотоэффект (внешний фотоэлектрический эффект) — испускание электронов веществом, на которое падает электромагнитное излучение.
.....

Фотоэффект был открыт Генрихом Герцем в 1887 году, а затем подробно и детально исследован экспериментальным путем Александром Григорьевичем Столетовым.

Было установлено, что энергия электронов, вылетающих из освещаемого металла, не зависит от интенсивности падающих лучей, а зависит от их цвета (как

цвет глаз воспринимает частоту электромагнитного излучения). Это было непонятно, общепризнанная волновая теория света говорила, что энергия электронов, выбиваемых световой волной, должна определяться интенсивностью выбивающего их излучения. Также было непонятно, почему существует красная граница фотоэффекта, для каждого вещества персональная. Лучи, лежащие в сторону больших длин волн λ от красной границы, никогда не вызывают фотоэффекта, а лежащие в фиолетовую сторону (в сторону меньших λ) — легко выбивают электроны из вещества.

Эту загадку природы разгадал Альберт Эйнштейн.



.....
Формула Эйнштейна. Явление внешнего фотоэффекта Альберт Эйнштейн описал законом сохранения энергии:

$$E_{\text{фот}} = A_{\text{вых}} + E_{\text{кин}}.$$

.....

Эйнштейн предположил, что при фотоэффекте один электрон атома освещаемого металла полностью поглощает один фотон. В результате этого энергия электрона в освещаемом металле возрастает на величину энергии поглощенного им фотона $E_{\text{фот}} = h\nu = hc/\lambda$. Частицы света, фотоны, могут поглощаться только поодиночке и только целиком, долю фотона электрон поглотить не может.

Полученную при поглощении фотона энергию ($E_{\text{фот}}$) электрон расходует на работу выхода из освещаемого металла $A_{\text{вых}}$ — наименьшую энергию, которую надо сообщить электрону, чтобы он мог преодолеть силы притяжения со стороны положительных ядер атомов, удерживающие его в металле, и покинуть металл.

Оставшаяся (после расхода на $A_{\text{вых}}$) часть энергии, полученной от фотона, превращается в $E_{\text{кин}}$ — кинетическую энергию (энергию движения) электрона, покинувшего металл. $E_{\text{кин}} = h\nu - A_{\text{вых}}$. Вот почему энергия электронов, вылетающих из освещаемого металла $E_{\text{кин}}$, не зависит от интенсивности света (т. е. от числа падающих фотонов), а зависит от их цвета (частоты ν электромагнитного излучения).

Если работа выхода $A_{\text{вых}}$ больше, чем энергия кванта $E_{\text{фот}} = h\nu$, электроны не могут покинуть металл, им не хватает поглощенной энергии $E_{\text{фот}}$. Для выхода необходимо, чтобы энергия $E_{\text{фот}}$, как минимум, равнялась работе выхода $A_{\text{вых}}$, т. е. необходимо выполнение условия $E_{\text{фот}} = h\nu = hc/\lambda \geq A_{\text{вых}}$.

Минимальная частота $\nu_{\text{кр}} = A_{\text{вых}}/h$ и соответствующая ей максимальная длина волны $\lambda_{\text{кр}} = c/\nu_{\text{кр}}$ (если падающая волна будет длиннее («краснее»), $\lambda > \lambda_{\text{кр}}$, фотоэффекта не будет) — это *красная граница фотоэффекта*.



Выводы

.....

Все полученные экспериментальные результаты, все законы фотоэффекта оказались в согласии с гипотезой о световых квантах — фотонах, в которые «упакована» энергия электромагнитной волны.

.....

7.3 Концепция корпускулярно-волнового дуализма

Корпускулярно-волновой дуализм (от лат. *dualis* — двойственный): «частицы суть волны, волны суть частицы». Как это понимать?

В XVII веке возникли и развились две теории о том, что такое свет и какова его природа. Первую теорию называют корпускулярной. Согласно этой теории свет — поток частиц (по латыни корпускул), идущих от источника во все стороны (перенос вещества от источника к приемнику). Творцом и защитником корпускулярной теории света принято считать Ньютона.

Вторую теорию называют волновой. Согласно волновой теории свет — это волны (первоначально предполагалось, что они распространяются в особой, заполняющей все среде — эфире). Явления, в основе которых лежит волновая природа света, рассматриваются в разделе физики, называемом «волновая оптика». Законы, явления волновой оптики связаны с именами Роберта Гука, Христиана Гюйгенса, Михаила Васильевича Ломоносова, Томаса Юнга, Огюстена Жана Френеля.

По представлениям классической физики движение частиц и распространение волн — это принципиально разные физические процессы. Однако экспериментальные результаты свидетельствуют о том, что в природе существует ряд явлений (интерференция — усиление или ослабление света при наложении световых пучков друг на друга, связанное с этим явление дифракции — явление огибания светом препятствий и др.), для объяснения которых следует признать, что свет — это волна.

Одновременно с этим существуют явления (фотоэффект, тепловое излучение), когда излучение и поглощение света осуществляется отдельными порциями, энергия которых зависит от частоты $E_{\text{фот}} = h\nu = hc/\lambda$, т.е. свет ведет себя подобно потоку световых частиц, квантов излучения, фотонов.

Из формулы $E_{\text{фот}} = h\nu = hc/\lambda$ следует, что $E_{\text{фот}}$ тем больше, чем больше частота излучения ν (меньше длина волны λ). Длинные волны (инфракрасные, СВЧ-излучение, радиоволны) практически не обнаруживают прерывистой структуры и ведут себя, как волны. Для видимого света энергии фотонов больше, в видимом диапазоне электромагнитного излучения проявляются одновременно и корпускулярные, и волновые свойства. Для ультрафиолетового излучения и для имеющих еще более короткую длину волны рентгеновского излучения и гамма-излучения корпускулярные свойства весьма заметны.

Корпускулярно-волновой дуализм объясняет квантовая механика.

Корпускулярные и волновые свойства материи связываются воедино и описываются точным математическим уравнением в соотношении Луи де Бройля.

7.3.1 Волновые свойства частиц. Волны де Бройля

Луи Виктор Пьер Раймон, 7-й герцог Брольи, Луи де Бройль (1892–1987 гг.), французский физик, лауреат Нобелевской премии по физике за 1929 год.

В 1924 году потомок французской королевской семьи Бурбонов французский физик Луи де Бройль в докторской диссертации «Исследования по теории квантов» выдвинул «сумасшедшую» идею о волновых свойствах материи, высказал гипотезу, согласно которой корпускулярно-волновой дуализм является универсальным свойством любых материальных объектов, а не только света. К работе, оце-

ненной впоследствии «как бриллиант первой величины», изначально французская академия наук отнеслась скептически, но из уважения к особе королевской крови решила пригласить эксперта. Экспертом оказался Альберт Эйнштейн. Он дал положительный отзыв: «де Бройль приподнял угол великого занавеса».



.....
Гипотеза Луи де Бройля: всякая частица массой m , движущаяся со скоростью v , имеет не только корпускулярные характеристики — импульс $p = m \cdot v$ и энергию E , но и, подобно фотону, волновые характеристики — частоту $\nu = E/h$ и длину волны $\lambda_B = h/p = h/mv$.

Это знаменитая формула де Бройля — одна из основных в физике микромира, утверждающая, что волновые и корпускулярные свойства материи фундаментальным образом взаимосвязаны. С одной стороны, объект можно рассматривать как частицу, обладающую импульсом $p = m \cdot v$, с другой стороны, его можно рассматривать и как волну, длина которой равна $\lambda_B = h/p = h/mv$.



Пример

Задача 1. Пуля массой 10 г летит со скоростью 660 м/с. Чему равна длина волны де Бройля?

$$\lambda_B = \frac{h}{p} = \frac{h}{m \cdot v} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}}{10^{-2} \text{ кг} \cdot 660 \text{ м/с}} \approx 10^{-34} \text{ м.}$$

Полученная длина волны де Бройля на 24 порядка меньше размера самого маленького атома — атома водорода (H). Этот размер лежит за пределами области, доступной для наблюдения. Волновые свойства (дифракция) наблюдаются, когда размер препятствия сопоставим с длиной падающей на препятствие волны.

Вопрос. Может такое случиться, что пуля, обладая волновыми свойствами, дифрагирует и завернет за угол дома?

Ответ. Да, если размер этого дома будет на 24 порядка меньше размера атома водорода.

Закономерности, установленные Луи де Бройлем, незаметны при движении макротел, т. к. длины соответствующих макротелам волн на много порядков меньше размеров любых возможных неоднородностей пространства. Дифракция же наблюдается, если длина волны сравнима с размером неоднородности.

Задача 2. Электрон (масса $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг) движется в атоме со скоростью $v = 2 \cdot 10^6$ м/с. Чему равна длина волны де Бройля?

$$\lambda_B = \frac{h}{p} = \frac{h}{m_e \cdot v_e} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}}{9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} \cdot 2 \cdot 10^6 \text{ м/с}} = 3,6 \cdot 10^{-10} \text{ м.}$$

Длина $3,6 \cdot 10^{-10}$ м соответствует диапазону длин волн рентгеновского излучения. Полученная длина волны де Бройля для микрочастицы соизмерима с размерами атомов. Следовательно, волновые свойства возможно обнаружить экспериментально в явлениях интерференции и дифракции микрочастиц (т. к. существуют

препятствия (атомы), размеры которых сопоставимы с длиной волны де Бройля микрочастицы).

Гипотеза де Бройля действительно подтверждается опытами по отражению и прохождению электронов и других элементарных частиц (протонов, нейтронов) через кристаллы. В этих опытах наблюдается дифракционная картина, наличие которой служит признаком волнового процесса. При этом дифракционная картина соответствует волне с длиной, равной λ_B — длине волны де Бройля.



Что такое волны де Бройля? Колебаниям чего, колебаниям какой среды они соответствуют? Волна де Бройля — это не упругая, механическая (подобно звуковой) волна, не электромагнитная (подобно световой) волна, это вообще не какое-то материальное волновое поле. Волна де Бройля — это распределение в пространстве вероятности местонахождения движущейся частицы.

Физическая интерпретация корпускулярно-волнового дуализма заключается в том, что в любой заданной точке интенсивность волны де Бройля, которая пропорциональна амплитуде волны ($I \sim A^2$), оказывается также пропорциональной вероятности найти частицу в этой точке $I \sim dW$ или $A^2 \sim dW$.

7.3.2 Волновая функция

Волновую функцию или пси-функцию (Ψ -функцию) для описания состояния частиц микромира предложил ввести Макс Борн (1882–1970 гг.), немецкий физик-теоретик, лауреат Нобелевской премии 1954 года.



Волновая функция, пси-функция (Ψ -функция) — это «амплитуда» волны де Бройля. Квадрат модуля пси-функции $|\Psi(x, y, z)|^2$ — это вероятность найти микрочастицу в единичном объеме около точки с координатами (x, y, z) .

Поскольку волновая Ψ -функция определяет вероятность, она должна обладать свойствами, соответствующими понятию «вероятность».

7.3.3 Уравнение Шрёдингера

В основе классической механики лежат законы Ньютона. В квантовой механике такую же фундаментальную роль, как законы Ньютона в классической механике, играет уравнение Шрёдингера. Уравнение Шрёдингера, открытое Эрвином Шрёдингером в 1926 г., записывается относительно волновой функции или пси-функции (Ψ -функции). Пси-функция (Ψ -функция) является решением уравнения Шрёдингера.

Как и многие основные уравнения физики (например, уравнения Ньютона в классической механике, уравнения Максвелла для электромагнитного поля), уравнение Шрёдингера не выводится, а постулируется. Правильность уравнения доказывается многочисленными опытами, что придает ему силу закона природы.

7.3.4 Собственные значения энергии

Уравнения, типа уравнения Шрёдингера, имеют бесконечное множество решений. В физике из этого множества решений выбирают те, которые имеют физический смысл. Что это значит? Физический смысл имеют решения, соответствующие понятию вероятности: волновая функция Ψ и ее первая производная должны быть конечными, однозначными, непрерывными.

Уравнение Шрёдингера содержит в качестве параметра полную энергию частицы E . Решения, имеющие физический смысл (соответствующие понятию вероятности), получаются не при любых значениях этого параметра, а только при некоторых определенных значениях этого параметра (рис. 7.3), своих для каждой конкретной задачи.

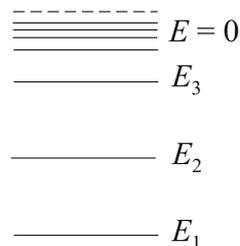


Рис. 7.3 – Собственные значения энергий (E_1, E_2, E_3, \dots), при которых решения уравнения Шрёдингера имеют физический смысл



.....
 Значения энергий (E_1, E_2, E_3, \dots), при которых решения уравнения Шрёдингера имеют физический смысл, называются собственными.

Это те значения энергии, которые может иметь квантовая частица. Между ними расположены зоны запрещенных для частицы энергий.

Тело большого масштаба изменяет свою энергию непрерывно. Так, начавший качаться маятник постепенно замедляется вследствие сопротивления воздуха. Приходится принять, что квантовая система ведет себя иначе, хотя это непонятно с точки зрения «здравого смысла». Она может находиться только в состояниях, отличающихся дискретными количествами энергии. Переход от одного состояния к другому представляет собой «таинственное явление, называемое квантовым скачком».

При переходе электрона в атоме с верхнего разрешенного энергетического уровня на нижний разрешенный уровень его энергия уменьшается. Куда девается разность энергий?

Атом излучает свет. А поскольку «энергетическая лесенка» у атомов всех элементов персональная, свет, излучаемый атомом любого элемента, будет присущ только ему, будет его «визитной карточкой», его «отпечатком пальца», будет отличаться от света, излучаемого атомом другого элемента. Регистрируя этот свет,

можно определить, какие вещества участвовали в его излучении или поглощении. Методы регистрации такого света именуют спектроскопией (от лат. *spectrum* — видимое, полоска радуги и *skopeo* — смотрю). К «плюсам» спектроскопии можно отнести возможность диагностики непосредственно в «среде обитания» объекта, бесконтактно, дистанционно. Поэтому она получила широкое развитие, например в астрономии. Практически это единственный инструмент, имеющийся у астрономов для сбора информации о космосе (так, анализируя линии в спектрах излучения, определяют химический состав и процентное содержание элементов во внешних оболочках Солнца и звезд).

Это мощный инструмент, имеющийся у ученых для изучения атомов и молекул. Атомы разных элементов испускают свет разной частоты и соответственно разного цвета, на этом основана проба на окрашивание пламени горелки. При нагревании в пламени газовой горелки раствора, содержащего атомы металла, пламя окрасится в определенный цвет в зависимости от того, какой металл присутствует в растворе. Ярко-желтый цвет пламени свидетельствует о присутствии натрия, фиолетовый — калия, карминно-красный — лития, желто-зелёный — бария, кирпично-красный — кальция и т. д. Высокая температура переводит электроны на более высокий энергетический уровень, возвращаясь на нижний уровень, электроны излучают свет с длиной волны, свойственной данному атому. Спектроскопия широко применяется в науке и технике.

7.4 Принцип неопределенностей Гейзенберга

Вернер Карл Гейзенберг (1901–1976 гг.), немецкий физик-теоретик, один из создателей квантовой механики, лауреат Нобелевской премии. В 1927 году Гейзенберг сформулировал принцип неопределенности, ограничивающий применение к микрообъектам классических понятий и представлений. Принцип Гейзенберга играет в квантовой механике ключевую роль потому, что наглядно объясняет, как и почему микромир отличается от знакомого нам макромира.

Представления о движении. В нашей повседневной жизни мы привыкли к тому, что все тела движутся по строго определенным путям-траекториям. Если известна начальная скорость тела и действующие на него силы, то с помощью законов Ньютона его траекторию можно точно вычислить. В любой момент времени можно точно установить, в каком месте находится тело и какова его скорость. Точность законов Ньютона очень высока, с их помощью можно, например, предсказать движение небесных тел на многие десятки и сотни лет вперед. Микрочастицы двигаются как-то иначе, так что понятие «траектория» для них, строго говоря, неприменимо.

Одна из моделей движения микрочастиц: микрочастица передвигается случайными прыжками по случайной зигзагообразной траектории, средняя линия которой — это классическая траектория, т. е. траектория, по которой в данном силовом поле частица должна двигаться согласно законам классической механики. «Микрочастица движется как теннисный мячик, по которому случайным образом бьют невидимые ракетки.» Скорость и координаты — хаотично меняющиеся величины.



.....
 Роль принципиально непредсказуемых, хаотических форм движения в современной картине мира оказывается фундаментальной.

Каждая координата микрочастицы — это случайная величина, но ее среднее значение в каждый момент времени совпадает с соответствующей координатой классической частицы. Это относится и к скорости микрочастицы. Мерой случайности всякой случайной величины X является ее среднеквадратичное отклонение $\sigma(X)$ (или обозначают ΔX) от среднего значения $\langle X \rangle$, то есть абсолютная погрешность определения величины X . В квантовой физике эту абсолютную погрешность определения величины называют неопределенностью.

Квантовая теория привела к интересному следствию, заключающемуся в том, что нельзя одновременно определить точные значения координаты x и скорости v_x (импульса $p_x = m \cdot v_x$) любой частицы, то есть одновременно иметь равные нулю погрешность определения координаты $\Delta x = 0$ и погрешность определения импульса $\Delta p_x = 0$.

Это «странное» следствие теории известно под названием принципа неопределенности Гейзенберга, согласно которому

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



.....
 Произведение неопределенности координаты частицы Δx на неопределенность проекции ее импульса Δp_x на эту же ось x не меньше по порядку величины постоянной Планка h . При этом на произведения типа $\Delta x \cdot \Delta p_y$, $\Delta y \cdot \Delta p_z$, $\Delta z \cdot \Delta p_x$ и т. д. никаких ограничений нет.

О чем говорит принцип неопределенности? Как его понимать?

Знаменитая формула де Бройля $\lambda_B = h/p = h/mv$ утверждает, что волновые и корпускулярные свойства фундаментальным образом взаимосвязаны и неразделимы.



.....
 Микрочастица может проявлять свойства и волны, и частицы, но, *говорит принцип неопределенности*, не может проявлять свойства и волны, и частицы одновременно. В каждом конкретном случае проявляются либо корпускулярные, либо волновые свойства.

Принцип неопределенности не мешает нам с любой желаемой точностью измерить либо координату, либо скорость. Он не утверждает, что у квантовых частиц отсутствуют определенные координаты и скорости (или, что эти величины абсолютно непознаваемы) — он утверждает лишь, что мы не в состоянии достоверно узнать и то и другое одновременно. Если бы нам удалось абсолютно точно установить координаты квантовой частицы, о ее скорости мы не имели бы ни малейшего представления; если бы нам удалось точно зафиксировать скорость частицы, мы

бы понятия не имели, где она находится. Это не следствие недостатков измерительных приборов. Это — фундаментальное свойство мира, в котором мы живем. Ставилось много экспериментов с целью «обмануть частицу», измерить и координату, и скорость одновременно. Иногда даже казалось, что это получилось. Но дальнейшее обдумывание результата говорило, что Природу обмануть не удалось.

В повседневной жизни, в макромире, мы не замечаем квантовую неопределённость. Значение постоянной Планка ($h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж · с — 33 нуля до первой значимой цифры после запятой) мало, поэтому соотношения неопределенностей накладывают такие слабые ограничения на погрешности измерения координаты и скорости, которые заведомо незаметны на фоне реальных практических погрешностей наших приборов и наших органов чувств. В повседневной жизни произведение погрешностей измерения координаты и скорости всегда больше h . Этот предел мал, поскольку мала сама h — постоянная Планка, но он существует, и это фундаментальный закон природы. Принципиально нельзя одновременно координату и импульс частицы точнее, чем это допускает соотношение неопределенностей. Этого нельзя сделать так же, как нельзя «превысить скорость света, достичь абсолютного нуля температур, поднять себя за волосы, вернуть вчерашний день».

Принцип неопределенностей касается и других характеристик микрочастиц. Помимо координаты и импульса он применим ко всем парам переменных величин, произведение которых имеет размерность постоянной Планка ($[h] = \text{Дж} \cdot \text{с}$). Эти пары называют сопряженными переменными. Произведение неопределенностей значений двух сопряженных переменных не может быть по порядку величины меньше постоянной Планка h . Такая взаимосвязанная пара — это энергия и время протекания квантовых процессов:

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq h.$$

Чем меньше время Δt частица пребывает в данном состоянии, тем больше неопределенность значения ее энергии ΔE , тем менее определённа её энергия E . Невозможно одновременно безошибочно измерить энергию квантовой системы (погрешность $\Delta E = 0$) и определить момент времени (погрешность $\Delta t = 0$), в который она обладает этой энергией.

7.5 Представления о детерминированности событий в мире

Представления квантовой теории о микромире коренным образом отличаются от классических представлений. Квантовая теория выводит нас из-под власти «железного» классического детерминизма.

Квантовая теория утверждает, что это невозможно, знать абсолютно точно значения координат и скоростей не только всех частиц во Вселенной в один и тот же момент времени и на основании точных физических законов предсказывать будущее и реконструировать прошлое, но это невозможно даже и для одной частицы.

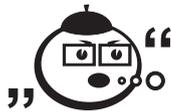
В квантовой механике объекты описываются волновой Ψ -функцией. В тех точках пространства, где Ψ -функция велика, вероятность обнаружить микрочастицу

в момент измерения большая. В тех точках пространства, где Ψ -функция мала, вероятность обнаружить микрочастицу мала. Точный прогноз будущего невозможен. Можно только предсказать возможные варианты и вероятности их реализации.



Выводы

Таким образом, причинность в современной квантово-полевой картине Мира имеет вероятностный характер. Для того, чтобы адекватно представлять себе явления в квантовой механике, необходимо исходить из представления о вероятности как объективной категории. Мы пишем «плотность вероятности» не потому, что это мы не знаем «истинных» траекторий, а потому что и сама Природа их не знает (и даже не интересуется их существованием).

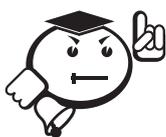


«Бог не играет в кости со Вселенной» — Альберту Эйнштейну не нравилась необходимость описывать явления микромира в терминах вероятностей и волновых функций, а не с привычной позиции точных координат и скоростей частиц. Он называл это «игрой в кости». Однако физики склоняются к мысли, что здесь великий Эйнштейн был неправ, а прав был другой великий физик — Нильс Бор, который советовал Эйнштейну «перестать, наконец, указывать Богу, что ему делать».

7.6 Принцип дополнительности

Анализируя соотношения неопределенности, выдающийся датский физик-теоретик Нильс Бор (1885–1962 гг.), один из создателей современной физики, лауреат Нобелевской премии по физике (1922 г.), выдвинул принцип дополнительности, согласно которому для полного описания квантовомеханических явлений необходимо применять два взаимоисключающих («дополнительных») набора классических понятий, совокупность которых даёт исчерпывающую информацию о квантовомеханических явлениях как о целостных.

Нильс Бор показал, что из соотношения неопределенностей следует, что корпускулярная и волновая модели описания квантовых объектов дополняют друг друга и не входят в противоречие, потому что никогда не предстают одновременно.



Идея дополнительности рассматривалась Нильсом Бором как выходящая за рамки чисто физического познания. Он считал (и эта точка зрения разделяется в настоящее время), что интерпретация квантовой механики «имеет далеко идущую аналогию с общими

трудностями образования человеческих понятий». Всякое истинное явление природы не может быть определено однозначно с помощью слов нашего языка и требует для своего определения, по крайней мере, двух взаимоисключающих дополнительных понятий.

.....

7.7 Природа атомного ядра. Состав атомного ядра

Согласно планетарной модели строения атома английского физика Эрнеста Резерфорда в центре атома находится положительно заряженное ядро. Ядро окружено несколькими оболочками из очень лёгких отрицательно заряженных электронов. Размер ядра в 100 000 раз меньше размера атома, при этом ядро содержит 99,9% всей массы атома. Атом имеет размер порядка 10^{-10} м. Электроны, ядра имеют размер порядка 10^{-15} м. Если представить ядро в виде булыжника диаметром 1 м, то соответствующий размер атома, в центре которого находится этот булыжник-ядро, окажется равным 100 км. В таком объеме «летают» воздушные шарики-электроны. *Из чего состоят ядра и электроны?*

Согласно протонно-нейтронной модели строения ядра, предложенной советским физиком-теоретиком Дмитрием Дмитриевичем Иваненко и развитой далее в трудах немецкого физика-теоретика Вернера Карла Гейзенберга, ядра всех атомов состоят из положительно заряженных протонов (p) и не имеющих заряда нейтронов (n). Заряд протона равен заряду электрона, но имеет знак плюс, $e_p = +1,6 \times 10^{-19}$ Кл. Протоны и нейтроны имеют общее название — нуклоны (от лат. *nucleus* — ядро). Протон — нуклон в заряженном состоянии. Нейтрон — нуклон в нейтральном состоянии.

Атомы электрически нейтральны, т. к. содержат одинаковое число электронов и протонов. Одноименные заряды отталкиваются. Кулоновское отталкивание положительных протонов в ядрах атомов так велико, что казалось бы, любое ядро через короткое время должно просто «взорваться». Почему же этого не происходит? Взорваться атомным ядрам не дают действующие между нуклонами ядерные силы.

7.8 Ядерные силы



.....
Сильное взаимодействие — взаимодействие между нуклонами в ядре.

Притяжение между нуклонами объясняется их постоянным обменом друг с другом виртуальными частицами π -мезонами. Характерной чертой сильного взаимодействия является его зарядовая независимость. Ядерные силы притяжения «протон — протон», «протон — нейтрон», «нейтрон — нейтрон» по существу одинаковы. Отсюда следует, что с точки зрения сильных взаимодействий протон и нейтрон неотличимы, и для них используется единый термин — нуклон, то есть частица ядра.

7.9 Концепция виртуальных частиц

В результате виртуальных процессов

$$p \leftrightarrow n + \pi^+; \quad n \leftrightarrow p + \pi^-; \quad p \leftrightarrow p + \pi^0; \quad n \leftrightarrow n + \pi^0$$

каждый нуклон окружен облаком виртуальных π -мезонов, образующих поле ядерных сил. Поглощение этих виртуальных π -мезонов (пионов) другим нуклоном приводит к сильному обменному взаимодействию между нуклонами.



.....
Виртуальная частица (лат. *virtualis* — возможный, могущий проявиться) — в квантовой механике это частица, которая существует столь короткое время, что ее нельзя обнаружить за время ее существования.

Согласно квантовой теории поля не только сильное, но любое другое взаимодействие частиц осуществляется благодаря их обмену различными виртуальными частицами. Так, при электромагнитном взаимодействии заряженные частицы обмениваются виртуальными фотонами. То есть электромагнитное поле может быть представлено как совокупность фотонов, непрерывно излучаемых и поглощаемых каждой заряженной частицей. Для покоящегося электрона процесс создания им в окружающем пространстве поля можно представить уравнением:

$$e^- \leftrightarrow e^- + h\nu.$$

С концепцией виртуальных частиц тесно связана концепция физического вакуума.

7.10 Представления о матери в современной картине мира

Концепция отсутствия пустого пространства. В современной естественно-научной картине Мира как вещество, так и поле состоят из элементарных частиц. Частицы взаимодействуют друг с другом, взаимопревращаются. На уровне элементарных частиц происходит взаимопревращение поля и вещества. Так, фотоны могут превратиться в электронно-позитронные пары, а эти пары в процессе взаимодействия уничтожаются (аннигилируют) с образованием фотонов. Более того, вакуум также состоит из частиц (виртуальных), которые взаимодействуют как друг с другом, так и с обычными частицами. Таким образом, исчезают фактически границы между веществом и полем и даже между вакуумом, с одной стороны, и веществом и полем, с другой.

На фундаментальном уровне все грани в природе оказываются условными. Стимулом стойкого интереса к физическому вакууму является надежда ученых на то, что он откроет доступ к океану экологически чистой вакуумной энергии. Очевидно, что эти надежды небеспочвенны. В рамках квантовой электродинамики теория указывает на реальность существования в физическом вакууме «океана» энергии.

7.11 Радиоактивные превращения ядер



.....
Радиоактивность (лат. *radio* — излучаю) — это самопроизвольное превращение одних атомных ядер в другие, сопровождающееся излучением частиц.

Причина радиоактивного распада — нарушение баланса между числом протонов и числом нейтронов в ядре. Излучение включает: γ -лучи — это электромагнитное излучение с чрезвычайно малой длиной волны, связанное с ускоренным движением зарядов в ядре; α -частицы — это положительно заряженные составные частицы, образованные двумя протонами и двумя нейтронами; отрицательно заряженные β -лучи, представляющие собой поток электронов. Но электронов нет внутри ядер атомов. Откуда берется этот поток? Как возникает?

Электроны рождаются в процессе распада атомных ядер, в процессе β -распада, подобно тому, как фотон, не входящий в состав атома, рождается при переходе атома из одного квантового состояния в другое. Какие же силы вызывают этот распад?

7.12 Слабое взаимодействие



.....
 β -распад радиоактивных ядер — результат *особого четвертого вида фундаментальных взаимодействий в природе* — «слабого взаимодействия».

Происхождение β -распада внутринуклонное, а не внутриядерное. Это взаимодействие называют слабым, т. к. два других взаимодействия, значимые для ядерной физики (сильное и электромагнитное), характеризуются значительно большей интенсивностью. Однако слабое взаимодействие значительно сильнее четвертого из фундаментальных взаимодействий, гравитационного.

Любое взаимодействие связано с обменом виртуальными частицами.

Какие частицы являются переносчиками слабого взаимодействия?

В настоящее время общепринято, что переносчики слабого взаимодействия — два заряженных векторных бозона W^+ -бозон и W^- -бозон и один нейтральный Z^0 -бозон (W в связи с английским *Weak* — слабый).

Слабое взаимодействие играет в природе очень важную роль. Оно является составной частью термоядерных реакций на Солнце и других звездах.

7.13 Элементарные частицы



.....
Элементарная частица — это микробиъект, который нельзя расщепить на составные части.

То есть внутренняя структура может быть сложной, но на составные части не делящейся, существующей только как целое. К элементарным частицам относят нуклоны. Из нуклонов — протонов и нейтронов состоят ядра атомов. Из чего состоят протоны и нейтроны?

7.14 Концепция кварков



.....
 Имеется гипотеза, согласно которой нуклоны (протоны и нейтроны) представляют собой композицию из трех фундаментальных, электрически заряженных частиц, называемых кварками.

В эксперименте по рассеянию высокоэнергетических электронов на протонах и нейтронах обнаружено, что внутри нуклона свободно перемещаются, «как три пчелки в стакане», три заряженные частицы, три кварка.

Характерной особенностью кварков, не встречающейся у других частиц, является дробный электрический заряд, равный $+2/3e$ и $-1/3e$. Кварк с зарядом $+2/3e$ называют *u*-кварком (англ. *up* — вверх). Кварк с зарядом $-1/3e$ называют *d*-кварком (англ. *down* — вниз). Кварковый состав протона — *uud* ($+2/3 + 2/3 - 1/3 = +1$). Кварковый состав нейтрона — *udd* ($+2/3 - 1/3 - 1/3 = 0$).

Группу элементарных частиц, состоящих из кварков, включая нуклоны, называют адроны (греч. *hadros* — большой, сильный).

Характерный признак адронов — это их участие в сильном взаимодействии.

Взаимодействие кварков. Глюоны

Каждому полю соответствуют кванты этого поля — бозоны-переносчики соответствующего взаимодействия. Если, рассматривая ядерное поле, перейти на более глубокий уровень, на уровень сильного взаимодействия кварков, то частицами, осуществляющими взаимодействие между кварками, окажутся глюоны (англ. *glue* — клей).

Глюон — переносчик сильного взаимодействия кварков. Глюон электрически нейтрален. Глюон не имеет массы покоя.

Все адроны состоят из кварков, но отдельно кварки не выделяются. Применительно к кваркам существует специальный термин «конфайнмент» (англ. *confinement* — тюремное заключение). Причина конфайнмента — необычное поведение сил взаимодействия кварков друг с другом. На малых расстояниях силы взаимодействия кварков малы, кварки практически свободны. Но с увеличением расстояния силы взаимодействия между кварками быстро растут, не давая им вылететь

из адрона (кварки как будто резинкой связаны друг с другом). То обстоятельство, что свободные кварки не наблюдаются, принципиально ограничивает бесконечное дробление материи.

Итак, в ядре, на настоящий момент, добрались до «первокирпичика».

А из чего состоят электроны, образующие электронные оболочки атома?

У электрона внутренняя структура никогда до сих пор не наблюдалась.



.....
Бесструктурные элементарные частицы, про существование составных частей которых пока ничего не известно, называют фундаментальными частицами.

В настоящее время фундаментальными частицами считаются кварки и лептоны.



.....
***Кварки** — фундаментальные частицы, участвующие в сильном взаимодействии.*

***Лептоны** (греч. leptos — легкий) — фундаментальные частицы, не участвующие в сильном взаимодействии.*



.....
 Все стабильные структуры окружающего нас сравнительно низкотемпературного мира состоят из четырех фундаментальных частиц: двух стабильных лептонов — электрона e^- и электронного нейтрино ν_e и двух кварков — u и d .

7.15 Античастицы

Элементарные частицы существуют в двух разновидностях: частицы и античастицы. Наличие античастицы для каждой элементарной частицы называется принципом зарядового сопряжения.



.....
***Античастица элементарной частицы a** — это элементарная частица, имеющая равную с частицей a массу покоя, одинаковый спин, одинаковое время жизни, но противоположный заряд.*

Античастицей электрона является антиэлектрон e^+ — элементарная частица, названная позитроном (лат. *positivus* — положительный). Из античастиц можно составить антиатом, из антиатома — антивещество. . . Из античастиц были получены антиатомы антинейтрона, антинейтрона, антинейтрона, имевшие отрицательно заряженное ядро из антипротонов и антинейтронов и оболочку из позитронов. Вещество, построенное из антинуклонов и позитронов, — это антивещество. При столкновении частицы и античастицы они — аннигилируют.



.....
Аннигиляция (лат. *annihilatio* — уничтожение) — один из видов взаимопревращения элементарных частиц — процесс взаимодействия элементарной частицы **a** со своей античастицей, в результате которого частицы превращаются в γ -кванты электромагнитного поля или в другие частицы.

При аннигиляции вещества выделяющаяся энергия \sim в 10^3 раз больше, чем при термоядерном синтезе.

7.16 Четыре вида фундаментальных взаимодействий, существующих в природе

Это гравитационное, слабое, электромагнитное и сильное взаимодействия. Ведутся поиски других типов фундаментальных взаимодействий как в явлениях микромира, так и в космических масштабах, однако пока какого-либо другого типа фундаментального взаимодействия не обнаружено.

Таблица 7.1 – Сравнительные характеристики четырех фундаментальных видов взаимодействия (в порядке убывания интенсивности взаимодействия)

Фундаментальные взаимодействия				
Взаимодействие	Бозоны-переносчики взаимодействия	Радиус действия, м	Относительная интенсивность	Пример проявления
сильное	глюоны	10^{-15}	1	ядро, адроны
электромагнитное	фотоны	∞	10^{-4}	атом
слабое	промежуточные векторные бозоны W^{\pm}, Z	10^{-18}	10^{-20}	β -распад
гравитационное	гравитон	∞	10^{-40}	сила тяжести

7.17 Модели великого объединения

На квантовом уровне все фундаментальные взаимодействия проявляют себя одинаковым образом. Элементарная частица вещества испускает элементарную частицу — переносчик взаимодействия, которая поглощается другой элементарной частицей вещества. Это ведет к взаимовлиянию частиц друг на друга. Согласно современным представлениям при очень высоких температурах (и энергиях) все

четыре взаимодействия объединяются в одно. В настоящее время созданы модели такой единой теории, получившие название модели великого объединения.

Все эти модели имеют много общих моментов, в частности, характерная энергия объединения очень высока. Так при энергиях порядка 10^{15} ГэВ и выше существует единое взаимодействие. Когда энергия становится ниже 10^{15} ГэВ, сильное и электрослабое взаимодействия отделяются друг от друга и работают как различные фундаментальные взаимодействия. При дальнейшем уменьшении энергии ниже 100 ГэВ происходит отделение слабого и электромагнитного взаимодействий. В результате для величин энергий, характерных для физики макроскопических явлений, три рассматриваемых взаимодействия выглядят как не имеющие единой природы.

Отсюда следует вывод о том, что прямое экспериментальное исследование великого объединения (энергии порядка 10^{15} ГэВ и выше) выглядит проблематичным даже в достаточно отдаленном будущем (наибольшая энергия, достижимая на современных ускорителях, не превышает 10^3 ГэВ). Проблема объединения всех фундаментальных взаимодействий пока остается открытой.



Контрольные вопросы по главе 7

1. Тепловое излучение, характеристики теплового излучения.
2. В чем суть ситуации «ультрафиолетовой катастрофы»? Кто и какой нашел выход?
3. Корпускулярно-волновой дуализм. В каких явлениях свет ведет себя как волна? В каких явлениях свет ведет себя как поток частиц?
4. Волны де Бройля. Физическая интерпретация корпускулярно-волнового дуализма.
5. Принцип неопределенностей Гейзенберга. Представления о детерминированности событий в мире.
6. Смысл и свойства волновой функции — пси-функции. Что значит решить уравнение Шрёдингера? «Энергетическая лесенка» электрона в атоме.
7. Из чего состоят атом, ядра атомов, протоны и нейтроны?
8. Какую группу элементарных частиц называют адронами, какую — лептонами?
9. Чем отличается античастица от частицы? Что такое аннигиляция?
10. Четыре вида взаимодействий, существующих в природе.

Глава 8

КОНЦЕПЦИИ РОЖДЕНИЯ И ЭВОЛЮЦИИ ВСЕЛЕННОЙ

Среди «звездных» наук различают три.



-
- Космология** — наука, изучающая строение и эволюцию Вселенной в целом.
- Космогония** — наука, изучающая строение и эволюцию Солнечной системы.
- Астрономия** — наука, изучающая строение и эволюцию космических тел и их систем.
-

На каждом этапе развития человеческой цивилизации существовала своя космологическая теория.

8.1 Космология древности

Первая космологическая модель Вселенной — это геоцентрическая система Аристотеля—Птолемея, просуществовавшая более полутора тысяч лет.

Совершенным и вечным движением для Аристотеля является круговое движение, поэтому Аристотель делает вывод, что все небесные планеты и звезды движутся по круговым орбитам. Впоследствии это положение развил знаменитый греческий астроном Клавдий Птолемей, который облек его в математическую форму. Учение Аристотеля об иерархии надлунной и подлунной областей, о центральном положении Земли в мире и о неподвижности Земли было воспринято в дальнейшем средневековой философией и космологией.

Ученые занимались модернизацией геоцентрической модели на протяжении весьма длительного промежутка времени. Затем человечество сменило геоцентрическую систему на гелиоцентрическую, вслед за Аристархом Самосским, почти через 2 тысячи лет после него в 1541 г. восстановленную в правах Николаем Коперником.

8.2 Модели стационарной Вселенной

Рассматривая самую большую физическую систему — Вселенную, Ньютон сделал гениальное предположение — пусть законы, справедливые на Земле, будут действовать и во всей Вселенной, пусть эти законы будут мировыми законами.

В конце XVII века считалось, что Вселенная — шар и вещество (звезды) во Вселенной однородно распределено по объему шара. Между частицами — звездами — действуют только гравитационные силы (единственный вид взаимодействия, известный в XVII веке). Это силы притяжения. Так как снаружи шара нет притягивающих частиц, сила, действующая на частицы на поверхности шара (как и на все остальные частицы), направлена к центру, поэтому шар должен сжаться в точку, т. е. произойти гравитационный коллапс (лат. *collapsus* — упавший). Коллапс не случится, если каждая точка во Вселенной будет притягиваться с одинаковой силой со всех сторон. Это возможно только, если Вселенная — бесконечна. Тогда произвольная точка в бесконечной Вселенной испытывает одинаковое притяжение в любом направлении и поэтому остается на месте. Возникла модель стационарной Вселенной, бесконечной в пространстве, и неизменной во времени, для которой, в соответствии с законами классической Ньютонической механики, предполагалось, что пространство абсолютно, однородно, изотропно, а время абсолютно и однородно. Концепция абсолютных пространства и времени предполагала, что пространство существует (время течет) само по себе, независимо от присутствия или отсутствия материальных тел.

Затем появились специальная и общая теории относительности, и Альберт Эйнштейн, чтобы уравновесить силы притяжения во Вселенной, которая также была стационарной, изотропной и однородной (как у Ньютона), ввел новую силу — силу отталкивания. Теперь вещество во Вселенной удерживается двумя силами — притяжения и отталкивания, которое компенсирует ускорение тяготения. Но оказалось, что стационарная модель Вселенной не соответствует астрофизическим наблюдениям. Американский астроном Эдвин Хаббл (1889–1953 гг.) в 1929 году обнаружил, что звезды и звездные скопления (галактики) не покоятся, а удаляются друг от друга. После открытия Хабблом расширения Вселенной необходимость ввода сил отталкивания (ввода в уравнения космологической константы Λ — лямбда) отпала. Эйнштейн отказался от гипотетической силы отталкивания и назвал космологическую константу Λ своей самой большой ошибкой.

8.3 Теория нестационарной Вселенной

Теоретическим фундаментом современной космологии является общая теория относительности Альберта Эйнштейна — релятивистская теория тяготения.

Особенностью современных космологических моделей является их эволюционный характер. Первые современные космологические модели Вселенной разработал советский математик, физик и геофизик, создатель теории нестационарной Вселенной Александр Александрович Фридман (1888–1925 гг.). Современная релятивистская космология вышла из фридмановской теории нестационарной расширяющейся Вселенной и продолжает развиваться на фундаменте его работы.

Когда примерно началось наблюдаемое расширение?

Возраст Вселенной (время, прошедшее с начала космологического расширения Вселенной из очень плотного и горячего состояния) определен несколькими независимыми способами и составляет примерно 13,5 миллиардов лет. Возраст Вселенной в 13,5 миллиарда лет согласуется с возрастом Солнца в 5 миллиардов лет, установленным в космогонии.

8.4 Гипотеза «горячей Вселенной»

В 1948 году в работах ученика Александра Александровича Фридмана физика-теоретика Георгия Антоновича Гамова (1904–1968 гг.) была выдвинута гипотеза «горячей Вселенной», согласно которой после «Большого взрыва» пространство-время начинает расширяться из одной точки. На начальных стадиях расширения вещество во Вселенной имеет не только огромную плотность, но и очень высокую температуру. Сосредоточенная в малом объеме вся энергия Вселенной давала столь высокую температуру, что не существовало различия видов материи. Материя находилась в состоянии единого «суперполя», все появившиеся позже виды вещества и взаимодействия при начальной температуре были слиты воедино. Эволюционная теория «горячей Вселенной» обосновывается существованием реликтового (лат. *relictum* — остаток далекого прошлого) излучения, изотропного фонового космического излучения, спектр которого близок к спектру абсолютно черного тела, имеющего температуру около 3 К (радиоволновый диапазон).

8.5 Звездная эволюция

Звездная эволюция начинается с образования протозвезды в результате гравитационной конденсации межзвездных газа и пыли. Сжатие облака гравитационными силами приводит к образованию центрального горячего ядра. Процесс гравитационного сжатия звезды с повышением температуры продолжается до тех пор, пока температура в центре звезды не поднимется до 10^7 К. Начинаясь при этой температуре термоядерная реакция слияния ядер водорода с образованием ядер гелия останавливает гравитационное сжатие. Появляется термоядерный источник энергии. Силы гравитационного сжатия компенсируются силами газового и светового давления. На протяжении большей части жизни любой звезды основным источником ее энергии служит термоядерный синтез гелия из водорода. Через определенное время — от миллиона до десятков миллиардов лет, в зависимости от начальной массы — звезда истощает водородные ресурсы ядра. Без давления, возникавшего в ходе термоядерных реакций и уравновешивавшего собственное гравитационное притяжение звезды, звезда снова начинает сжатие. Температура

и давление снова повышаются. Коллапс продолжается до тех пор, пока при температуре приблизительно в 100 миллионов К не начнутся термоядерные реакции синтеза углерода из гелия.

В ходе возобновившегося на новом уровне термоядерного синтеза увеличивается выделяющаяся энергия, растет радиационное давление на внешний слой, звезда «разрыхляется», происходит чудовищное расширение звезды, она увеличивается в размере в 200–300 раз, при этом охлаждается, ее излучение краснеет. Звезда превращается в «красного гиганта».

Есть предположения, что Солнце вступит в эту стадию через семь миллиардов лет.

После гелиевой вспышки «загораются» во все более нарастающем темпе углерод, неон, кислород; каждое из этих событий вызывает серьезную перестройку звезды. В ходе дальнейших последовательностей термоядерных реакций синтезируются всё более тяжёлые элементы таблицы Менделеева, что временно сдерживает коллапс ядра. На последней стадии образования всё более тяжёлых элементов периодической системы из кремния синтезируется железо-56. На этом этапе дальнейший термоядерный синтез становится невозможен, происходит незамедлительный коллапс ядра, в доли секунды приводящий к невероятной силы взрыву, который называют «вспышкой сверхновой звезды». При этом взрыве мощность излучения звезды возрастает в 10^6 – 10^9 раз. Химические элементы тяжелее железа рождаются именно в этих взрывах — «вспышках сверхновых звезд». В результате такого взрыва образуются новые, более компактные объекты в виде нейтронных звезд или черных дыр и выделяется колоссальная энергия. В космическое пространство с огромной скоростью разлетается газообразное облако остатков прежней звезды, принося в космос новые химические элементы. Почти все атомы тяжелее железа образовались именно в результате таких взрывов. В каждом из нас есть немало атомов, побывавших в пламени вспышки сверхновой звезды. Вспышкой сверхновой звезды заканчивается эволюция звезд с массами не меньше чем две — три солнечных массы.

8.5.1 Образование нейтронной звезды

При гравитационном коллапсе, катастрофически быстром сжатии (за доли секунды) под действием гравитационных сил, центральная часть звезды сжимается до плотности ядерного вещества. При этом электроны вдавливаются в протоны, превращая их в нейтроны. Известно, что на малых расстояниях между нуклонами ($< 3 \cdot 10^{-14}$ см) ядерные силы притяжения сменяются силами отталкивания, т. е. противодействие ядерного вещества на малых расстояниях сжимающей силе тяготения увеличивается. Если растущее внутреннее давление ядерной материи, возникающее за счёт взаимодействия нейтронов, останавливает гравитационный коллапс, то центральная часть звезды становится нейтронной звездой (пульсаром), а вещество внешних слоев выбрасывается со скоростью в несколько тысяч км/с и образует затем волокнистую туманность.

8.5.2 Образование черной дыры

Если при взрыве сверхновой звезды сохраняется остаток звезды массы большей, чем три солнечных массы, то ядерные силы отталкивания на малых расстоя-

ниях не в состоянии противостоять дальнейшему гравитационному сжатию звезды большой массы. Звезда сжимается до размеров гравитационного радиуса, и никакие силы не могут остановить ее дальнейшего сжатия под действием сил тяготения. Такой процесс, называемый гравитационным коллапсом, происходит с достаточно массивными звёздами (как показывает расчёт, с массой больше двух — трёх солнечных масс) в конце их эволюции.

Возникает необычный объект — черная дыра. Основное свойство черной дыры состоит в том, что никакие сигналы, испускаемые ею (даже электромагнитное излучение) не могут выйти за её пределы и достигнуть внешнего наблюдателя.

8.5.3 Белые карлики

Если масса звезды меньше, чем 1,4 массы Солнца, то после исчерпания термоядерных источников энергии эволюция звезды, ее гравитационное сжатие останавливается на стадии так называемого «белого карлика». «Белый карлик» — конечная стадия эволюции звезды малой массы. Белые карлики — очень плотные, изначально горячие звезды, с высокой температурой поверхности, которая очень медленно уменьшается, превращая звезду в «черного карлика».

8.6 Структура Вселенной

Вселенная — весь существующий материальный мир. Метагалактика — часть Вселенной, доступная современным астрономическим методам исследования, содержит несколько миллиардов галактик.

Современную структуру Вселенной сформировали силы тяготения. В этой структуре наблюдается иерархия (от греч. «священный» и «власть» означает расположение элементов целого в порядке от высшего к низшему).

На нижнем уровне находятся *звезды*. Более половины наблюдаемых звезд входит в состав звездных пар или кратных звездных систем (Солнце в этом отношении — нетипичная звезда, поскольку она одиночная). Звезды также образуют скопления.



.....
Галактика — гравитационно связанная система из звёзд и звёздных скоплений, межзвёздного газа и пыли и тёмной материи.

Звезды образуют *галактики* — громадные звездные системы, содержащие сотни миллиардов звезд.

Галактики образуют *скопления галактик*. Со временем астрономы убедились, что найти одиночную галактику даже труднее, чем одиночную звезду.

Когда стало известно о существовании скоплений галактик, встал вопрос о том, не образуют ли они, в свою очередь, еще более масштабные системы? И не может ли такая иерархическая структурность распространяться до бесконечности, когда любая система входит в состав другой, а та — в состав еще более крупной и так далее? Наука дала положительный ответ на первый вопрос и отрицательный — на второй. Оказалось, что самая крупномасштабная структура Вселенной

представляет собой ячейки различного размера, составленные из галактик и их систем. Области повышенной концентрации галактик образуют в пространстве подобие длинных волокон (цепочек). Скопления галактик собираются в структуры, напоминающие соты. Внутри ячеек находятся пустоты (их называют войды от английского *void* — пустота), в которых плотность галактик как минимум в десять раз меньше, чем в среднем по Вселенной, взятой в большем масштабе. В качестве аналога такой структуры рассматривают также «ноздреватую» структуру хлеба или пену из мыльных пузырей, для которых тоже средняя плотность всего куска хлеба или всего комка мыльной пены больше, чем плотность внутри пузыря.

8.7 Темная материя

Галактики в скоплениях галактик движутся очень быстро (часто более тысячи км/с). При таких скоростях силы взаимного притяжения галактик не могут удерживать их от распада. Но скопления галактик стабильны. Это означает, что в них присутствует еще какая-то форма материи — «темная материя», — которая не обнаруживается телескопическими наблюдениями, но своим тяготением удерживает галактики в скоплениях. Природа «темной материи» еще выясняется.

8.8 Темная энергия

Вселенная расширяется. Классические космологические модели говорили, что расширение Вселенной должно постепенно тормозиться за счет взаимного притяжения находящихся в ней массивных тел (галактик и звезд). Однако выяснилось, что темп процесса расширения, напротив, постоянно увеличивается.

В связи с этим появилась гипотеза о темной энергии и её антигравитации, компенсирующей обычное гравитационное притяжение, замедляющее процесс «разбегания галактик» и сдерживающее скорость расширения Вселенной. Темная энергия представляет собой еще более необычную субстанцию, чем темная материя. Одним из предполагаемых кандидатов на роль темной энергии является вакуум.

Данные, полученные с космических аппаратов, свидетельствуют о следующем составе Вселенной: Звезды (и другие объекты) — 0,4%; Межгалактический газ — 3,6%; Темная материя — 22%; Темная энергия (энергия вакуума) — 74%.

8.9 «Наша» Галактика

Солнечная система входит в состав галактики Млечный Путь. Это «наша» Галактика, которая пишется с большой буквы, в отличие от всех других звездных систем — галактик (галактика от греч. слова млечный). Наша Галактика (Млечный Путь) относится к гигантским спиральным галактикам с перемычкой.

Спиральными эти галактики были названы из-за их внешнего вида. Внешне спиральная галактика похожа на воронку от вытекающей воды, на огромный водоворот, циклон или ураган. Спиральные галактики имеют ярко выраженные рукава, состоящие из звёзд, похожие на витки спиралей. Эти рукава представляют собой области активного звездообразования и по большей части состоят из молодых горячих звёзд.

Солнце расположено между спиральными рукавами Галактики и делает оборот вокруг центра Галактики в точности за то же время, что и спиральные рукава. Поэтому Солнце не пересекает области спиральных рукавов, где наблюдается активное звёздообразование. Для Земли это обстоятельство очень важно, поскольку в спиральных рукавах происходят бурные процессы, вспыхивают сверхновые звезды, образующие мощное излучение, губительное для всего живого. И никакая атмосфера не смогла бы от него защитить. Но наша планета существует в сравнительно спокойном месте Галактики и не подвергается воздействию этих космических катаклизмов. Возможно, именно поэтому на Земле смогла зародиться и сохраниться жизнь.

8.10 Концепции космогонии. Система Земля — Луна

Землю с ее спутником Луной часто называют двойной планетой. Этим подчеркивается общность их происхождения и большая масса спутника ($1/81$ от массы Земли). Масса Земли $\sim 5,15 \cdot 10^{15}$ т.

Земля обладает уникальными особенностями — поверхность Земли опоясывают, взаимодействуя между собой, несколько оболочек: твёрдая, воздушная и водная.



.....
Литосфера (от греч. *litos* — камень) — твёрдая оболочка Земли. Это огромные массы горных пород на суше и на дне океана.

Под океанами и материками она имеет разную толщину — от 70 до 250 км. Литосфера разделена на крупные блоки — литосферные плиты.

1. **Верхняя часть твердой оболочки** — земная кора — состоит из осадочных пород. В них находят останки вымерших животных и растительных организмов, когда-то населявших Землю. Земная кора содержит самые разнообразные полезные ископаемые: каменный уголь и нефть, газ, руды черных и цветных металлов, минеральные удобрения и т. д.

2. Мантия.



.....
Мантия (греч. *mention* — покрывало, плащ) — следующая оболочка «твердой» Земли составляет 83% объема Земли и 67% массы Земли.

Отличие состава земной коры и мантии — следствие их происхождения: исходно однородная Земля в результате частичного плавления разделилась на легкоплавкую и лёгкую часть — кору и более плотную и тугоплавкую мантию.

Вещество мантии способно медленно течь (со скоростями до десятков сантиметров в год). Процессы, идущие в мантии Земли, оказывают самое непосредственное влияние на земную кору и поверхность Земли, являются причиной движения континентов, извержения вулканов, землетрясений, горообразования и формирования рудных месторождений. Температура ядра и мантии очень высокая —

тысячи градусов. Однако и субъядро, и мантия — твердые образования. Вещество в них находится под огромным давлением, при котором температура плавления гораздо выше, чем при нормальном. Как только давление ослабевает, раскаленные твердые породы плавятся. Образуется жидкая раскаленная масса — магма. В некоторых местах земной коры магма прорывается наружу, возникает вулканическое извержение.

В строении литосферы выделяют подвижные области (складчатые пояса) и относительно стабильные платформы. Литосферные плиты представляют собой крупные (до нескольких тысяч километров в поперечнике) блоки земной коры. Изменение положения материков показывает, что литосферные плиты сдвигаются, но это движение настолько медленное, что мы его не замечаем. Оно может приостанавливаться, замедляться или ускоряться. Литосферные плиты впаяны в вещество мантии и перемещаются вместе с ней — это горизонтальное движение литосферы. Но литосфера изменяет своё положение и вертикально — это медленное поднятие и опускание материков. Есть данные, что из-за смещений литосферной континентальной плиты Эверест ежегодно растет на 2,5–5 см.

3. Ядро Земли.



.....
Ядро Земли — центральная, наиболее глубокая геосфера Земли.

Средний радиус — около 3,5 тыс. км (~ половина радиуса Земли). Ядро состоит из внешнего ядра и субъядра. Предполагают, что внешнее ядро жидкое (т.к. не находится под достаточным давлением, чтобы быть твердым, так что жидкость, даже если она имеет состав, похожий на внутреннее ядро, остается жидкостью), а субъядро — твердое.

Одна из моделей, претендующая на объяснение магнитного поля планет, представляет собой жидкий шар, с горячим, твёрдым, тепловыделяющим металлическим ядром, которое вращается в восточном направлении. Магнитное поле возникает при определённом движении электропроводящей жидкости во внешнем ядре.

Земную кору покрывают гидросфера — жидкая оболочка (она не сплошная) и атмосфера — газовая оболочка.



.....
Гидросфера (от греч. *hydor* — вода) — водная оболочка нашей планеты — включает в себя всю воду планеты — в твёрдом, жидком и газообразном состоянии.

Гидросфера — это моря и океаны, реки и озёра, подземные воды, болота, ледники, снежные покровы, водяной пар в воздухе. Водная оболочка перераспределяет тепло, поступающее от Солнца. Медленно нагреваясь, водные толщи Мирового океана накапливают тепло, а потом передают его атмосфере, что смягчает климат на материках в холодные периоды. Вовлечённая в мировой круговорот, вода постоянно перемещается: испаряясь с поверхностей морей, океанов, озёр или рек, она облаками переносится на сушу и выпадает в виде дождя или снега.



Гидросфера Земли — уникальное явление в Солнечной системе. Никакая другая планета подобной гидросферой не обладает.

Вода является очень распространенным во Вселенной соединением, но на других телах Солнечной системы она присутствует только в твердой фазе: в виде льда, снега, инея, и только на Земле температура и давление позволяют воде быть жидкой.

Больше всего воды на Земле в Мировом океане, около 2% воды — в ледниках, много воды под землей. Для своих нужд человек использует главным образом воду рек и пресных озер. Но ее на Земле мало ~ 0,001% от всех запасов воды.

Поэтому водные ресурсы планеты необходимо беречь.



Атмосфера (от греч. *atmos* — пар) — воздушная оболочка Земли, вращающаяся вместе с Землей.

Атмосфера простирается над Землей до высоты 2–3 тыс. км, но большая часть её массы сосредоточена у поверхности планеты. Атмосфера удерживается силой притяжения Земли, поэтому с высотой её плотность уменьшается. Атмосфера содержит кислород, необходимый для дыхания живых организмов. В атмосфере находится слой озона, защитный экран, который поглощает часть ультрафиолетовой радиации Солнца и защищает Землю от избыточных ультрафиолетовых лучей. Состав атмосферы у поверхности Земли: 78,1% азота; 21% кислорода; 0,9% аргона; доли процента — углекислый газ, водород, гелий.

8.11 Жизнь и разум во Вселенной

Мысль о том, что Земля не является единственным населенным миром в беспредельном пространстве Вселенной, высказывалась еще до нашей эры. Идею множественности обитаемых миров разделяли многие выдающиеся ученые XVII–XIX вв.

В настоящее время поиск жизни вне Земли ведется по двум направлениям:

- а) прием излучения из космоса на различных частотах в целях обнаружения сигналов искусственного происхождения и послание в космос сообщений со сведениями о Земле и ее обитателях;
- б) поиск органических веществ и различных форм жизни с помощью космических аппаратов, в том числе и спускаемых на другие планеты.

Земные живые организмы состоят из сложных высокомолекулярных химических соединений. В этой связи очень важен факт обнаружения в плотных молекулярных облаках нашей Галактики и в некоторых метеоритах нескольких классов органических соединений, многие из которых являются исходным материалом для построения белков земных организмов, а также молекул ДНК и РНК:

- ДНК — дезоксирибонуклеиновая кислота — высокополимерное природное органическое соединение, содержащееся в ядрах клеток всех живых организмов. ДНК — носитель генетической информации;
- РНК — рибонуклеиновые кислоты — сложные высокомолекулярные органические соединения, содержатся в клетках всех живых организмов, участвуют в реализации генетической информации.

Видимо, в ходе эволюции при определенных условиях могут возникать живые организмы. Однако вывод о том, какие это условия, ученые, к сожалению, могут сделать на основе единственного случая — земной жизни. Пока нет убедительных доказательств, позволяющих ответить на вопрос, одни или нет мы во Вселенной.



Контрольные вопросы по главе 8

1. Теоретическим фундаментом современной космологии является ... Какая теория?
2. Наиболее существенным отличием современных космологических моделей от предшествующих является (представление о стационарности или об эволюции Вселенной)?
3. Картина «разбегания» галактик будет наблюдаться из любой галактики, или только из нашей? Как этот процесс можно себе представить? Когда примерно началось наблюдаемое расширение?
4. В 1948 году в работах физика-теоретика Георгия Антоновича Гамова была выдвинута гипотеза ... Какая?
5. Согласно наиболее разработанной гипотезе Солнечная система сформировалась в результате ... Чего? Все космические тела, которые составляют Солнечную систему, образовались примерно ... Когда?
6. Атмосфера Земли, ее состав.
7. Гидросфера Земли — уникальное явление в Солнечной системе. Почему?
8. Литосфера — это ... Ядро Земли.
9. Главное взаимодействие космоса — это ... Какое фундаментальное взаимодействие?
10. Звездная эволюция. Конечная стадия звездной эволюции зависит от ... Чего?
11. Вселенная — это ... Структура Вселенной.
12. В настоящее время поиск жизни вне Земли ведется по двум направлениям ... Каким?

Глава 9

КОНЦЕПЦИИ ХИМИИ

Естествознание как наука о явлениях и законах природы включает одну из важнейших отраслей — химию.



.....
Химия — наука о превращениях веществ, сопровождающихся изменением их состава и (или) строения.
.....

История развития химических знаний начинается с V века до нашей эры, когда древнегреческий ученый Левкипп и его ученик Демокрит впервые предложили гипотезу атомного строения материи.

В III веке в Египте возникла алхимия, получившая особенно широкое распространение в Европе в IX–XVI веках. В процессе поиска чудодейственных средств (философского камня, превращающего все металлы в золото и серебро, эликсира вечной молодости) были разработаны различные приемы лабораторной техники (перегонка, возгонка и др.), открыты свойства химических элементов и соединений.

9.1 Определение химического элемента

Первое научное определение химического элемента предложил в 1661 году английский физик и химик, основоположник экспериментального химического анализа Роберт Бойль (1627–1691 гг.), седьмой сын Ричарда Бойля, графа Коркского, вельможи времён Елизаветы Английской.



.....
Химический элемент — это совокупность атомов с одинаковым зарядом ядра Z (т. е. с одинаковым числом протонов в ядре).
.....

Разновидности атомов какого-либо химического элемента, которые имеют одинаковый заряд ядра Z , но разные массовые числа (разные суммы протонов Z и нейтронов N), называют изотопами (греч. «одинаковый» и «место»). Название связано с тем, что все изотопы одного атома помещаются в одно и то же место (в одну клетку) таблицы Менделеева.

Свойства вещества зависят от того, из атомов каких элементов состоит это вещество.



.....
Качественный анализ — совокупность химических, физико-химических и физических методов, применяемых для обнаружения элементов, входящих в состав анализируемого вещества.

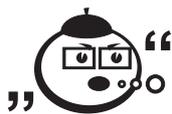
Количественный анализ — химический анализ, задача которого — установить, не только какие, но и в каком количестве содержатся составные части в анализируемом объекте.

.....

Оба метода лежат в основе *аналитической химии*, рассматривающей принципы и методы определения химического состава веществ.

9.2 Закон сохранения массы

Период превращения химии в точную науку завершился во второй половине XVIII века, когда Михаил Васильевич Ломоносов (1711–1765 гг.), гениальный русский ученый-энциклопедист, один из основоположников современного естествознания, сформулировал закон сохранения массы при химических реакциях (1748 г.).



.....
 “ «Все встречающиеся в природе изменения происходят так, что если к чему-либо нечто прибавилось, то это отнимается у чего-то другого. Так, сколько материи прибавляется к какому-либо телу, столько же теряется у другого».
 ”

.....

С точки зрения атомно-молекулярного учения этот закон объясняется тем, что при химических реакциях атомы не исчезают и не возникают, общее количество атомов не изменяется, а происходит лишь их перегруппировка.

Закон сохранения массы веществ является основным законом химии, все расчеты по химическим реакциям производятся на его основе. Именно с открытием этого закона связывают возникновение современной химии как точной науки.

9.3 Понятие молекулы

В 1811 году итальянский физик и химик Амедео Авогадро (1776–1856 гг.) ввел термин «молекула» и выдвинул гипотезу молекулярного строения вещества.



.....
Молекула (лат. уменьшительное от масса) — наименьшая частица вещества, обладающая всеми его химическими свойствами.
.....

Молекула состоит из атомов, соединенных химическими связями. Количественный и качественный состав молекулы передает химическая формула (условное обозначение химического состава и структуры соединений с помощью символов химических элементов). Атомы в формулах обозначаются знаками химических элементов, а относительное их количество — числами в формате нижних индексов.

Так, формула воды — H_2O , формула поваренной соли — хлорида натрия — $NaCl$, формула сахара — $C_{12}H_{22}O_{11}$.

В 1861 году русский химик-органик Александр Михайлович Бутлеров создал и обосновал теорию химического строения, согласно которой свойства веществ определяются не только составом, т. е. видом и числом составляющих атомов, но и порядком связей атомов в молекулы и их взаимным влиянием.

Явление существования веществ, в которых одна и та же группа атомов при образовании молекул объединяется разными способами, называют *изомерией*.

Молекулы с одинаковым молекулярным составом, но разным строением и свойствами называют изомерными молекулами, или *изомерами*.

Явление существования химического элемента в виде нескольких простых веществ (аллотропных модификаций) называют *аллотропией*.



..... **Пример**

Например, известно, что графит и алмаз состоят из атомов одного и того же химического элемента — углерода. Но в алмазе атомы углерода имеют один порядок связей, а у графита — другой. В результате алмаз — самое твердое в природе вещество, а графит мягкий, из него делают грифели для карандашей.

.....
9.4 Периодический закон химических элементов — фундаментальный закон природы

В 1869 году другой великий русский учёный-энциклопедист, химик, физик, метролог Дмитрий Иванович Менделеев (1834–1907 гг.) открыл фундаментальный закон природы, один из фундаментальных законов естествознания — периодический закон химических элементов. Выявленная Дмитрием Ивановичем Менделеевым периодичность — это система, которая дала понимание закономерности, позволившей определить место в ней элементов, неизвестных во времена Менделеева, предсказать не только их существование, но и дать их характеристики.



.....
 В современной формулировке: свойства химических элементов находятся в периодической зависимости от зарядов ядер их атомов. Заряд ядра равен порядковому номеру элемента в периодической таблице Д. И. Менделеева.

В 1921–1923 годах выдающийся датский физик-теоретик Нильс Бор (1885–1962 гг.), один из создателей современной физики, лауреат Нобелевской премии по физике (1922 г.), показал, что причина периодичности свойств элементов заключается в периодическом повторении строения внешнего электронного слоя атома.

Периодическая система Д. И. Менделеева стала важнейшей вехой в развитии атомно-молекулярного учения.

Порядковый номер элемента в таблице Менделеева (атомный номер) является мерой электрического заряда атомного ядра этого элемента (равен числу протонов в ядре атома и, следовательно, числу электронов на электронных оболочках атома).

Номер вертикального столбца (номер группы) определяет квантовую структуру верхней оболочки (число валентных электронов, равное номеру группы), чему элементы этого столбца и обязаны сходством своих химических свойств.

Номер горизонтального ряда (номер периода) в таблице определяет число энергетических уровней в атоме элемента, число электронных оболочек атома.

Каждый период начинается элементом, в атомах которого начинает застраиваться новый электронный слой, номер этого слоя равен номеру периода.

Свойства элементов определяются их электронным строением. Элементы, расположенные в начале периода, в 1-ой, 2-ой, 3-ей группе, имеют на верхнем слое 1, 2, 3 электрона. Эти элементы являются металлами. Они твердые (кроме ртути); блестящие; хорошие электро- и теплопроводники; пластичные; ковкие; легко отдают электроны. Элементы, расположенные в правом верхнем углу таблицы, называют неметаллами. Они плохие проводники тепла и электричества; хрупкие; нековкие; непластичные; легко принимают электроны.

9.5 Концепции неорганической химии



.....
Неорганическая химия изучает химические элементы и образуемые ими простые и сложные вещества (кроме органических соединений), обеспечивает создание материалов новейшей техники.

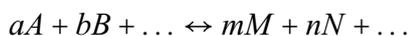
Число известных на 2013 г. неорганических веществ приближалось к 500 тысячам.

Теоретическим фундаментом неорганической химии является периодический закон и основанная на нём периодическая система Д. И. Менделеева. Важнейшая задача неорганической химии состоит в разработке и научном обосновании способов создания новых материалов с нужными для современной техники свойствами.

9.5.1 Химическая реакция

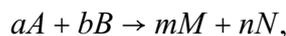


.....
Химическая реакция — это превращение одних веществ в другие, отличные по химическому составу и (или) строению.

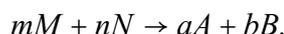


Вещество A в количестве a атомов (или a молей) реагирует с веществом B в количестве b атомов (или b молей) (исходные вещества A и B называют реагентами или реагентами), в результате реакции получается вещество M в количестве m атомов (или m молей) и вещество N в количестве n атомов (или n молей) (M и N — продукты реакции), a , b , m , n — стехиометрические коэффициенты (натуральные числа).

Во всяком химическом процессе, наряду с прямой реакцией



идущей в сторону образования продуктов реакции M и N , имеет место и обратная реакция, в которой продукты реакции, вступая во взаимодействия, снова дают исходные вещества



.....
Химическое равновесие — состояние, при котором прямая $aA + bB \rightarrow mM + nN$ и обратная $mM + nN \rightarrow aA + bB$ реакции идут с одинаковой скоростью.

.....

9.5.2 Скорость химической реакции



.....
Скорость химической реакции — это изменение числа частиц (молекул, ионов...) любого вещества — участника химической реакции — за единицу времени в единице объема.

.....

Скорость химической реакции определяют по любому из исходных веществ (реагентов) или конечных продуктов реакции $aA + bB \leftrightarrow mM + nN$.

Скорость химической реакции в каждый момент времени пропорциональна концентрациям реагентов, возведенным в степени, равные их стехиометрическим коэффициентам. Увеличение скорости химической реакции с ростом концентрации реагирующих веществ связано с возрастанием вероятности столкновений реагирующих молекул.

Скорость реакции образования продуктов реакции, скорость реакции «слева направо»:

$$v_1 = K_1 C_A^a C_B^b.$$

Скорость обратной реакции образования реагентов из продуктов реакции, скорость реакции «справа налево»:

$$v_2 = K_2 C_M^m C_N^n.$$

K_1 и K_2 — константы; C_A , C_B , C_M , C_N — концентрации реагентов (A , B) и продуктов реакции (M , N).

Концентрации (и скорость) могут изменяться в ходе реакции, но значение K сохраняется постоянным для данной реакции в выбранных условиях. Поэтому коэффициент K называют константой скорости реакции. Уравнение скорости реакции называется кинетическим уравнением.

9.5.3 Закон действия (действующих) масс

По мере протекания реакции $aA + bB \leftrightarrow mM + nN$ «слева направо» C_A , C_B — концентрации реагентов A , B падают. Следовательно, падает скорость реакции

$$v_1 = K_1 C_A^a C_B^b.$$

Напротив, по мере образования продуктов реакции M , N и увеличения концентрации C_M , C_N продуктов реакции M , N — растет скорость обратной реакции «справа налево»

$$v_2 = K_2 C_M^m C_N^n.$$

В состоянии химического равновесия $v_1 = v_2$

$$K_1 C_A^a C_B^b = K_2 C_M^m C_N^n \quad K_C = \frac{K_1}{K_2} = \frac{C_M^m \cdot C_N^n}{C_A^a C_B^b}, \quad (9.1)$$

где K_1 — константа скорости прямой реакции, а K_2 — обратной. K_C — отношение констант скорости реакций — называют константой равновесия. K_C — константа равновесия для данной температуры T — величина постоянная.

Константы равновесия находятся экспериментально или рассчитываются теоретически.

9.5.4 Принцип Ле Шателье

Как влияют на равновесие изменения условий реакции?

Как влияет изменение а) концентрации компонентов, б) температуры, в) давления?

В общей форме ответ на этот вопрос дает *принцип Ле Шателье*.

Анри Луи Ле Шателье (1850–1936 гг.), французский физико-химик и металлург.



.....
Принцип Ле Шателье: внешнее воздействие, выводящее систему из равновесия, вызывает в системе процессы, стремящиеся ослабить результаты этого воздействия.

1. Добавим в систему $aA + bB \leftrightarrow mM + nN$, например, компонент M . Концентрация компонента $M - C_M$ увеличится. Числитель в выражении для константы равновесия (9.1) увеличится, но K_C — константа равновесия для данной температуры T — величина постоянная. Значит, соответственно увеличению C_M должна увеличиться концентрация C_A, C_B реагентов A, B так, чтобы отношение (9.1) осталось постоянным.

Равновесие будет нарушено: быстрее пойдет обратная реакция (справа налево), пока величина дроби опять не станет равной K_C .

Система «противится» внешнему воздействию — увеличению концентрации компонента M — и начинает его интенсивнее расходовать.

2. Начнем нагревать систему. Система будет «противиться нагреванию». Увеличится скорость эндотермических (идущих с поглощением тепла) реакций.



Пример

Реакция синтеза аммиака $N_2 + 3H_2 = 2NH_3$.

Образование аммиака NH_3 — экзотермично (идет с выделением тепла), а обратная реакция распада молекулы NH_3 — эндотермична (идет с поглощением тепла).

Нагрев приведет к смещению равновесия в сторону эндотермической реакции, т. е. увеличится распад молекул аммиака NH_3 на азот N_2 и водород H_2 .

3. Начнем увеличивать давление в системе. Система будет «противиться увеличению давления». Та же реакция: $N_2 + 3H_2 = 2NH_3$.

Образование аммиака NH_3 идет с уменьшением числа молекул газа вдвое, т. е. для данной T и данного объема давление уменьшается, а обратная реакция распада молекулы NH_3 — идет с увеличением числа молекул газа вдвое, т. е. для данной T и данного объема давление увеличивается. Согласно принципу Ле Шателье, на увеличение давления система ответит увеличением скорости той реакции, которая давление уменьшает. Увеличение давления способствует протеканию реакции образования аммиака NH_3 , т. к. именно она уменьшает давление в системе. Производство NH_3 осуществляется при повышенном давлении. Именно Ле Шателье, отчетливо сформулировав принцип подвижного равновесия, первым синтезировал аммиак. При этом Ле Шателье применил высокое давление и, кроме того, катализаторы (платину Pt и железо Fe).

9.5.5 Катализ



Катализ — это ускорение химической реакции в присутствии веществ-катализаторов, которые взаимодействуют с реагентами, но таким образом, что в ходе реакции сами не расходуются и в продукты реакции не входят.

Катализатор изменяет механизм реакции на энергетически более выгодный, т. е. снижает энергию активации реакции. Катализаторы ускоряют обратимые реакции как в прямом, так и в обратном направлениях. Поэтому химическое равновесие катализатор не сдвигает ни вправо, ни влево. Но благодаря катализатору равновесие устанавливается быстрее.

Благодаря катализу резко увеличивается скорость реакции и активизируется образование желаемых продуктов. Явление катализа широко распространено в природе. Ферменты — высокомолекулярные биологические катализаторы, образующиеся и функционирующие в живых системах. Они действуют по принципу «ключ к замку», что является причиной высокой избирательности. Каждый фермент ускоряет только свою реакцию. Катализ широко используется в технике (в нефтепереработке и нефтехимии, в производстве серной кислоты, аммиака, азотной кислоты и др.). Большая часть всех промышленных реакций — каталитические.



.....
Автокатализ — особый случай катализа — ускорение реакции одним из ее продуктов.

Если катализатором автокаталитического процесса является один из конечных или промежуточных продуктов реакции, то в результате реакция ускоряется не сразу, а по мере накопления продукта — катализатора, при этом скорость реакции не уменьшается по мере расходования реагентов, а растет.



.....
Ингибиторы — вещества, снижающие скорость химической реакции.

С помощью ингибиторов, в частности, защищают металлы от коррозии. Например, для продления срока службы труб и батарей в систему водяного отопления добавляют ингибиторы коррозии. В автомобилях ингибиторы коррозии добавляются в тормозную, охлаждающую жидкость. Ингибиторы увеличивают энергию активации реакции. В пищевой промышленности широко используются ингибиторы, предотвращающие гидролиз жиров (в результате которого жиры «прогоркают»), реакции окисления и брожения.

9.6 Концепции органической химии

Органическая химия, как показывает ее название, возникла в результате изучения органической живой материи. Название «органические соединения» связано со словом «организм»: из этих соединений в основном состоят все живые организмы. Органическая химия изучает органические соединения — их строение, свойства, способы получения и практического использования.



.....
***Органические соединения** — это углеводороды и их производные.*

***Углеводороды** — это соединения, состоящие исключительно из атомов углерода и водорода.*

.....

Углеводороды считаются базовыми соединениями органической химии, все остальные органические соединения рассматривают как их производные (поскольку углерод имеет четыре валентных внешних электрона, а водород — один, простейший углеводород — метан CH_4).



.....
В одном из первых учебников по органической химии, написанном в 1853 году, его автор французский химик Шарль Фредерик Жерар (1816–1856 гг.) дал следующее определение этой дисциплины: «Органическая химия занимается изучением законов, по которым превращаются вещества, составляющие организмы растений и животных. Ее целью является познание способов получения органических веществ вне живой природы».

.....

В основе современной органической химии лежит созданная и обоснованная великим русским химиком-органиком Александром Михайловичем Бутлеровым теория химического строения, согласно которой свойства веществ определяются порядком связей атомов в молекулы и их взаимным влиянием.



.....
Сам Александр Михайлович Бутлеров основную мысль своей теории формулировал так: «Если при одинаковом составе вещества отличаются свойствами, то они должны отличаться своим химическим строением».

.....

Многообразие и громадное число органических соединений определяет значение органической химии как крупнейшего раздела современной химии. Огромное многообразие органических соединений (их число превышает 10 миллионов) обусловлено уникальной способностью атомов углерода соединяться с большинством элементов таблицы Менделеева и образовывать молекулы самого различного состава и строения (цепного, циклического, бициклического, трициклического, полициклического, каркасного с простыми и кратными связями между атомами).

9.7 Успехи органической химии

Основным методом органической химии является синтез.
 А. М. Бутлеров ввел понятие изомеров.



.....
Изомеры — это вещества, имеющие одинаковый качественный и количественный состав, но различное строение и, поэтому, разные свойства.

Именно возможность построения из одних и тех же немногих элементов большого числа изомерных структур объясняет существование огромного количества органических соединений.

Конец XIX века был периодом триумфального шествия органического синтеза; в эти годы были впервые получены анилиновые красители, взрывчатые органические вещества, многие лекарства.

В XX веке начала интенсивно развиваться и другая область органической химии — химия полимеров. Основной элемент, входящий в органические молекулы, — углерод — в отличие от всех других химических элементов способен образовывать длинные цепочки.



.....
Полимеры (греч. πολύ — много; μέρος — часть) — неорганические и органические вещества, высокомолекулярные соединения, состоящие из «мономерных звеньев», соединённых в длинные макромолекулы.

При этом число «мономерных звеньев» в макромолекуле может достигать нескольких десятков и даже сотен тысяч. К полимерам относятся все пластмассы, синтетические каучуки, без которых было бы невозможно развитие автомобильной промышленности и, наконец, искусственные (на природной основе) и синтетические (формируют из полимеров, не существующих в природе, а полученных путем синтеза из природных низкомолекулярных соединений) волокна (нити).

XX век — век полимеров. Были синтезированы десятки тысяч новых веществ с полезными человеку свойствами, которых не было раньше в природе. По своим свойствам эти материалы настолько хороши, что вошли буквально во все сферы жизни человека, стали совершенно незаменимыми и абсолютно необходимыми.

Однако наряду с выдающимися положительными качествами у этих синтетических продуктов есть один существенный недостаток. Природа их не создавала, природа не умеет их разрушать до простых неорганических соединений, которые затем вновь используются продуцентами (организмами, способными синтезировать органические вещества из неорганических, в основном, это зелёные растения, которые синтезируют органические вещества из неорганических в процессе фотосинтеза). Синтетические продукты, в отличие от многих природных материалов, после выполнения своих функций не могут быстро уничтожиться природой под действием агрессивных факторов окружающей среды — света, тепла, атмосферных газов, микроорганизмов. Они продолжают существовать, причиняя в некоторых случаях непоправимый ущерб живой природе. Известны многочисленные случаи гибели редких морских животных, например гигантских морских черепах, которые проглатывают пластиковые мешки, плавающие на поверхности моря, принимая их за медуз, являющихся для них кормом. То есть оборотной стороной успехов поли-

мерной химии явилось возникновение проблемы утилизации отходов производства и быта.

В XX веке появился еще один молодой раздел химии — химия элементоорганических соединений. Это соединения, в состав которых, кроме углерода, водорода, кислорода, азота и серы, входят кремний, фтор, бор, а также некоторые металлы.

Фторорганические соединения

Фторпроизводные углеводов представляют собой новую самостоятельную область химии; они нашли практическое применение в качестве нетоксичных охлаждающих жидкостей (фреонов) для холодильных устройств, уникальных по своим свойствам высокополимерных соединений, обладающих исключительной устойчивостью даже в кислотах и щелочах и приближающихся по химической стойкости к благородным металлам, негорючих термостойких и не окисляющихся смазочных масел, высокоактивных инсектицидов и фунгицидов, ярких и светопрочных красителей.

На основе фторорганических соединений изготавливаются новые, сверхнадёжные для самых жёстких условий эксплуатации материалы: пластиковые массы (тефлон), термостойкие каучуки (фторкаучуки), покрытия (фторопласты), пламягасящие вещества, материалы для электрического оборудования. Для медицины — искусственные сосуды, клапаны для сердца, заменители крови (перфторан, спасший жизнь многим солдатам в Афганистане).

Создателем школы элементоорганической химии, внесшим огромный вклад в развитие этого раздела химической науки, был выдающийся русский ученый академик Александр Николаевич Несмеянов (1899–1980 гг.).

Успехи органической химии позволили рационально использовать нефть, уголь, природный газ. Органическая химия позволила установить структуру белков, играющих исключительно важную роль во всех живых организмах, т. к. они участвуют в построении клеток и тканей, являются биокатализаторами (ферменты), дыхательными пигментами (гемоглобины), защитными веществами (иммуноглобулины) и др.

Органическая химия позволила установить также структуру нуклеиновых кислот (ДНК — дезоксирибонуклеиновой и РНК — рибонуклеиновой), присутствующих в клетках всех живых организмов и выполняющих важнейшие функции по хранению и передаче генетической информации, а также по реализации этой информации в процессе синтеза клеточных белков. Органическая химия позволила синтезировать витамины, некоторые гормоны (от греч. — привожу в движение) — биологически активные вещества, вырабатываемые в организме и оказывающие целенаправленное влияние на деятельность всех органов и тканей, ферменты (лат. — закваска) — биологические катализаторы, присутствующие во всех живых клетках и осуществляющие превращения веществ в организме, направляя и регулируя обмен веществ.

Образование кремнийорганических соединений

Еще одним элементом, также позволяющим создавать синтетические полимеры и варьировать их свойства, является кремний (Si). Как и углерод, кремний принадлежит к 4-ой группе таблицы Менделеева. Как и углерод, кремний содержит на внешней электронной оболочке четыре электрона, способных создавать ковалентные связи. Кремний вместе с углеродом входит в состав молекул кремнийорганических полимеров.

В зависимости от молекулярной массы кремнийорганические полимеры могут быть вязкими жидкостями (силиконовые масла), твердыми эластичными веществами (кремнийорганические каучуки, из которых изготавливают, в том числе, трубки для переливания крови, различные протезы, например искусственные клапаны сердца), твердыми хрупкими веществами (стеклопластики).

Наиболее важными свойствами кремнийорганических полимеров являются хорошие диэлектрические характеристики, высокая термостойкость, гидрофобность, физиологическая инертность, иногда еще и морозостойкость.

9.8 Эволюционная химия

Начало этой науки было положено при разработке теории биохимической эволюции, объясняющей происхождение жизни на Земле. Задача эволюционной химии — понять, как из неорганической материи возникает жизнь. Поэтому эволюционную химию называют «предбиологией».

Первой стадией биохимической эволюции считают эволюцию химическую, или абиогенез — процесс превращения неживой природы в живую. На первом этапе атомы водорода, азота и углерода соединялись в простые молекулы вроде молекул аммиака NH_3 и метана CH_4 . Затем под влиянием внешних энергетических и селекционных факторов из неорганических молекул возникали органические, пребиотические вещества, осуществлялась полимеризация мономеров с образованием цепей белков и нуклеиновых кислот. Следующий этап — образование фазово-обособленных систем органических веществ, отделенных от внешней среды мембранами.

В процессе развития нашей планеты происходил отбор химических элементов в биотических и абиотических системах.



.....
 Основу живых систем Земли составляют всего шесть элементов, получивших название органогенов: углерод, водород, кислород, азот, фосфор, сера без которых невозможно существование жизни. Их общая весовая доля в организме составляет 97,4%.

За ними следуют одиннадцать элементов, которые принимают участие в построении многих физиологически важных компонентов биосистем: натрий, калий, кальций, магний, железо, кремний, алюминий, хлор, медь, цинк, кобальт. Их весовая доля в организме — 1,6%.

Есть еще двадцать элементов, участвующих в построении и функционировании отдельных специфических биосистем, доля которых составляет 1%.

Участие всех остальных элементов в построении биосистем практически не зафиксировано.

И в абиотической среде есть свидетельства об отборе элементов. Более 99% всех природных соединений содержат те же семнадцать элементов, на долю всех остальных приходится менее 1%.



Контрольные вопросы по главе 9

1. Химия — наука о ... Продолжите определение.
2. Химический элемент — это ... Продолжите определение.
3. Сформулируйте периодический закон химических элементов Д. И. Менделеева.
4. Чем определяется принадлежность атома к данному химическому элементу?
5. Изотоп — это ... Продолжите определение.
6. Молекула — это ... Продолжите определение.
7. Химическая реакция — это ... Продолжите определение.
8. Закон сохранения массы при химических реакциях.
9. Сформулируйте принцип Ле Шателье.
10. Неорганические соединения — это ... Продолжите определение.
11. Органические соединения — это ... Продолжите определение.
12. Что такое катализ?
13. Чем биологические катализаторы ферменты отличаются от обычных катализаторов?
14. Наиболее важные достижения органической химии.
15. Что изучает эволюционная химия?
16. Какие химические элементы называют органогенами?

Глава 10

КОНЦЕПЦИИ БИОЛОГИИ

Все объекты живой и неживой природы можно представить в виде определенных систем, для которых характерно иерархическое соподчинение входящих в них элементов, т. е. структурных уровней организации. Самые элементарные из них относятся к области познания физики — это электроны, протоны, другие элементарные частицы. Затем идут атомные, молекулярные уровни, изучением которых занимается как физика, так и химия. За молекулярным уровнем следует субмолекулярный — уровень исследования работы макромолекул как единого целого и так далее вплоть до уровня организмов и сообществ из них. Каждый нижележащий уровень располагается как бы в оболочке вышележащего уровня и сохраняет его особенности. Субмолекулярный уровень и уровни, следующие за ним, изучают физика, химия и биология.

В большинстве учебников дисциплине «биология» дается такое определение.



.....
Биология («наука о жизни», греч. *bios* — жизнь, *logos* — учение) — это совокупность наук о живой природе, об огромном многообразии вымерших и ныне населяющих Землю живых существ, их строении, происхождении, распространении, связях друг с другом и с неживой природой.
.....

Что такое жизнь? Познать сущность жизни, ответить на вопрос, что есть жизнь — это основная задача биологии.

Дать определение жизни непросто. Имеется большое число определений понятия «жизнь», отражающих различные подходы. Остановимся на таком.



.....
Жизнь — форма существования материи, закономерно возникающая при определенных условиях протекания процесса развития материи.
.....

Более или менее точно определить понятие «жизнь» можно перечислением качеств, отличающих её от «нежизни».

10.1 Отличие живых существ от неживых объектов

Первое отличие — обмен веществ — метаболизм (греч. превращение).



.....
Узко, метаболизм — превращение веществ внутри клетки с момента их поступления до образования конечных продуктов (метаболизм белков, метаболизм лекарственного препарата).

В широком смысле, обмен веществ, метаболизм — совокупность всех химических изменений, всех превращений энергии в организме, что обеспечивает 1) развитие, 2) самовоспроизведение, 3) связь с окружающей средой, 4) адаптацию (лат. приспособление) к изменениям внешних условий.

.....

Второе отличие — раздражимость.



.....
Раздражимость — свойство живых объектов отвечать на воздействия внешней среды изменением своего состояния или своей деятельности.

.....



..... **Пример**

Подсолнечник поворачивает соцветие за перемещающимся по небосводу солнцем, любое живое существо отдергивается при неожиданном уколе булавкой или прикосновении к горячему предмету, а вот камень на дороге ни на солнышко, ни на булавку не реагирует.

.....

Раздражимость — одно из основных свойств жизни. Уже первые, самые примитивные, живые существа должны были обладать раздражимостью, реагировать на пищевые вещества и ассимилировать их, иначе они неминуемо погибли бы.

Третье отличие — способность к размножению, самовоспроизведению. Ключевая роль в этих процессах принадлежит природным органическим полимерам — нуклеиновым (лат. ядро) кислотам. Нуклеиновые кислоты существуют в двух разновидностях: ДНК — дезоксирибонуклеиновая кислота — носитель и хранитель наследственной информации и РНК — рибонуклеиновая кислота, передающая наследственную информацию от места расположения молекул ДНК (хромосом) к месту синтеза белков.

10.2 Что такое белки?



Белки (или протеины от греч. πρῶτα; («прота») — первостепенной важности) — природные высокомолекулярные органические соединения — линейные полимеры, построенные из аминокислот, соединённых пептидными связями (полипептиды).

Белки играют важную роль во всех живых организмах.

1. Белки участвуют в построении клеток и тканей.
2. Белки являются биокатализаторами (лат. ферменты, или греч. энзимы — закваска), ускоряющими химические реакции в живых клетках. Ферменты очень специфичны к реагентам в реакции, которую катализируют (каждый конкретный фермент катализирует только «свою» реакцию в организме), поэтому существует несколько тысяч ферментов разного действия. При сравнительно низких концентрациях реагирующих веществ и при нормальных температурах (не выше 40 градусов) клеточные реакции ускоряются с помощью белков-ферментов в миллионы и миллиарды раз.
3. Белки являются гормонами (греч. — привожу в движение). Гормоны — биологически активные вещества, вырабатываемые в организме и оказывающие целенаправленное влияние на деятельность всех органов и тканей, гормоны регулируют рост, развитие, размножение, обмен веществ. Гормональная система совместно с нервной системой обеспечивает деятельность организма как единого целого.



Пример

Так, при стрессовых ситуациях (страх, физическая перегрузка) в кровь выбрасывается гормон адреналин, резко повышающий потребление кислорода и концентрацию глюкозы в крови, что, в свою очередь, приводит к увеличению выработки энергии.

4. Белки являются дыхательными пигментами (лат. краска). Пигменты — окрашенные вещества тканей организмов. Так, гемоглобин (гемо — кровь, глобин — шар) — красный дыхательный пигмент крови человека, других позвоночных и некоторых беспозвоночных животных. Он переносит кислород от органов дыхания к тканям и углекислый газ CO_2 обратно от тканей к органам дыхания.

5. Белки являются защитными веществами. Уже у растений имеются такие защитные факторы, как летучие вещества фитонциды. Так, фитонциды пихты убивают коклюшную палочку (возбудителя коклюша); сосновые фитонциды губительны для палочки Коха (возбудителя туберкулёза) и для кишечной палочки. Тополя, столь бездумно уничтожаемые в настоящее время, губят микроб золотистого стафилококка, который может вызывать очень широкий диапазон заболеваний (от угрей и до смертельно опасных: пневмонии, менингита, остеомиелита, эндокардита,

инфекционно-токсического шока и сепсиса). Тополь обезвреживает микробы, которые до сих пор являются одной из наиболее частых причин внутрибольничных инфекций, вызывая послеоперационные раневые инфекции.

В ходе эволюции резко возрос уровень сложности иммунной системы. Наиболее развиты защитные механизмы у млекопитающих, в том числе у человека. Проникшие в организм бактерии устраняются фагоцитами и специальными антибактериальными белками, против вирусов действует особый белок — интерферон.

Роль фагоцитов в защите от бактерий была впервые открыта Ильей Ильичем Мечниковым (1845–1916 гг.). И. И. Мечников был удостоен в 1908 году Нобелевской премии по физиологии за создание клеточной теории иммунитета.

В красном костном мозге, в селезёнке, в лимфоузлах находятся плазматические клетки. При появлении в организме чужеродного объекта за одну секунду каждый плазмоцит вырабатывает до нескольких тысяч молекул белков-иммуноглобулинов (лат. иммуно — избавление). Они используются иммунной системой для идентификации и нейтрализации чужеродных объектов (бактерий, вирусов, паразитов) и токсичных веществ, выделяемых ими.

10.3 Аминокислоты

Из чего белки синтезируются? Из аминокислот.



.....
Аминокислоты (аминокарбоновые кислоты) — органические соединения, в молекулах которых одновременно содержатся: карбоксильные группы — COOH , аминогруппа — H_2N и углеводородный радикал R .

Аминокислоты являются мономерами белков, основным «строительным материалом» для их синтеза.

Каждая аминокислота существует в двух формах: D и L . Их отличие подобно различию правой руки от левой. Особенность аминокислот, содержащихся и в организме человека, и во всех живых системах (животных, растениях и даже вирусах), состоит в том, что все они имеют только форму L . Все они вращают плоскость поляризации света (в которой лежат вектор напряженности электрического поля и направление распространения световой волны) влево. Луи Пастер (1822–1895 гг.), французский микробиолог и химик, предположил, что важнейшим свойством всей живой материи является асимметричность молекул, подобная асимметричности левой и правой рук. Опираясь на эту аналогию, в современной науке данное свойство называют молекулярной хиральностью (др.-греч. χεῖρ — рука).

Аминокислоты — пример хиральных молекул. На Земле имеется множество «правых» аминокислот, но большинством организмов они вообще не усваиваются, и, более того, в ряде случаев являются для них ядовитыми (хотя по химическому составу формы D и L никак не различаются). Феномен использования организмом только одной формы хиральных молекул получил название *хиральной чистоты жизни*.

Исследования палеонтологов показали, что хиральная чистота была присуща живым организмам с самого начала их существования. Так, например, белков из «правых» аминокислот в окаменелостях пока никто не находил.

На вопрос, почему живая природа выбрала белковые молекулы, построенные из аминокислот только левого вращения (при том, что в состав молекул ДНК она (природа) включила только правовращающие сахара), до сих пор нет убедительного ответа.

В процессе биосинтеза белка в полипептидную цепь включаются двадцать протеиногенных аминокислот, кодируемых генетическим кодом. Почему именно эти двадцать аминокислот стали «избранными», чем эти аминокислоты оказались предпочтительнее множества других похожих? Убедительного ответа тоже пока нет.

10.4 Биосинтез



.....
Биосинтез белка — сложный многостадийный процесс синтеза полипептидной цепи из аминокислот.

Биосинтез белка происходит в два этапа.

Первый этап — транскрипция (лат. переписывание). Нуклеотидная последовательность ДНК переписывается в нуклеотидную последовательность РНК путем синтеза молекулы РНК на соответствующем участке молекулы ДНК.



.....
С химической точки зрения ДНК — это длинная полимерная молекула, состоящая из повторяющихся блоков — нуклеотидов.

Нуклеотиды — природные соединения. Каждое имеет в своем составе одно из четырех азотистых оснований: аденин — А(А), гуанин — G(Г), цитозин — С(Ц), тимин — Т(Т), урацил — U(У). Это «буквы» нуклеиновых кислот и других биологически активных соединений. Из них, как слова из букв, построены цепочки нуклеиновых кислот.

На первом этапе синтеза белка «слово» — информация о порядке расположения блоков-нуклеотидов в молекуле нуклеиновой кислоты переписывается с ДНК на РНК.

Второй этап — трансляция (лат. *translatio* — передача, перевод). Перевод «слова», плана, изображенного на РНК, в реальный белок — процесс синтеза белка из аминокислот на матрице информационной (матричной) РНК. Нуклеотидная последовательность РНК переводится в определяемую ей аминокислотную последовательность. Сборка одной молекулы белка требует 1–2 минуты времени и 200–300 аминокислот.

Итак, ключевая роль в процессах размножения и самовоспроизведения принадлежит природным органическим полимерам — нуклеиновым кислотам ДНК и РНК.

Органическая химия позволила установить *структуру нуклеиновых кислот*.

Три последовательных нуклеотида (триплет — набор из трёх нуклеотидов, три-нуклеотид) называют *кодоном*.



.....

Кодон (франц. код, шифр) — единица генетического кода — единая система записи наследственной информации в молекулах нуклеиновых кислот ДНК и РНК, одинаковая абсолютно для всех организмов.

.....

Кодон кодирует включение в состав белка при его синтезе одной аминокислоты. Последовательность кодонов определяет последовательность аминокислот в полипептидной цепи белка. Существует строгое соответствие: 1 кодон ~ 1 аминокислота, хотя одну аминокислоту могут кодировать несколько кодонов, но каждый кодон кодирует только одну аминокислоту.

Четыре типа нуклеотидов, объединенных в группы по три (триплеты, или кодоны), дают шестьдесят четыре сочетания, в результате чего на каждый из двадцати видов аминокислот, участвующих в синтезе белка, приходится более трех кодонов. Шестьдесят один кодон определяет вид аминокислоты (избыточность кода), а три оставшихся кодона сигнализируют об остановке процесса трансляции (синтеза) полипептидной цепи. Их называют *стоп-кодонами*, *бессмысленными кодонами*, *нонсенс-кодонами* или *терминаторными*.

Наиболее важные свойства генетического кода — его триплетность и универсальность. Это соответствие (три конкретных нуклеотида → одна конкретная аминокислота) одинаково абсолютно для всего живого на Земле, что, возможно, означает происхождение всех живых существ от единого предка.

Секрет механизма считывания генетической информации был раскрыт известным физиком-теоретиком Георгием Антоновичем Гамовым. Высказанная им гипотеза нашла блестящее экспериментальное подтверждение.

10.5 Что такое ген?



.....

Ген (*генетический код*) — это цепочка последовательных кодонов.

Ген (др.-греч. γένος — род) — структурная и функциональная единица наследственности живых организмов.

.....

Ген представляет собой участок ДНК, несущий информацию о строении одной молекулы белка или одной молекулы РНК.

Существует строгое соответствие: 1 ген → 1 белок. Наследственная информация — это информация о строении белка (о том, какие аминокислоты, в каком порядке соединять при синтезе белка). Строение каждого гена определяется заложеной в нем информацией. В соответствии с заложеной в нем информацией структура гена управляет процессами синтеза клеточных белков. Единая система всех генов управляет всеми химическими реакциями организма, определяет все признаки организма.

Итак, генетический код — это способ, с помощью которого информация о строении белка записана в ДНК. Просуммируем его свойства.

1. Триплетность: одна аминокислота кодируется тремя нуклеотидами (триплетом — кодоном).
2. Избыточность (вырожденность): аминокислот всего двадцать, а триплетов, кодирующих аминокислоты, — шестьдесят один, поэтому каждая аминокислота кодируется несколькими триплетами.
3. Однозначность: каждый триплет — кодон кодирует только одну аминокислоту.
4. Универсальность: генетический код одинаков для всех живых организмов на Земле.

*Гены обладают уникальной способностью: с одной стороны, они очень устойчивы (остаются неизменными в целом ряду поколений), с другой стороны, они способны к мутациям (лат. *mutatio* — изменение) — перестройкам, являющимся источником генетической изменчивости организмов и основой для действия естественного отбора.*

Цепочка генов образует молекулу ДНК, похожую на двойную спираль.

Для молекулы ДНК характерно важное свойство удвоения, т. е. образования двух абсолютно одинаковых молекул ДНК из одной. Этот процесс называют *репликацией* (лат. повторение). Он обеспечивает точное копирование генетической информации и передачу ее от поколения к поколению.



Выводы

Итак, три нуклеотида образуют кодон, из цепочки кодонов образуется ген, цепочки генов образуют молекулу ДНК. Что дальше? Комплекс ДНК с белками-гистонами, которые «упаковывают» нити ДНК в ядре клетки, образует хромосомы.

10.6 Хромосомы



***Хромосомы** — структурные элементы ядра клетки, в которых сосредоточена большая часть наследственной информации и которые предназначены для её хранения, реализации и передачи.*

Хромосома включает единственную чрезвычайно длинную молекулу ДНК, которая содержит множество генов.



***Хромосомный набор** — это совокупность хромосом, имеющихся в каждой клетке организма.*

Хромосомный набор человека парный и состоит из двадцати трех пар хромосом. Двадцать две пары — «обычные» хромосомы, или аутосомы, и одна пара —

половые, определяющие принадлежность к мужскому или женскому полу. У женщин половые хромосомы представлены парой одинаковых X -хромосом, у мужчин одной X и одной Y -хромосомой. При зачатии будущий ребенок наследует половину своих хромосом от отца, половину от матери. От матери могут наследоваться только X -хромосомы, от отца — или X -хромосома, или Y -хромосома. Это определяет пол ребенка.

Клетки тела человека и большинства видов растений и животных — диплоидны, т. е. имеют два подобных набора хромосом. Непарный набор хромосом (один от материнского организма, другой — от отцовского) называют *гаплоидом*.

10.7 Принципы передачи наследственных признаков от родительских организмов к их потомкам. Законы Грегора Иоганна Менделя



.....
***Ген** — участок хромосомы, отвечающий за определенный признак (фен).*

***Геном** — совокупность генов в одинарном наборе хромосом (отцовском или материнском).*

.....

В геноме представлен только один ген из каждой пары генов.



.....
***Генотип** — два генома (отцовский и материнский).*

***Фенотип** — совокупность всех признаков организма.*

.....

У организмов с двойным (диплоидным) набором хромосом каждый ген, определяющий данный признак (например, цвет глаз), имеется в двух экземплярах — один от отца, другой от матери. Такие пары называют аллельными (взаимными) генами.



.....
***Гомозигота** — клетка или особь, у которой два гена, определяющие какой-либо определённый признак, одинаковы (и от матери, и от отца получен ген светлых глаз).*

***Гетерозигота** — клетка, у которой аллельные гены (аллели) — отцовский и материнский — не одинаковы.*

.....

В этом случае обычно проявляется только один ген из аллельной пары (доминантный ген, A), а другой ген скрывается (рецессивный ген, a).



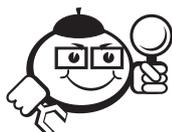
.....
Рецессивный (лат. отступление) **аллель** — ген, частично или полностью утрачивающий проявление определенного признака в гетерозиготном состоянии.

Рецессивный аллель проявляется только в гомозиготе; в гетерозиготе он подавляется доминантным аллелем.



.....
Рецессивный признак — признак, кодируемый рецессивным аллелем и подавляемый в гибридном организме действием доминантного гена той же аллельной пары.

Доминантный ген (лат. *dominans* — господствующий) — один из пары аллельных генов, подавляющий в гетерозиготном состоянии проявление другого (рецессивного) гена ($A > a$).



Пример

Опыт Менделя.

В опытах Грегора Иоганна Менделя (1822–1884 гг.) по скрещиванию сортов гороха с разным цветом семян доминантным был аллель, контролирующий жёлтый цвет (A), а рецессивным — аллель, контролирующий зелёный цвет (a).

В этом случае растение могло быть гомозиготным по доминантному (AA) или по рецессивному (aa) аллелю. Если в качестве родителей были использованы гомозиготные особи по доминантному гену жёлтой окраски (AA) и гомозиготные особи по рецессивному гену зелёной окраски (aa), то все полученные гибриды первого поколения были одинаковы и имели наследственную структуру Aa , т. е. были гетерозиготами. При этом семена у них были жёлтого цвета, как и у гомозигот по доминантному гену.

Пример полного доминирования (обычный случай).

A — темные глаза, a — светлые: AA — темные, Aa — темные (рецессивный ген a скрылся), aa — светлые.

Если у обоих родителей светлые глаза, это значит, что оба родителя гомозиготны по рецессивному (aa) аллелю и ребенок у них будет только гомозиготой (aa). Темноглазый ребенок у светлоглазых родителей не может родиться никогда. В одном из рассказов Артура Конана Дойля именно это знание помогает Шерлоку Холмсу установить истину.

.....
 Все потомство одинаковое появляется при скрещивании двух гомозигот, это *первый закон Менделя, закон единообразия*.

Если у обоих родителей темные глаза, то оба родителя могут быть гомозиготами (AA) и ребенок у них будет только гомозиготой (AA) с темными глазами (*первый закон Менделя, закон единообразия*), но родители могут быть и гетерозиготами (Aa), в этом случае, если каждый родитель передаст ребенку рецессивный ген (a), то у темноглазых родителей родится светлоглазый ребенок.

При скрещивании двух гетерозигот работает *второй закон Менделя, закон расщепления* («При самоопылении гибридов первого поколения во втором поколении получается расщепление 3:1, три части потомства имеют доминантный признак, одна часть — рецессивный»).

В начале XX столетия стало очевидным, что первый закон Менделя, закон единообразия, и второй закон Менделя, закон расщепления 3:1, — это единые закономерности наследственности для всех живых организмов.



Выводы

Делаем вывод. Организм имеет наследственную (генетическую) информацию о своих внешних признаках (строении, свойствах, поведении), передающуюся от родителей к детям. Эта информация в виде генов хранится и передается в хромосомах. Ген — это участок молекулы ДНК, отвечающий за отдельный признак. ДНК обеспечивает синтез белков, которые, в основном, и формируют внешние признаки. Совокупность генов данного организма — это генотип. Фенотип (греч. *phaino* — являю) — это совокупность внешних признаков организма (форм частей тела, цвета глаз, волос и т. п., а также функциональных характеристик — скорости роста, мышечной силы, устойчивости к болезням и многих других, определяемых функциями белков).

Фенотип зависит не только от генотипа, но и от условий среды, в которых развивается организм. Если человек будет заниматься физкультурой, то увеличит свои мышцы; если будет находиться на солнце, то загорит. Это модификационная изменчивость, она (загар) по наследству не передаётся, потому что при модификациях меняется только фенотип (признак), а генотип не меняется. Однако белый человек никогда не сможет загореть до состояния негра. Модификационная изменчивость не безгранична. Границы, внутри которых могут происходить модификационные изменения, носят название «*норма реакции*», эти границы заложены в генотипе и передаются по наследству.

10.8 Основные положения клеточной теории

Дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК) — носитель наследственной информации, определяющей все особенности клетки, тканей и целого организма, его онтогенез (от греч. *on* — существо + *γενεση* — происхождение — индивидуальное развитие организма, совокупность последовательных преобразований, претерпеваемых организмом, от оплодотворения клетки до конца жизни) и свойственные организму

нормы реагирования на воздействия среды. ДНК «упакована» белками-гистонами в хромосомы и заключена в ядре клетки.

Сопоставляя компоненты клетки с органами многоклеточного организма, компонентам клетки, постоянным специализированным структурам в составе клеток живых организмов дали название *органойды* или *органеллы*.

Каждый органоид осуществляет определённые функции, жизненно необходимые для клетки. Рибосомы осуществляют синтез белка на основе матричных РНК, везикулы запасают или транспортируют питательные вещества, аппарат Гольджи осуществляет сортировку и преобразование белков, митохондрии являются энергетическими станциями клетки, окисляют органические соединения и используют освобождающуюся при их распаде энергию для синтеза молекул АТФ (аденозинтрифосфат — универсальный аккумулятор и источник энергии для всех биохимических процессов, протекающих в живых системах). Объединяет все клеточные структуры и обеспечивает их взаимодействие *цитоплазма* (греч. — клетка и содержимое) — внутренняя среда клетки, ограниченная клеточной мембраной, отделяющей содержимое любой клетки от внешней среды и обеспечивающей её целостность.

Клеточная теория (1839 г.) является достижением биологии XIX в. Ее основоположник Теодор Шванн (1810–1882 гг.), немецкий цитолог, гистолог и физиолог. Анализ результатов собственных исследований и работ других ученых позволил ему сформулировать положения теории клеточного строения всех организмов, сделать вывод о том, что все живые организмы на Земле состоят из клеток, сходных по строению, химическому составу и функционированию, что говорит о родстве и общем происхождении всех живых организмов на Земле, о единстве органического мира.

Клеточная теория включает следующие основные положения:

1. Клетка — элементарная единица живого, способная к самообновлению, саморегуляции и самовоспроизведению, являющаяся единицей строения, функционирования и развития всех живых организмов.
2. Клетки всех живых организмов сходны по строению, химическому составу и основным проявлениям жизнедеятельности.
3. Размножение клеток происходит путем деления исходной материнской клетки.
4. В многоклеточном организме клетки специализируются по функциям и образуют ткани, из которых построены органы и их системы, связанные между собой межклеточными, гуморальными (осуществляемыми через жидкие среды организма (кровь, лимфу) с помощью гормонов) и нервными формами регуляции.



.....
Клеточная теория — это одно из крупных биологических обобщений, утверждающее общность происхождения и единство принципа строения и развития всех живых организмов.

Жизненный цикл клетки — это период ее жизни от деления до деления.

.....

Каждая клетка — это элементарная живая система. Она дышит — поглощает кислород и выделяет углекислый газ. Она усваивает питательные вещества и выбрасывает отходы. Она трудится. Клетки размножаются путем удвоения своего содержимого с последующим делением пополам. Из одной клетки путем деления получается две, из двух — четыре, и так без конца. Клеточное деление лежит в основе роста, развития и регенерации тканей многоклеточного организма.

Клеточный цикл подразделяют на хромосомный, сопровождающийся точным копированием и распределением генетического материала, и цитоплазматический, состоящий из роста клетки и последующего цитокинеза — деления клетки после удвоения других клеточных компонентов.

Размеры клеток изменяются в пределах от 0,1 мкм (бактерии) до 15,5 см (яйцо страуса). Клетки существуют как самостоятельные организмы (простейшие, бактерии) и в составе многоклеточных организмов. У человека в организме новорожденного ребенка содержится около $2 \cdot 10^{12}$ клеток.

Клетки, составляющие наши органы, постоянно изменяются, растут, отмирают, заменяются новыми. Отжившие клетки выбрасываются из организма. Так, через каждые 4–5 месяцев полностью обновляются клетки крови. А клетки, выстилающие кишечник, живут только 24 часа. В организме непрерывно совершается колоссальная работа по его обновлению, замене отживших частей новыми.

Эукариоты и прокариоты



.....
Эукариотами (от греч. — хорошее ядро) называют организмы, обладающие клетками с оформленным клеточным ядром. Генетический аппарат всех эукариот находится в ядре и защищён ядерной оболочкой.

Прокариоты (от греч. — вместо и ядро), или доядерные, — одноклеточные живые организмы, не обладающие (в отличие от эукариот) клетками с оформленным клеточным ядром, типичным хромосомным аппаратом и другими внутренними мембранными органоидами.

.....

Для клеток прокариот характерно отсутствие ядерной оболочки, ДНК упакована без участия гистонов.

К прокариотам относятся бактерии (от греч. «палочка»), хотя форма клетки может быть и шаровидной, и извитой. Бактерии участвуют в круговороте веществ в природе, могут быть полезными, могут быть болезнетворными. Прокариоты распространены везде, они способны существовать в таких условиях, при которых другие организмы не встречаются. Например, некоторые виды обитают в горячих источниках, температура воды которых достигает $+90^{\circ}\text{C}$. Клетки бактерий обнаружены в нефтеносных пластах на глубине нескольких километров в глубине Земли.

10.9 Ткани живых организмов



.....
Ткани — системы клеток и межклеточных структур, обладающие общностью строения и выполняющие определенные сходные функции.

Благодаря тканевому разделению труда обеспечивается успешное выполнение различных функций многоклеточного организма. У животных обычно различают ткани эпителиальные, соединительные, мышечные и нервную.



.....
Эпителиальные ткани, или эпителии, — пограничные ткани, которые располагаются на границе с внешней средой, покрывают поверхность тела и слизистых оболочек внутренних органов, выстилают его полости и образуют большинство желез.

Эпителий не содержит кровеносных сосудов. Питание осуществляется диффузно со стороны подлежащей соединительной ткани. Эпителиям присуща высокая способность к регенерации.

Функции эпителия — защитная, всасывающая и секреторная (выделяет вещества — секреты, которые либо выводятся во внешнюю среду, либо поступают в кровь и лимфу (гормоны)). Способность клеток вырабатывать и выделять вещества, необходимые для жизнедеятельности организма, называется *секрецией*.

Соединительная ткань присутствует в организме в четырех видах — волокнистом (связки), твёрдом (кости), гелеобразном (хрящи) и жидком (кровь, лимфа, а также межклеточная, спинномозговая и прочие жидкости).

Соединительная ткань не отвечает непосредственно за работу какого-либо органа или системы органов. Она играет вспомогательную роль во всех органах и определяет целостность живого организма: целостность морфологическую (внешнее строение (форма, структура, цвет) и внутреннее строение) и функциональную (динамическую: осанка, походка, артикуляция, жестикуляция, мимика, голос, речь). Для неё характерны универсальность и высокая способность к адаптации.

Мышечные ткани

Мышечные ткани обладают способностью к сокращению. Мышечные ткани обеспечивают перемещения в пространстве организма в целом и движение органов внутри организма (сердце, язык, кишечник и др.).

Гладкая мышечная ткань входит в состав стенок внутренних органов: кровеносных и лимфатических сосудов, пищеварительного тракта, вызывает сокращение стенки желудка и кишечника. Эта мышечная ткань медленно сокращается и расслабляется. Ее деятельность является непроизвольной, то есть не управляется по воле человека. Эта ткань обеспечивает работу кровеносных сосудов и внутренних органов, например желудка, кишечника, бронхов, то есть органов, работающих

помимо нашей воли, автоматически. С помощью гладких мышц изменяются размеры зрачка, кривизна хрусталика глаза и т. п.

Нервная ткань состоит из нервных клеток — нейронов и клеток нейроглии. Кроме того, она содержит рецепторные клетки — специализированные клетки, изменяющие свой электрический потенциал под действием сигнала внешнего раздражителя и преобразующие воспринимаемое раздражение в электрические нервные импульсы. Сигналы передаются по нервным клеткам в виде электрических импульсов.

Нервная ткань осуществляет связь организма с окружающей средой, обеспечивает взаимодействие тканей, органов и систем организма и их регуляцию.

Чувствительные нервные волокна охватывают сеть все внутренние органы, кровеносные сосуды, обеспечивая рефлекторную взаимосвязь между ними. Нервные ткани обеспечивают согласованную работу всего живого организма.

10.10 Органная организация тканей

Совокупности различных взаимодействующих тканей образуют органы. Это следующая по сложности иерархическая система.



.....
Орган (др.-греч. *инструмент*) — обособленная совокупность различных типов клеток и тканей, выполняющая определённую физиологическую функцию в живом организме.

Органная организация клеток и тканей характерна для животных и для высших растений. Орган представляет собой функциональную единицу в пределах организма, обособленную от других функциональных единиц данного организма. Организм человека состоит из органов. Сердце, легкие, почки, руки, глаза — все это органы, т. е. части организма, выполняющие определенные функции.

Органы связаны в своих физиологических функциях между собой таким образом, что наблюдается их объединение в физиологические системы органов.

В организме человека выделяют десять основных физиологических систем: покровную, опорно-двигательную, пищеварительную, кровеносную, лимфатическую, дыхательную, выделительную, репродуктивную, эндокринную, нервную.

Крупнейшей по размеру системой органов является *покровная система*. Она состоит из кожи и слизистых оболочек, выстилающих полости внутренних органов, дыхательных путей, пищеварительного тракта и предохраняет организм от высыхания, температурных колебаний, повреждения, проникновения в организм ядовитых веществ и болезнетворных микроорганизмов. Покровная система через кожу связана со всеми системами органов в организме человека.

Опорно-двигательная система состоит из скелета и прикрепленных к нему мышц. Мышцы вместе с костями скелета приводят в движение все наше тело, поднимают и растягивают грудную клетку при дыхании, проталкивают пищу по пищеводу, сжимается и разжимается сердечная мышца, заставляя кровь двигаться по сосудам. Опорно-двигательная система человека позволяет ему стоять, двигаться,

выполнять сложную работу, защищает внутренние органы от повреждения (на сжатие кости взрослого человека в 4–5 раз прочнее железобетона, а при растяжении на разрыв крепче дуба). Полагают, что название «мышца», «мускул» произошло от латинского слова «мышь», т. к. сокращения мышц действительно напоминают бегание мышки под кожей.

Пищеварительная система состоит из пищеварительного тракта (ротовой полости, глотки, пищевода, желудка и кишечника) и пищеварительных желез: слюнных, желез желудка и кишечника, поджелудочной железы, печени. Пищеварительная система обеспечивает организм необходимой энергией и строительным материалом для восстановления и обновления клеток и тканей, постоянно разрушающихся в процессе жизнедеятельности.

Кровеносная система включает в себя сердце, магистральные вены и артерии, отходящие от них сосуды и капилляры, которые пронизывают собой все ткани тела и доходят до каждой клетки. Эта система обеспечивает транспортировку кислорода и питательных веществ ко всем клеткам тела и обратную транспортировку продуктов их обмена к почкам и лёгким, снабжает органы нашего тела питательными веществами и кислородом, выносит из них углекислый газ и другие ненужные продукты жизнедеятельности, выполняет защитную функцию, участвуя в иммунитете.

Сердце работает как насос, обеспечивая подачу крови ко всем тканям и органам. За одну минуту оно перекачивает 4–5 литров крови, а при тяжелой физической работе может перекачивать до 25 литров за минуту.

Лимфатическая система — часть сосудистой системы у позвоночных животных и человека, дополняющая сердечно-сосудистую систему. Она играет важную роль в обмене веществ и очищении клеток и тканей организма и борьбе с инфекционными заболеваниями.

Дыхательная система состоит из дыхательных путей (носовой полости, носоглотки, глотки, гортани, трахеи и бронхов) и дыхательной части — легких. В организме нет запаса кислорода, кислород должен непрерывно поступать в организм через дыхательную систему. Дышат все живые организмы — растения, животные, человек. Каждой клетке организма необходим кислород. В основе получения животными энергии, необходимой для их жизнедеятельности, лежит процесс, подобный тому, что происходит при сжигании дров в печи — окисление органического вещества. Процесс окисления может и не сопровождаться образованием огня. Органическое вещество в клетках «сгорает» постепенно, и выделившаяся энергия легко ими усваивается. Именно для этого животным и необходим кислород.

Функция дыхательной системы — обеспечение газообмена между внешней средой и организмом.



.....
Газообмен — обмен газов между организмом и внешней средой, то есть дыхание.

Из окружающей среды в организм непрерывно поступает кислород, который потребляется всеми клетками, органами и тканями; из организма выделяются образующийся в нём углекислый газ и незначительное количество других газообразных продуктов метаболизма. Газообмен необходим для всех организмов, без

него невозможен нормальный обмен веществ и энергии, а, следовательно, и сама жизнь. Кроме того, дыхательная система участвует в таких важных функциях, как терморегуляция, голосообразование, обоняние, увлажнение вдыхаемого воздуха.

Выделительная, или экскреторная, система — совокупность органов, выводящих из организма избыток воды, продукты обмена веществ, соли, а также ядовитые вещества, попавшие в организм извне или образовавшиеся в нём. Выделительную систему человека часто называют «мочевыделительной», выделяя основной орган — почки, отфильтровывающие отходы из крови. Но в выделительную систему входят также кожа — один из самых больших органов тела и легкие. Таким образом, выделительная система человека складывается из «подсистем» — мочевыделительной, легких и кожи. Четкая и непрерывная работа этих «подсистем» обеспечивает выведение из организма продуктов метаболизма, ненужных и вредных веществ.

Репродуктивная система — комплекс органов и систем, способствующих воспроизводству, а также вырабатывающих гормоны, участвующие в регуляции роста организма и его физиологических отправлениях.

Нервная система делится на центральную, представленную спинным и головным мозгом, и периферическую, которая включает нервные узлы и нервы, идущие от центральной нервной системы ко всем органам и участкам тела. Нервная система отвечает за слаженную и согласованную работу всех органов и систем организма. Она осуществляет связь организма с внешней средой, благодаря чему мы чувствуем различные изменения в окружающей среде и реагируем на них. Импульсы, идущие от внешних органов чувств, возбуждают мозг, который реагирует на них таким образом, что посылает сигналы к двигательным эффекторам, приводящим в действие соответствующие группы мышц.

Эндокринная система представлена железами внутренней секреции, осуществляющими синтез, накопление и высвобождение в кровотоке различных биологически активных веществ (гормонов). Принимает участие в регуляции и координации деятельности всех органов и систем. Обеспечивает сохранение гомеостаза (способности открытой системы сохранять постоянство своего внутреннего состояния) организма при меняющихся условиях внешней среды. Совместно с нервной и иммунной системами регулирует: рост; развитие организма; его репродуктивную функцию; принимает участие в процессах образования, использования и сохранения энергии, в обеспечении эмоциональных реакций и психической деятельности человека.

Существующая иерархическая организация биологических систем приводит к тому, что биологические системы оказываются организованными согласно определенной иерархии, от простого к сложному: биополимеры — клетки — ткани — органы — организмы — популяции — виды. Эта иерархия четко просматривается как на внутриклеточном (например, ген — ДНК — ядро), так и внеклеточном уровне. Следующей по сложности системой, образующейся из органов, является организм.

10.11 Организменная организация биологических систем



.....
Организм — это совокупность органов как единая работоспособная система.

Организмы распределяют по царствам, хотя, в целом, учёные ещё не пришли к единому выводу относительно того, каким образом это следует делать.

Предлагается, например, все живые организмы на Земле поделить на две группы — надцарство прокариот и надцарство эукариот.

К надцарству прокариот относятся три царства: царство эубактерий (настоящих бактерий), царство архебактерий (древних бактерий), царство цианобактерий (цианей, сине-зелёных водорослей).

К надцарству эукариот относятся также три царства: царство растений, царство животных, царство грибов.

Главное отличие. У прокариот нет ядра, кольцевая ДНК (кольцевая хромосома) расположена прямо в цитоплазме (этот участок цитоплазмы называется нуклеоид). У эукариот есть оформленное ядро (наследственная информация (ДНК) отделена от цитоплазмы ядерной оболочкой).

Сходство. Клетки всех живых организмов (всех царств живой природы) содержат плазматическую мембрану, цитоплазму и рибосомы (органоиды, синтезирующие белки).

10.11.1 Надцарство прокариот

Бактерии не имеют оформленного клеточного ядра, поэтому их объединяют в одно надцарство, называемое надцарством прокариот (от лат: *pro* — до, перед и *karyon* — ядро). В надцарство прокариот входят: настоящие бактерии (эубактерии), цианобактерии (сине-зелёные водоросли) и археобактерии. Все они являются одноклеточными организмами, которые существуют как в виде отдельных особей, так и в виде колоний.

Поскольку они действуют на атомном уровне обмена с окружающей средой, то имеют микроскопические размеры. Клетка прокариот гораздо меньше клетки эукариот: по диаметру в 10 раз, по объёму — в 1000 раз.

Сколько всего бактерий существует на планете, не поддаётся счёту. В 1 г почвы их содержится до 100 миллионов, а в 1 см³ молока — до 3 миллиардов.

Бактерии обитают выше всех и ниже всех, при самых высоких и самых низких температурах. Первыми заселяют вулканические лавы и пепелища костров, омертвевшие водоёмы и упавшие на Землю метеориты.

В минеральном балансе биосферы особое, уникальное положение занимает химический элемент азот. Величайший парадокс природы состоит в том, что, купаясь в океане азота, будучи повсюду окружена и охвачена им, биосфера в самом начале была обречена на азотное голодание со всеми вытекающими отсюда последствиями для её дальнейшей эволюции. Запасы азота на Земле колоссальны. На долю

этого элемента приходится в настоящее время более 78% от объёма атмосферы. Однако атомы в молекуле азота (N_2) связаны прочной тройной ковалентной связью, из-за чего он практически не вступает в реакции окисления-восстановления в нормальных условиях без применения катализаторов, а это значит, что он совершенно недоступен для высокоорганизованной жизни, не может использоваться растениями и животными.

Выход из этого критического состояния был найден природой на самой заре биологической эволюции. Проблема была решена на биохимическом уровне, в результате появления в клетках некоторых первичных прокариот генетических структур, кодирующих образование фермента нитрогеназы. Этот фермент оказался способным восстанавливать азот до аммиака (NH_3), который затем уже легко превращается в доступные для усвоения первичными продуцентами соли азотной кислоты. Историческая миссия прокариот состояла в том, что они осуществили фиксацию азота, превратили атмосферный азот в доступный для жизни азот в форме солей азотной кислоты. Появление и накопление в природе связанного азота открыло путь к эволюции эукариот — водорослей, грибов, высших растений и животных, что не имело бы никакой перспективы без решения проблемы азотного питания. При этом прокариоты навсегда сохранили за собой монополию по части осуществления азотфиксации, настолько безраздельную, что этот биохимический признак может быть без всяких оговорок включен в перечень принципиальных различий, отделяющих их от мира эукариот, пишет сайт URL: <http://albercul.livejournal.com/265070.html> (дата обращения: 05.05.2015).

Царство зубактерий (настоящих бактерий)

К настоящему времени описано около десяти тысяч видов зубактерий (настоящих бактерий) и предполагается, что их существует свыше миллиона. Подавляющее большинство бактерий одноклеточны. По форме клеток они могут быть округлыми (кокки), палочковидными (бациллы), извитыми (вибрионы, спириллы, спирохеты), реже — звёздчатыми, тетраэдрическими, кубическими, С-образными.

Вся необходимая для жизнедеятельности бактерий генетическая информация содержится в одной ДНК — бактериальной хромосоме, которая представлена обычно в единственном экземпляре, то есть практически все прокариоты гаплоидны.

Древнейшие зубактерии, живущие в бескислородной среде (анаэробно), имеют возраст не менее 3,5 млрд лет. В Гренландии их следы найдены в породах возрастом 3,8 млрд лет.

Царство цианобактерий (цианей, сине-зелёных водорослей)

Цианобактерии (от греч. *κυανός* — сине-зелёный) — значительная группа крупных бактерий, единственных, способных к фотосинтезу с выделением кислорода.

Они составляют значительную долю океанического фитопланктона. Главные участники цветения воды, которое вызывает массовые заморы рыбы и отравления животных и людей.

Уникальное экологическое положение обусловлено наличием двух трудносочетаемых способностей: к фотосинтезу кислорода и фиксации атмосферного азота.

Цианобактерии, по общепринятой версии, явились «творцами» современной кислородсодержащей атмосферы на Земле, что привело к «кислородной катастрофе» — глобальному изменению состава атмосферы Земли, произошедшему в самом начале протерозоя (около 2,4 млрд лет назад). Поскольку подавляющая часть

организмов того времени была анаэробной, неспособной существовать при значимых концентрациях кислорода, произошла глобальная смена сообществ: анаэробные сообщества сменились аэробными. В дальнейшем наличие молекулярного кислорода в атмосфере привело к формированию озонового экрана, существенно расширившего границы биосферы (выход многоклеточных организмов на сушу стал возможен после появления озонового экрана, поглощающего губительное ультрафиолетовое излучение), и к распространению более энергетически выгодного (по сравнению с анаэробным) кислородного дыхания.

В настоящее время, являясь значительной составляющей океанического планктона, цианобактерии стоят в начале большей части пищевых цепей и производят значительную часть кислорода (по оценкам от 20% до 40%).

Царство архебактерий (древних бактерий)

Археи (лат. «древний»). Археи представляют собой одноклеточные микроорганизмы, не имеющие ядра, а также каких-либо мембранных органелл. Археи и бактерии очень похожи по размеру и форме клеток, хотя некоторые археи имеют довольно необычную форму, например бывают плоскими и квадратными.

Многие археобактерии являются термофилами и обитают только в горячих источниках с температурой 90°C и даже выше, где другие организмы попросту погибли бы. Превосходно чувствуя себя в таких условиях, эти одноклеточные организмы потребляют железо и серосодержащие вещества, а также ряд химических соединений, токсичных для других форм жизни. По мнению ученых, найденные термофильные археобактерии являются крайне примитивными организмами и в эволюционном отношении — близкими родственниками самых древних форм жизни на Земле.

Архей много в океанах, и, возможно, планктонные археи являются самой многочисленной группой ныне живущих организмов. В наше время они признаны важной составляющей жизни на Земле и играют роль в круговоротах углерода и азота.

Ни один из известных представителей архей не является паразитом или патогенным организмом. Некоторые представители обитают в пищеварительном тракте человека и жвачных животных, где очень многочисленны и помогают осуществлять пищеварение.

10.11.2 Надцарство эукариот

Царство животных

К животным, помимо млекопитающих, относится огромное множество других организмов: рыбы, птицы, насекомые, паукообразные, моллюски, морские звёзды, и т. д. Человек также относится к царству животных.

В настоящее время учёными описано более 1,6 млн видов животных.

Первые ископаемые остатки животных относятся к концу докембрия (около 610 миллионов лет назад). Классическими признаками животных считаются: гетеротрофность (питание готовыми органическими соединениями) и способность активно передвигаться. По предпочтительному источнику энергии животные делятся на растительноядных, хищных (плотоядных), всеядных и паразитов (поедают живую жертву). Классификация царства животных не является устоявшейся, существует много вариантов.

Подавляющее большинство животных — аэробные организмы (необходим кислород для процессов окисления), но есть и анаэробные организмы.

В отличие от растений большинство животных активно передвигается и не способно к фотосинтезу.

Самыми высокоорганизованными животными являются птицы и млекопитающие. Сейчас на планете Земля насчитывается несколько миллионов видов живых существ, которые отличаются питанием, строением и образом жизни. Однако в чем-то отличаясь, они в чем-то и подобны. Сходство живых организмов позволяет ученым объединять их по степени родства в определенные группы. Этим занимается наука *систематика* (от греч. система — целое, состоящее из частей).

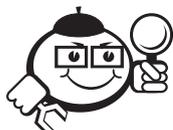
Современная систематика использует много признаков и учитывает родственные связи видов, помогает объединить организмы в систематические группы по принципу их родства. Такую систему называют естественной. Основная структурная единица биологической систематики живых организмов — вид.



.....
Вид — это совокупность особей, имеющих общие признаки, отличающие их от других особей.

Представители одного вида скрещиваются между собой, давая здоровое плодовитое потомство.

Близкие виды объединяются в категорию род, а близкие роды объединяются в категорию семья.



..... **Пример**

Например, к семье Собачьи относятся, кроме рода Собака, род Лиса и род Песец.

Близкие семьи образуют ряды.



..... **Пример**

Так, семья Собачьи вместе с семьями Кошачьи, Куньи и некоторыми другими составляют ряд Хищные.

Ряды объединяются в классы, а классы — в типы.



..... **Пример**

Ряд Хищные относится к классу Млекопитающие, входящему в тип Хордовые.

Наконец, все типы образуют царство Животные.

Царство растений

Древнегреческий философ и учёный Аристотель поместил растения в промежуточное состояние между неодушевлёнными предметами и животными. Он определил растения как живые организмы, которые не способны самостоятельно передвигаться (в противоположность животным). По состоянию на начало 2010 года, по данным Международного союза охраны природы (IUCN), было описано около 320 тысяч видов растений. Несмотря на огромное разнообразие видов, все растения — и низшие, и высшие — по своему строению однотипны.

Клетки растений имеют жёсткую стенку из целлюлозы, внутри клеток содержится хлорофилл, необходимый для фотосинтеза. Углеводы, как правило, запасаются растениями в виде крахмала. Большинство растений не способны к активному движению. Растения служат пищей для всех других живых организмов.

Главное отличие растений от животных и грибов — способность создавать органические вещества из неорганических с помощью солнечного света (процесс фотосинтеза). Почти все они являются автофототрофами. Автотрофы никого не едят, органические вещества вырабатывают сами из неорганических. Автофототрофы энергию для процесса синтеза получают от Солнца и, используя ее, синтезируют органические соединения непосредственно из неорганических ингредиентов, извлекаемых ими из почвы, воды и воздуха.

Растительные клетки включают пластиды — цитоплазматические органоиды, часто содержащие пигменты, обуславливающие окраску растений. В хлоропластах (*chlörós* — зелёный) содержится хлорофилл и осуществляется фотосинтез. Поглощённая энергия фотонов в сложном и многоступенчатом процессе расходуется на расщепление молекул воды H_2O и углекислого газа CO_2 и на дальнейшую постройку из их молекул глюкозы $C_6H_{12}O_6$ и других органических молекул. Биосферная функция растений заключается в том, что они производят основную массу органики на планете. Именно растительные организмы создают ту первичную продукцию экосистем, благодаря которой существуют царства грибов и животных. Существование мира животных, включая человека, было бы невозможно без растений еще и потому, что из всех организмов только растения и фотосинтезирующие бактерии способны аккумулировать энергию Солнца и не только создавать при её посредстве органические вещества из веществ неорганических, но и извлекать при этом из атмосферы углекислый газ CO_2 и выделять кислород O_2 . Именно деятельностью растений была создана атмосфера, содержащая O_2 , и за счет существования растений она поддерживается в состоянии, пригодном для дыхания. Растения влияют на климат, способствуют сохранению влаги, очищают воздух от пыли, задерживают ветер, смягчают зимнюю стужу, ослабляют жару, задерживают снег, укрывают животных. Корни растений скрепляют почву, предохраняя ее от разрушения.

Царство грибов

Грибы объединяют в себе некоторые признаки как растений, так и животных. В царстве грибов насчитывается около 100 тысяч видов организмов, причем предполагается, что реальное число их значительно больше — 250–300 тыс. и более. Обитают они как в воде, так и на суше. Их размеры колеблются от микроскопических одноклеточных организмов (дрожжей) до хорошо знакомых нам лесных красавцев: белых, рыжиков, груздей, подберезовиков, подосиновиков. К грибам

относятся также бесчисленные плесени, слизи, произрастающие на поверхности всяких питательных для них сред. Существует много грибов-паразитов, которые обитают внутри тел живых организмов.

Грибы — симбионты вступают во взаимовыгодные отношения с растениями в форме микоризы (симбиотическая ассоциация гриба с корнями высших растений). При этом гриб получает от растения необходимые ему органические соединения (главным образом углеводы и аминокислоты), в свою очередь снабжая растения неорганическими веществами.

Паразитические грибы выбирают своими хозяевами чаще всего высшие растения, но ими могут быть и животные, а также грибы других видов.

Сапротрофы утилизируют органические фрагменты погибших организмов. Наряду с сапротрофными бактериями составляют необходимое звено в трофической цепи любого биоценоза — блок редуцентов (микроорганизмов, разрушающих отмершие остатки живых существ, превращая их в неорганические и простейшие органические соединения). Некоторые виды грибов продуцируют важные вещества (в том числе антибиотики).

Грибы наряду с бактериями играют важную роль в общем круговороте веществ в биосфере. Разлагая с помощью ферментов органические вещества до простых неорганических соединений, они делают их доступными для автотрофных организмов, участвуют в образовании плодородного слоя почвы — гумуса, выполняют большую санитарную работу по очищению среды.



Выводы

Итак. К надцарству эукариот относятся три царства — растений, животных и грибов.

1. Отличия по питанию.

Растения — автотрофы, т. е. сами делают для себя органические вещества из неорганических (углекислого газа и воды) в процессе фотосинтеза.

Животные и грибы — гетеротрофы, т. е. готовые органические вещества получают с пищей.

2. Рост или передвижение.

Животные способны передвигаться, растут только до начала размножения.

Растения и грибы не передвигаются, но неограниченно растут в течение всей жизни.

3. Отличия по строению и работе клетки.

- Только у растений есть пластиды (хлоропласты, лейкопласты, хромопласты).
- Только у растений есть крупная центральная вакуоль (органонд, выполняющий различные функции), которая занимает большую часть взрослой клетки (оболочка этой вакуоли называется тонопласт, а содержимое — клеточный сок).
- Только у животных нет клеточной стенки (плотной оболочки), у растений она есть из целлюлозы (клетчатки), а у грибов — из хитина.
- Запасной углеводов у растений — крахмал, а у животных и грибов — гликоген.

10.12 Онтогенез



.....
Онтогенез (индивидуальное развитие) — процесс развития организма с момента зарождения до конца жизни.

Индивидуальное развитие — онтогенез подразделяют на два этапа:

- 1) эмбриональный — период с момента образования зиготы до рождения или выхода организма из яйцевых оболочек;
- 2) постэмбриональный — период, завершающийся гибелью организма.

10.12.1 Эмбриональный период развития

Зарождение нового организма начинается с момента оплодотворения, т. е. слияния мужской и женской половых клеток, или гамет, и образования одной клетки, зиготы (от греч. зиготес — соединен вместе), которая сразу начинает делиться.

В каждой половой клетке, гамете, содержится лишь половина генетического аппарата, содержатся одинарные (гаплоидные) наборы хромосом. При оплодотворении отцовские и материнские хромосомы соединяются в одном ядре, восстанавливая нормальное двойное (диплоидное) их количество, из двух половинок генетических материалов (одна принадлежит женской, вторая — мужской клетке) в зиготе возникает один целый генетический набор.

Биологический смысл оплодотворения состоит в обмене генетической информацией между животными одной популяции, т. к. каждый новый организм сочетает в себе наследственные признаки обоих родителей.

Вследствие многократных клеточных делений зигота постепенно превращается в зародыш, из которого формируется существо, способное самостоятельно жить в окружающей среде.



.....
 Каждая клетка при делениях получает полный набор генов, но в каждой ткани функционирует только «своя» часть генов, обеспечивая синтез белков, свойственных данной ткани.

Период развития зародыша называют эмбриональным развитием, или эмбриогенезом (от греч. эмбрион — зародыш и генезис — происхождение, возникновение).

Ранние зародыши разных животных больше похожи друг на друга, чем взрослые организмы, т. к. эволюционные изменения в большей степени затрагивали поздние стадии индивидуального развития. Таким образом, ход эмбриогенеза, в некоторой степени, напоминает ход эволюции.

На рисунке 10.1 представлены последовательные стадии развития зародыша рыбы (а), курицы (б), свиньи (в), человека (г).

Зародыши всех без исключения позвоночных животных имеют на ранних стадиях развития жаберные щели, двухкамерное сердце и другие признаки, характер-

ные для рыб. Например, птичий зародыш в первые дни насиживания представляет собой хвостатое рыбообразное существо с жаберными щелями. На этой стадии будущий птенец обнаруживает сходство и с низшими рыбами, и с личинками амфибий, и с ранними стадиями развития других позвоночных животных, в том числе и человека.

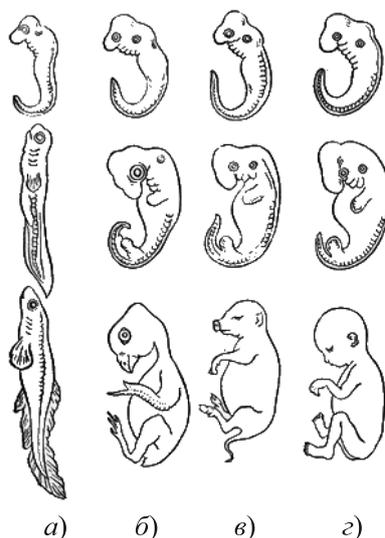


Рис. 10.1 – Последовательные стадии развития зародыша: рыбы (а), курицы (б), свиньи (в), человека (г)



.....
Основной биогенетический закон, или закон Дарвина–Мюллера–Геккеля: каждое живое существо в своем индивидуальном развитии (онтогенез) повторяет в известной степени формы, пройденные его предками или его видом (филогенез).

Чарльз Роберт Дарвин (1809–1882 гг.) — английский натуралист и путешественник, одним из первых осознал и наглядно продемонстрировал, что все виды живых организмов эволюционируют во времени от общих предков. Иоганн Петер Мюллер (1801–1858 гг.) — немецкий естествоиспытатель, биолог. Эрнст Генрих Филипп Август Геккель (1834–1919 гг.) — немецкий естествоиспытатель.

Развитие эволюционной идеи позволило объяснить сходство ранних зародышей их историческим родством, а приобретение ими все более частных черт с постепенным обособлением друг от друга — действительным обособлением соответствующих классов, отрядов, семейств, родов и видов в процессе эволюции.

Чарльз Дарвин дал этим фактам последовательное естественно историческое объяснение, установив, что стадии развития зародышей воспроизводят древние предковые формы. Он рассматривал это как фундаментальную закономерность эволюции органического мира. Теория естественного отбора позволила Дарвину объяснить противоречивое сочетание целесообразности строения организмов с повторением у зародыша признаков далёких предков.

10.12.2 Период постэмбрионального развития

Период постэмбрионального развития — это послезародышевое развитие, период онтогенеза многоклеточных животных, следующий за периодом зародышевого развития. Начинается от рождения (вылупления) и заканчивается обычно с началом размножения, с наступлением половой зрелости и (у большинства животных) прекращением роста. Постэмбриональное развитие начинается после выхода зародыша из яйцевых и зародышевых оболочек. В этот период организм уже способен к самостоятельному существованию, к активному питанию и перемещению. Постепенно происходят половое созревание, старение и т. д.

Постэмбриональное развитие может быть двух типов: прямое и с метаморфозом.

Прямое постэмбриональное развитие — родившийся организм отличается от материнской особи размерами и недоразвитыми некоторыми органами, т. е. является уменьшенной копией родителей, и кажется, что все развитие животного — только увеличение размеров его тела. Типичный пример простого жизненного цикла — развитие человека от младенца до взрослого индивида.

Непрямое (с превращением, с метаморфозом) постэмбриональное развитие — родившийся организм совершенно не похож на родительский. Появляется существо, которое по внешнему и внутреннему строению сильно отличается от материнской особи и ведет другой образ жизни. Такой тип развития наблюдается, например, у бабочек, чьи личинки — гусеницы — даже не напоминают взрослых насекомых, или у лягушек, личинки которых — головастики — больше похожи на рыбок, чем на своих родителей. На определенном этапе личинка превращается во взрослую особь и уже совсем не отличается от родителей. Преимущество непрямого развития состоит в том, что родители и дети не конкурируют друг с другом за пищу и территорию.

Следующий за организменным уровень организации органических материальных систем *популяционный*.

10.13 Популяция



.....
Популяция (лат. население) — совокупность особей одного вида, занимающих определенный ареал, свободно скрещивающихся друг с другом, дающих плодовитое потомство, имеющих общее происхождение, генетическую основу и в той или иной степени изолированных от других популяций данного вида.



.....
 Все преобразования в живом мире происходят в популяции. Там организмы скрещиваются, получают новые признаки, ведут борьбу за существование и отбираются естественным отбором. Изменяясь как целое, именно популяция является простейшим элементом эволюционного процесса изменений форм жизни на Земле.

Отдельно взятый организм не может являться единицей эволюции. Эволюция происходит только в группе особей. Генотип каждого конкретного организма на протяжении всей его жизни остается неизменным. Популяция благодаря большой численности особей представляет собой непрерывный поток поколений и в силу мутационной изменчивости — разнородную (гетерогенную) смесь различных генотипов.



.....
Генофонд — совокупность генотипов всех особей популяции — основа микроэволюционных процессов в природе.

Поскольку ресурсы среды ограничены, в популяциях действуют законы, по которым ресурсы используются так, чтобы обеспечить самовоспроизводство.

Популяции многих видов обладают свойствами, позволяющими им регулировать свою численность. В наиболее простых случаях внутривидовые регуляторные механизмы численности проявляются в виде непосредственной конкуренции за необходимые для жизни ресурсы, количество которых недостаточно для удовлетворения потребностей всех особей.

Длительное устойчивое существование популяции зависит от численности особей в ней. Однако численность для каждого вида различна, например, численность популяции африканского слона может быть в несколько десятков особей, а атлантической сельди — в несколько тысяч.



.....
Гомеостаз популяции — поддержание оптимальной в данных условиях численности.

Пространственная структура популяции определяет характер размещения и распределения отдельных членов популяции и их группировок в ареале. Она различается у оседлых и кочующих или мигрирующих животных.

Этологическая, поведенческая (др.-греч. $\eta\theta\omicron\zeta$ — нравы, характер, привычка, обычай) структура популяции отражает разнообразные формы совместного существования особей. Относительно одиночный образ жизни в природе достаточно редок. Жизнь в группе (семья, стая, стадо, колония) через нервную и гормональную системы отражается на протекании многих физиологических процессов в организме животного. У изолированных особей заметно меняется уровень метаболизма, быстрее тратятся резервные вещества, не проявляется целый ряд инстинктов и ухудшается общая жизнеспособность.

Однако положительный эффект группы проявляется лишь до некоторого оптимального уровня плотности популяции. Если животных становится слишком много, это грозит для всех недостатком ресурсов среды. Тогда вступают в действие другие механизмы, приводящие к снижению численности особей в группе путем ее деления, рассредоточения или падения рождаемости.

Половая структура популяции. Генетический механизм определения пола обеспечивает расщепление потомства по полу в отношении примерно 1:1. Но по

причине разной жизнеспособности мужского и женского организмов соотношение 1:1 меняется с изменением возраста. Так, у человека рождается 100 девочек на 106 мальчиков, к 16–18 годам это соотношение выравнивается, к 50 годам составляет 85 мужчин на 100 женщин, а к 80 годам — 50 мужчин на 100 женщин.

Возрастная структура популяции — важнейшая характеристика популяции. Обычно выделяют три возраста: предрепродуктивный, репродуктивный и пострепродуктивный. Обычно в быстро растущей популяции велика доля молодежи, а в популяции, численность которой сокращается, велика доля взрослых и стареющих особей.

10.13.1 Популяционные волны или волны жизни



.....
Популяционные волны, или волны жизни, — периодические либо непериодические колебания численности особей организмов в природных популяциях.

У быстро размножающихся видов наблюдается периодическое чередование быстрых подъемов численности и резких спадов.



..... **Пример**

Так, период колебаний численности у белок — 8–11 лет, у мышевидных грызунов — около 10 лет, бабочки-капустницы — 10–12 лет, зайца-беляка — 9–10 лет, саранчи — около 11 лет. При этом, например, численность зайца-беляка может возрасти в 2500 раз, отдельных насекомых в 10 000 раз, численность майских жуков может увеличиваться в миллион раз, сибирского шелкопряда — в 12 миллионов раз. Важную роль играют хищники, численность которых колеблется пропорционально численности грызунов.

.....

Также важной причиной популяционных волн является постепенное истощение пищевых ресурсов в связи с ростом популяции и последующее их восстановление после снижения численности популяции. Причинами резких непериодических снижений численности популяции могут также быть стихийные бедствия: засухи, пожары, наводнения.

Популяционные волны играют большую роль в ходе микроэволюции (распространении в популяции малых изменений в частотах аллелей на протяжении нескольких поколений). Частота аллеля — его доля среди всех имеющихся аллелей. С возрастанием численности популяции увеличивается вероятность появления новых мутаций и их комбинаций. Если в среднем один мутант появляется на 10 тыс. особей, то при возрастании численности популяции в 100 раз общее число мутантов увеличится во столько же раз. После спада волны численности генофонд популяции может уже оказаться иным: часть мутаций может случайно исчезнуть

из-за гибели несущих их особей, а частота встречаемости других мутаций может повыситься. Таким образом, популяционные волны сами по себе не вызывают наследственную изменчивость, но способствуют изменению частот аллелей — доли данного аллеля среди всех имеющихся аллелей и генотипов. Являясь эффективным фактором преодоления генетической инертности природных популяций, они служат поставщиком исходного материала для действия естественного отбора.

Волны жизни имеют большое эволюционное значение как один из эволюционных факторов синтетической теории эволюции наряду с изоляцией, мутациями и естественным отбором. Популяционные волны и изоляция являются факторами эволюции, присутствующими в синтетической теории эволюции, но отсутствующими в *теории Чарльза Дарвина*, по которой изменчивость, наследственность и естественный отбор привели к поражающему ныне многообразию видов живых организмов.

10.13.2 Изоляция

В генетике популяций изоляцией называют исключение или затруднение свободного скрещивания между особями одного вида.

Виды изоляции

Географическая — между популяциями имеется непреодолимая преграда — гора, река или очень большое расстояние (возникает при быстром расширении ареала). Например, лиственница сибирская (в Сибири) и лиственница даурская (на Дальнем Востоке).

Экологическая (биологическая) — две популяции живут на одной территории (внутри одного ареала), но не могут скрещиваться. Так, разные популяции форелей живут в озере Севан, но нереститься уходят в разные реки, впадающие в это озеро.

10.13.3 Мутации

Передача генетического материала от родителей потомству происходит очень точно, иначе виды сохраниться не могут. Однако иногда случаются количественные или качественные изменения в ДНК, и дочерние клетки получают искаженный по сравнению с родительскими набор генов. Такие ошибки в наследственном материале передаются следующему поколению и называются мутациями.

Значительная часть возникающих мутаций снижает жизнеспособность особей по сравнению с исходной нормой. Однако при переходе в гетерозиготное состояние многие мутации не только не снижают жизнеспособность несущих их особей, но и в некоторых случаях даже повышают ее. Эта особенность мутаций хорошо известна в практике животноводства и растениеводства: часто две мутантные формы, мало жизнеспособные порознь, объединенные в потомстве, обладают ценными хозяйственными свойствами.

Как показали опыты биолога, генетика Николая Владимировича Тимофеева-Ресовского (1900–1981 гг.), жизнеспособность одних и тех же мутаций зависит от того, в комбинации с какими аллелями других генов они оказываются. В зависимости от генного окружения («генотипической среды») жизнеспособность одной и той же мутации может изменяться.

Небольшой процент мутаций с самого начала может принести в конкретных условиях не вред, а пользу для особи.

Мутации и комбинации создают наследственное разнообразие (генетическую неоднородность популяции), поставляют материал для естественного отбора. Чем сильнее идёт мутационный процесс, тем больше эффективность естественного отбора. Чем больше в популяции различных мутаций (чем выше гетерозиготность популяции), тем быстрее идёт эволюция. Мутационная изменчивость — основа эволюционного процесса.

10.13.4 Естественный отбор



.....
***Естественный отбор** — основной эволюционный процесс, в результате действия которого в популяции увеличивается число особей, обладающих максимальной приспособленностью (наиболее благоприятными признаками), в то время, как количество особей с неблагоприятными признаками уменьшается.*

Современная синтетическая теория эволюции естественный отбор рассматривает как главную причину развития возможности адаптаций (процессов приспособления к изменяющимся условиям внешней среды), видообразования и происхождения надвидовых таксонов (таксон-группа в классификации). Пример последовательности соподчиненных таксонов для вида *Homo sapiens*: Царство — животные, Класс — млекопитающие, Отряд — приматы, Род — человек, Вид — человек разумный.

Естественный отбор — это главный, ведущий, направляющий фактор эволюции, лежащий в основе теории Чарльза Дарвина. Все остальные факторы эволюции случайны, один лишь естественный отбор имеет направление в сторону приспособления организмов к условиям среды. Естественный отбор обеспечивает избирательное выживание и размножение наиболее приспособленных организмов. Выбирая полезные признаки, естественный отбор создает новые виды.

Следствия естественного отбора: эволюция (изменение, усложнение организмов), приспособленность организмов к условиям окружающей среды, возникновение новых видов (увеличение количества, многообразия видов).

Следующий по сложности за популяционным уровень организации органических материальных систем *видовый*.

10.14 Видовый уровень организации органических материальных систем



.....
***Вид** — совокупность особей, сходных по критериям вида до такой степени, что они могут в естественных условиях скрещиваться и давать плодовитое потомство.*

Плодовитое потомство — то, которое само может размножаться. Пример неплодовитого потомства — мул (гибрид осла и лошади), он бесплоден.

Итак, популяция — это совокупность особей одного вида длительно проживающих в определенной части ареала. Внутри популяции скрещивание свободное, между популяциями скрещивание ограничено.



.....
Дивергенция (расхождение) — это накопление различий между популяциями.

Причины:

1. Популяции живут в разных местах, следовательно, в разных условиях. Естественный отбор приспособливает каждую популяцию к своим условиям.
2. Материалом для естественного отбора являются мутации, а они случайны, следовательно, в каждой популяции свои.
3. Репродуктивная изоляция — невозможность скрещивания.

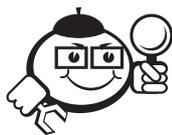
Между популяциями одного вида имеется относительная изоляция. Если изоляция между популяциями станет абсолютной, то различия между ними будут постепенно накапливаться и две популяции превратятся в два разных вида, т. е. произойдет видообразование. Изоляция обеспечивает эволюционный процесс, как только возникает репродуктивная изоляция, можно говорить о возникновении нового вида.



.....
Критерии вида — это признаки, по которым сравнивают два организма, чтобы определить, относятся они к одному виду или к разным.

1. Морфологический — внутреннее и внешнее строение.
2. Физиолого-биохимический — как работают органы и клетки.
3. Поведенческий — поведение, особенно в момент размножения.
4. Экологический — совокупность факторов внешней среды, необходимых для жизни вида.
5. Географический — ареал, т. е. территория, на которой живет данный вид.
6. Генетико-репродуктивный — сходство по количеству и строению хромосом, позволяющее организмам давать плодовитое потомство.

Среди критериев вида нет ни одного, который можно было бы использовать как единственный абсолютный видовой критерий. По одному критерию нельзя судить о виде.



Пример

Вопрос: почему не дает потомства мул (и лошак)? Лошадь и осел — разные виды по генетико-репродуктивному признаку. Набор хромосом у них разный: у лошади их 64, а осла — 62. Мул (и лошак) берут 32 хромосомы лошадиных и 31 — ослиную. Получается, что у гибрида хромосом 63. Это число нечетное. Такому набору хромосом невозможно разделиться попарно, чтобы «запустить» процесс размножения. Нормальных пар хромосом и нормального обмена частями генома не получается. Из-за нечетного количества хромосом в клетках процесс деления и образования половых клеток «стопорится». Поэтому и мул, и лошак — стерильны.

Популяции — это генетические открытые системы, т. к. особи из разных популяций иногда скрещиваются. Виды являются наименьшими генетически закрытыми системами.

Иерархическая организация природных биологических систем: «биополимеры — клетки — ткани — органы — организмы — популяции — виды» развивается далее как иерархическая организация природных экологических систем: «особь — популяция — вид — биоценоз — биогеоценоз — биосфера». За видом в иерархической организации природных биологических систем следует биоценоз.

10.15 Биоценоз



Биоценоз (от греч. βίος — жизнь и κοινός — общий) — совокупность животных, растений, грибов и микроорганизмов, населяющих данный участок суши или воды и связанных между собой и с окружающей их средой.

Биоценоз представлен популяциями разных видов. По участию в биогенном круговороте веществ в биоценозе различают три группы организмов: продуценты, консументы, редуценты.



Продуценты (от лат. *producentis* — производящий) — автотрофные организмы, создающие органические вещества из неорганических.

Основные продуценты во всех биоценозах — зелёные растения, осуществляющие фотосинтез, и некоторые виды бактерий-хемотрофов, способных на чисто химический синтез органики без солнечного света (хемосинтез). Продуценты — 1-ое звено пищевой цепи. Деятельность продуцентов определяет исходное накопление органических веществ в биоценозе.



.....
Консументы (лат. *consume* — потреблять) — гетеротрофные организмы, потребляющие готовые органические вещества, создаваемые автотрофами (продуцентами).

В ходе потребления не доводят разложение органических веществ до простых минеральных составляющих (это делают редуценты).

Среди консументов находятся фитофаги, зоофаги (питающиеся животными) и фитозоофаги (питающиеся растениями и животными).

Консументы первого порядка — растительноядные животные, а также паразитические бактерии, грибы и другие бесхлорофильные растения, развивающиеся за счёт живых растений. Консументы второго порядка — хищники и паразиты растительноядных организмов. Бывают консументы третьего и четвертого порядков (сверхпаразиты, суперпаразиты и т. п.), но всего в цепях питания не более пяти звеньев. На каждом последующем трофическом уровне количество биомассы (совокупной массы растительных и животных организмов) резко снижается.

У консументов может быть несколько видов пищи (источников энергии), поэтому их и разделили в зависимости от потребляемой пищи: консументы первого порядка — травоядные (гусеница), второго — те, кто ест консументов первого (небольшая птица), третьего — те, кто ест консументов второго порядка (хищная птица), и так далее. Продуценты не подразделяются на порядки, потому что они никого не поедают, используя для производства всех необходимых для жизни органических веществ воду, солнечный свет и минеральные соли.

Цепь: зеленое растение → кузнечик → лягушка → змея → хищная птица. Продуцент — зеленое растение. Консумент первого порядка — кузнечик. Консумент второго порядка — лягушка. Консумент третьего порядка — змея. Консумент четвертого порядка — хищная птица.

Деятельность консументов способствует превращениям и перемещениям органических веществ в биоценозе, частичной их минерализации, а также рассеянию энергии, накопленной продуцентами.



.....
Редуценты (лат. *reductio* — восстанавливать) — организмы-гетеротрофы, микроорганизмы, бактерии, грибы, разрушающие отмершие остатки живых существ, превращающие их в неорганические и простейшие органические соединения (CO_2 , H_2O , NH_3 и др.).

Редуценты возвращают минеральные соли в почву и воду, делая их доступными для усвоения продуцентами-автотрофами, и таким образом замыкают биотический круговорот.

Экосистемы не могут обходиться без редуцентов (в отличие от консументов, которые, вероятно, отсутствовали в экосистемах в течение первых 2 млрд лет эволюции, когда экосистемы состояли из одних прокариот).



.....
Биомасса (биоматерия) — совокупная масса растительных и животных организмов, присутствующих в биоценозе определённого размера.

Биомасса — пятый по производительности возобновимый источник энергии после солнечной, ветровой, гидро- и геотермальной энергии. Ежегодно на земле образуется около 170 млрд тонн первичной биологической массы и приблизительно тот же объём разрушается. Биомасса — крупнейший по использованию в мировом хозяйстве возобновляемый ресурс. Она применяется для производства тепла, электроэнергии, биотоплива, биогаза (метана, водорода). Основная часть топливной биомассы (до 80%) — это прежде всего древесина, употребляется для обогрева жилищ и приготовления пищи в развивающихся странах.

В настоящее время европейские страны проводят эксперименты по выращиванию энергетических лесов для производства биомассы. На больших плантациях выращиваются быстрорастущие деревья: тополь, акация, эвкалипт и другие. Период ротации энергетического леса — 6–7 лет.

10.16 Биогеоценоз

Биоценоз — функциональная часть более сложной системы — биогеоценоза.



.....
Биогеоценоз — сообщество организмов разных видов (биоценоз), тесно связанных между собой и с окружающей их неживой природой (биотоп) обменом веществ и энергии.

Биоценоз рассматривается во взаимодействии с абиотическими факторами (различные факторы, не относящиеся к живым организмам, как благоприятные, так и вредные, находящиеся в среде, окружающей живые организмы, включая атмосферу, климат, геологические структуры, количество света, уровень температур), влияющими на него и в свою очередь изменяющимися под его воздействием.

К числу компонентов биогеоценоза помимо организмов относится ряд других материальных составляющих: энергия (включая все источники), газовый состав (атмосфера), вода (жидкая составляющая), почвосубстрат.

Экологические компоненты обеспечивают круговорот веществ и закономерное прохождение потока энергии. Энергия Солнца, попадая на растения, создает предпосылки для фотосинтеза и продуцирования органического вещества с привлечением газов атмосферы и минеральных веществ из почвосубстрата. Органическое вещество растений потребляется животными и паразитическими растениями и, как растительное, так и животное, вновь разлагается после гибели организмов редуцентами на простые соединения (соли, газы) и возвращается таким образом в атмосферу и почвогрунты. Взаимодействия всех организмов друг с другом и с окружающей неживой природой характеризуются динамическим равновесием.



Пример

Так, в благоприятный по погодным условиям год (большое число солнечных дней, оптимальные значения температуры и влажности) растения создают повышенный объем первичных органических веществ. Обилие пищи обуславливает массовое размножение грызунов, что вызывает увеличение численности хищников и паразитов, которые сокращают число грызунов. Последнее приводит к уменьшению численности хищников в результате гибели какой-то их части от недостатка пищи.

В итоге восстанавливается исходное состояние системы.

Каждый естественный биогеоценоз представляет собой систему, складывавшуюся в течение многих тысяч и миллионов лет. Все элементы системы «притерты» друг к другу, что обеспечивает устойчивость к изменениям окружающей среды.

Однако «прочность» экологических систем не беспредельна: резкие и глубокие изменения природных условий, сокращение численности тех или иных видов организмов (например, в результате неограниченного вылова промысловых видов) могут нарушить равновесие в биогеоценозе и привести к его разрушению.

10.17 Биосфера



***Биосфера** — оболочка Земли, где существует жизнь во всех её проявлениях.*

Биосфера (от др.-греч. βίος — жизнь и σφαῖρα — сфера, шар) — область активной жизни, охватывающая нижнюю часть атмосферы, гидросферу, верхнюю часть литосферы с органической связью живых организмов друг с другом и со средой их обитания; оболочка Земли, заселённая живыми организмами, находящаяся под их воздействием и занятая продуктами их жизнедеятельности; «плёнка жизни». Элементарной структурной и функциональной единицей биосферы является биогеоценоз. В биогеоценозе организмы и среда тесно взаимосвязаны и взаимно приспособлены друг к другу, благодаря чему возможно осуществление биологического круговорота веществ — основы бесконечности жизни на планете. Геологическая и биологическая эволюции идут одновременно: живые организмы, регулируя круговорот веществ, служат мощным геологическим фактором, преобразующим поверхность нашей планеты.

10.17.1 Возникновение жизни на Земле

Современная эволюционная палеонтология (наука об организмах, существовавших в прошлые геологические периоды и сохранившихся в виде ископаемых останков) констатирует факт возрастания сложности организмов. В самых древних

породах обнаруживаются организмы немногих типов, имеющие простое строение. От одной геологической эры к другой разнообразие и сложность встречающихся организмов растут. Найденные и изученные палеонтологами древнейшие органические остатки говорят о том, что жизнь на Земле появилась более 3,5 млрд лет назад ещё в архее. Архей (др.-греч. *αρχαίοζ* — древний) — один из четырёх эонов истории Земли, охватывающий время от 4 до 2,5 млрд лет назад. Эон — длительный период времени, состоящий из нескольких эр. В архее на Земле ещё не было кислородной атмосферы, но уже появились первые анаэробные организмы. Возраст Земли как самостоятельной планеты Солнечной системы оценивается в 4,5 млрд лет.

Можно считать, что жизнь появилась ещё в юношескую стадию жизни планеты.

Это были одноклеточные сине-зеленые и многоклеточные водоросли. Свойства этих древнейших организмов определялись условиями внешней среды, составом земной атмосферы. Усваивая из атмосферы углекислый газ, они обогащали ее кислородом. В конце архея началось размножение новых видов живых организмов и фотосинтез.

Фотосинтез радикально изменил атмосферу Земли, наполнив ее кислородом, и положил начало разделению до того единой ветви жизни на две ветви — растения и животные. В конце эры, которую называют мезозойской, примерно 200 млн лет назад произошло еще одно очень важное событие — появление млекопитающих.

Разнообразные адаптации млекопитающих способствовали освоению не только суши, но также пресных и морских водоемов, грунта, воздуха. Они обеспечили необычайно широкое использование пищевых ресурсов — спектр питания млекопитающих очень разнообразен по составу. Это увеличивает значение млекопитающих в биосфере и их роль в жизни различных биоценозов.

Никто не знает, как выглядел самый первый живой организм, появившийся на Земле, но взявшие от него начало основные ветви древа жизни составляют биосферу Земли и поныне.

Возникшая жизнь смогла продолжиться на нашей планете благодаря сочетанию многих факторов. Земля находится на благоприятном расстоянии от Солнца — не слишком сильно нагревается днём и не переохлаждается в ночное время. Земля имеет твёрдую поверхность, и на ней существует вода в жидком состоянии. Воздушная оболочка, окружающая Землю, предохраняет её от жёсткого космического излучения и «бомбардировки» метеоритами.

Среди концепций возникновения жизни на Земле наряду с гипотезой биохимической эволюции (возникновение жизни есть результат длительных процессов самоорганизации неживого вещества в условиях ранней Земли) существуют и другие гипотезы.

1. Гипотеза стационарного состояния: виды живой материи никогда не возникали, а существовали вечно.
2. Гипотеза панспермии: первые живые организмы занесены из космоса с метеоритами и межпланетной пылью.
3. Гипотеза креационизма: жизнь была создана всевышним и всемогущим Богом в далеком прошлом.
4. Гипотеза постоянного самозарождения: жизнь регулярно зарождается из неживого вещества, в составе которого есть некое «активное начало».

10.17.2 Учение о биосфере академика В. И. Вернадского

Представлениям о существовании на нашей планете особого пространства, заселенного живыми организмами и преобразуемого ими, положили начало работы французского ученого-естествоиспытателя Жана Батиста Пьера Антуана де Моне Ламарка (1744–1829 гг.), автора первой эволюционной системы животного мира.

Творчески развил идеи своих предшественников русский геохимик Владимир Иванович Вернадский (1863–1945 гг.), основоположник науки биогеохимии, создатель учения о биосфере. По В. И. Вернадскому, биосфера (шар жизни) — оболочка Земли, состав, структура и энергетика которой обусловлены прошлой и современной деятельностью живых организмов. Важнейшие компоненты биосферы: живое вещество, биогенное вещество, косное вещество, биокосное. Вернадский доказал, что все три оболочки Земли (атмосфера, гидросфера, литосфера) связаны с живым веществом, которое оказывает непрерывное воздействие на неживую природу.



.....
Косное вещество по В. И. Вернадскому — вещество, образуемое процессами, в которых живое вещество не участвует, небιοгенные минералы и горные породы, образовавшиеся в основном или глубже биосферы (вне области жизни), или в пределах биосферы на глубине нескольких километров без участия живого вещества. Косные небιοгенные горные породы и минералы по массе во много раз превышают массу всего живого вещества.

Биокосное вещество — вещество, возникающее в результате совместной деятельности организмов и абиогенных процессов (вода, почва, кора выветривания, атмосфера).

Биогенное вещество — продукт синтеза живого и неживого, органические и органоминеральные продукты, созданные живыми организмами на протяжении геологической истории, то есть осадочные породы, состоящие из продуктов жизнедеятельности живых организмов или представляющие собой их разложившиеся остатки (известняки, ракушечные породы, горючие сланцы, ископаемые угли, нефть, торф).

.....

Понятие о живом веществе — главном компоненте биосферы



.....
Живое вещество — вся совокупность живых организмов в биосфере.

В живом веществе химические реакции идут очень быстро, поэтому живое вещество очень активно участвует в биогеохимическом круговороте (круговороте веществ и превращении энергии в биосфере). Глобальными биогеохимическими функциями живого вещества являются: энергетическая, газовая, концентрационная, окислительно-восстановительная, биохимическая, транспортная.

Энергетическая функция живого вещества состоит в поглощении солнечной энергии при фотосинтезе, аккумуляции ее в сложных органических веществах и передаче энергии по пищевым цепям. В результате осуществляется связь биосферно-планетарных явлений с космическим излучением, преимущественно с солнечной радиацией. За счет накопленной солнечной энергии протекают все жизненные явления на Земле. Поглощенная энергия распределяется внутри экосистемы между живыми организмами в виде пищи. Частично энергия рассеивается в виде тепла, а частично накапливается в отмершем органическом веществе и переходит в ископаемое состояние. Так образовались залежи торфа, каменного угля, нефти и других горючих полезных ископаемых.

Газовая функция связана с поглощением и выделением газов. Газовая функция биосферы осуществляется зелеными растениями: для синтеза органических веществ они используют углекислый газ, при этом выделяют в атмосферу кислород. Весь остальной органический мир использует кислород в процессе дыхания и пополняет при этом запасы углекислого газа в атмосфере. Преобладающая масса газов на Земле имеет биогенное происхождение. В процессе функционирования живого вещества создаются основные газы: азот, кислород, углекислый газ, сероводород, метан и др. Благодаря газовой функции сформировался современный состав атмосферы, значительно отличающийся от такового в добиосферный период.

Концентрационная функция заключается в избирательном накоплении в ходе жизнедеятельности определенных видов живых организмов каких-либо элементов, необходимых для построения их тел. Концентрационная функция заключается в том, что многочисленные организмы наделены способностью концентрировать в себе определённые элементы, несмотря на ничтожное содержание их в окружающей среде. Так, обнаружено, что, бурые водоросли активно накапливают йод, фиалки — цинк, ракообразные и моллюски — медь, бактерии — марганец, хвощи и злаки — кремний, концентрация железа в позвоночных животных гораздо выше, чем в неживой природе. Следствием концентрационной функции живых организмов являются геохимические аномалии многих участков земной поверхности, залежи известняка, локальные скопления некоторых химических элементов.

Окислительно-восстановительная функция — это работа хемосинтезаторов, выражающаяся в химических превращениях веществ в процессе жизнедеятельности организмов. В почве, водной и воздушной среде образуются соли, окислы, новые вещества как результат окислительно-восстановительных реакций. С деятельностью микроорганизмов связано формирование в земной коре залежей полезных ископаемых, например серы, бокситов, железных и марганцевых руд, известняков и т. п.

Биохимическая функция осуществляется в процессе обмена веществ, происходящего внутри живых организмов (питания, дыхания, выделения) и разрушения отмерших организмов и продуктов их жизнедеятельности до простых неорганических веществ. Все это приводит к круговороту химических элементов в природе, их биогенной миграции.

Транспортная функция — перенос вещества против силы тяжести и в горизонтальном направлении.

Биогеохимические циклы

Важным аспектом существования жизни на Земле являются биогеохимические циклы, в которые вовлечены вода и основные биогенные химические элементы.

Все циклы состоят из двух фаз: органической (во время которой вещество или элемент находится в составе живых организмов) и неорганической. Последовательные переходы вещества из одной фазы в другую совершаются бесчисленное число раз. Так, ежегодно проходит через органическую фазу и возвращается в неорганическую $1/7$ часть всего углекислого газа и $1/4500$ часть кислорода атмосферы; подсчитано, что вся вода проходит через органическую фазу и возвращается в неорганическую за 2 млн лет. Миграция химических элементов из организма в среду и обратно не прекращается ни на секунду. Эта миграция возможна, т. к. элементный химический состав организмов близок к составу земной коры. В ходе биологического круговорота ограниченные запасы химических веществ приобретают свойство бесконечных, т. к. находятся в непрерывном круговом обращении. Круговорот веществ в виде биогеохимических циклов — необходимое условие существования биосферы.

Солнечная энергия — необходимое условие существования биогеохимических циклов. Между величинами поступающей солнечной энергии и количеством образующегося живого вещества установилась тесная зависимость. «Планета и организм неразрывно количественно связаны», — писал академик Вернадский.

Создание учения о биосфере явилось важным научным достижением человечества. Впервые живая природа стала рассматриваться как целостная система, тесно взаимодействующая с неорганической средой. Академик Вернадский заложил основы современных научных и философских представлений о планетарном и космическом значении жизни, о взаимосвязи и взаимодействии живой и неживой природы.

10.17.3 Ноосфера — сфера разума



.....
Ноосфера (греч. *noos* — разум) — оболочка взаимодействия природы и человека.

В XX веке техногенная мощь человеческой цивилизации вышла на планетарный масштаб и стала определяющим фактором воздействия на биосферу. В результате развития техногенной цивилизации современное человечество оказалось поставленным перед рядом глобальных проблем: повышение глобальной температуры, уменьшение периметра льдов в Гренландии и на Алтае, истощение озонового слоя, ежегодное сокращение площади лесов на 2%, ежегодное сокращение на 1% в год количества морского фитопланктона — микроорганизмов, составляющих основу многих пищевых цепей, планетарное загрязнение природной среды, способное вызвать изменение климата, и т. д.

Следствием происходящих энергетических процессов является изменение влагооборота (где-то сушит, где-то очень сильно заливает), возрастание сейсмичности и т. д. За последние два столетия интенсивного научно-технического прогресса разрушение составных частей биосферы идет примерно в 10 раз быстрее, чем их естественное восстановление, а разрушение почв примерно в 30 раз сильнее, чем в доиндустриальную эпоху. Среди загрязнений, создаваемых человеком в окружающей среде, выделяют:

- 1) ингредиентное — внесение в окружающую среду веществ, чуждых естественным биогеоценозам;
- 2) деструктивное, такое, как строительство платин, вырубка, уничтожение лесов, вычерпывание природных ресурсов;
- 3) параметрическое — это электромагнитные поля (в том числе излучение сотовой связи), тяжелые металлы, трансгенные продукты, шум автомагистралей, реактивных самолетов.

Чрезвычайно быстро идет нарастание деградации человека. Так, за последние 30 лет XX-го века в результате ослабления иммунной системы в 2,5 раза ухудшилась сопротивляемость человеческого организма болезням и соответственно увеличилось количество мутаций и генетических дефектов.

В связи с интенсивным нарастанием вероятности глобальной земной катастрофы возник и утвердился тезис о необходимости переключения системных интересов людей от вещественно-материальных к нравственно-духовным.

Перестройка сознания людей — основной путь поддержания равновесия в биосфере. Как писал академик Вернадский, превратившись в новую мощную «геологическую силу», своей мыслью и трудом преобразующую лик планеты, человечество в целях своего сохранения должно взять на себя ответственность за развитие биосферы, превратить ее в ноосферу. Это потребует от человечества определённой социальной организации и новой, экологической и гуманистической этики.

Ноосфера (сфера разума) — гипотетическое состояние системы «природа — общество», когда любая преобразующая деятельность человека является научно обоснованной и органически согласованной с общими законами развития природной среды. Это новое эволюционное состояние биосферы, при котором разумная деятельность человека должна стать решающим фактором ее развития, качественно новая форма организованности, возникающая при разумном взаимодействии природы и общества. Для нее характерна тесная взаимосвязь законов природы с законами мышления и социально-экономическими законами. Разум современного человека, опирающийся на моральные категории, способен разумно управлять развитием мира.

На современном этапе развития цивилизации и численности народонаселения необходимо именно «разумно» влиять на Природу, оптимально воздействовать на нее с тем, чтобы не приносить вреда природным экологическим процессам, восстанавливать разрушенные или нарушенные биогеоценозы, «разумно» влиять, в том числе, и на жизнедеятельность человека как составной части биосферы.

Деятельность человека неизбежно вносит изменения в окружающий мир, но предвидя возможные негативные воздействия, необходимо организовать свою деятельность так, чтобы последствия были не разрушительными, а благотворными.

Устойчивое развитие означает компромисс между стремлением человечества к максимальному удовлетворению своих потребностей и необходимостью сохранения биосферы. Нужна трансформация мировоззренческой установки антропоцентризма «человек — царь природы» в мировоззренческую установку биоцентризма «человек — часть природы». Необходимо изменить отношение человека к животному и растительному миру планеты. Нужна трансформация позиции потребительского и хищнического отношения к природе в позицию осознания своего места в природе, поддержания «запаса устойчивости» природных систем, сотворчества человека и природы.



Контрольные вопросы по главе 10

1. Сущность живого, его основные признаки.
2. Каковы структура и функции белков?
3. Какие функции выполняют молекулы ДНК? Каковы структура и состав молекул ДНК?
4. Принципы передачи наследственных признаков от родительских организмов к их потомкам. Законы Менделя.
5. Основные положения клеточной теории. Клетка: ее строение и функционирование.
6. На какие два надцарства делят все живые организмы на Земле? В чем их отличие?
7. Что такое фиксация азота? В чем состояла связанная с этим процессом «историческая миссия» прокариот?
8. Структурные уровни живой материи.
9. Основные факторы эволюции органического мира Земли.
10. Оболочка Земли, заселённая живыми организмами и преобразованная ими, — это ...
11. Концепции возникновения жизни на Земле.
12. Учение о биосфере академика В. И. Вернадского.
13. Что такое ноосфера и как она формируется?
14. Человек во Вселенной: коэволюция человека и природы.

Глава 11

КОНЦЕПЦИИ СИНЕРГЕТИКИ. ПРИНЦИП УНИВЕРСАЛЬНОГО ЭВОЛЮЦИОНИЗМА

Согласно второму началу термодинамики, определяющему необратимость процессов преобразования энергии в замкнутой системе, любая физическая система, не обменивающаяся энергией с другими системами, стремится к наиболее вероятному равновесному состоянию — к термодинамическому равновесию, к состоянию с максимумом энтропии. Максимум энтропии соответствует минимуму упорядоченности и максимуму хаоса, когда и все виды энергии переходят в энергию хаотического теплового движения, в среднем равномерно распределенную между всеми элементами системы. В состоянии равновесия в системе отсутствуют потоки вещества и энергии, нет никаких градиентов, никакого упорядоченного движения.

Если бы Вселенная была замкнутой системой, то переход в такое состояние означал бы ее «тепловую смерть».

Однако в середине XX века возникло и начало развиваться представление о том, что материи изначально присуща тенденция не только к разрушению упорядоченности и возврату к исходному хаосу, но и к образованию все более сложных и упорядоченных систем разного уровня.

В природе не существует систем, у которых бы все взаимодействия с внешней средой полностью отсутствовали, все реальные системы, от самых малых до самых больших, являются не замкнутыми, а открытыми. Они обмениваются энергией и веществом с окружающей средой и не находятся в состоянии термодинамического равновесия. В открытых системах могут протекать процессы как с увеличением, так и с уменьшением энтропии, т.е. в таких системах возможно увеличение упорядоченности. На данной основе возникло представление о самоорганизации вещественных систем.



.....
Самоорганизация — природные скачкообразные процессы, переводящие открытую неравновесную систему, достигшую в своем

развитии критического состояния, в новое устойчивое состояние с более высоким уровнем сложности и упорядоченности по сравнению с исходным.

.....

11.1 Условия возникновения самоорганизации

1. Высокая степень неравновесности, выражающаяся в протекании через систему потоков вещества, энергии, электрического заряда, денег, товаров, людей, идей.

2. Нелинейность системы — способность качественно изменять свое поведение при количественном изменении параметров внешнего воздействия на систему. Одна из наиболее характерных особенностей нелинейных систем — нарушение в них принципа суперпозиции, согласно которому результат воздействия на частицу нескольких внешних сил есть векторная сумма этих сил, т. е., грубо говоря, $2 + 2$ не обязательно 4, но возможно несколько разных вариантов.

Одним из направлений исследования процессов самоорганизации является синергетика.



.....

Синергетика (греч. *вместе действующий*) — концепция самоорганизации в неравновесных нелинейных системах различной природы (в т. ч. социальных).

.....

(В физиологии синергистами называют мышцы, действующие совместно, для реализации определенного движения. Так, для вдоха работают межреберные, межхрящевые мышцы и мышцы диафрагмы.)

Синергетика объясняет процесс самоорганизации в сложных системах следующим образом.

Система должна быть открытой. Закрытая система в соответствии с законами термодинамики рано или поздно придет к состоянию с максимальной энтропией и прекратит свою эволюцию. Открытая система должна быть достаточно далека от точки термодинамического равновесия. В положении, близком к равновесию и без достаточного притока энергии извне, любая система со временем ещё более приблизится к равновесию и перестанет изменять своё состояние.

Самоорганизация, имеющая своим исходом образование через этап хаоса нового порядка или новых структур, может произойти лишь в системах достаточно-го уровня сложности, обладающих определённым количеством взаимодействующих между собой элементов, имеющих некоторые критические параметры связи и относительно высокие значения вероятностей своих флуктуаций. В противном случае эффекты от синергетического взаимодействия будут недостаточны для появления коллективного поведения элементов системы и тем самым возникновения самоорганизации. Недостаточно сложные системы не способны ни к спонтанной адаптации, ни, тем более, к развитию и при получении извне чрезмерного количества энергии теряют свою структуру и необратимо разрушаются.

Фундаментальным принципом самоорганизации служит возникновение нового порядка и усложнение систем через флуктуации (случайные отклонения) состояний их элементов и подсистем. Такие флуктуации подавляются во всех динамически стабильных и адаптивных системах за счёт отрицательных обратных связей, обеспечивающих сохранение структуры и близкого к равновесию состояния системы.

Так, гомеостаз — способность организма поддерживать функционально значимые физиологические показатели в пределах, определяющих оптимальную жизнедеятельность организма, основывается на получении обратных сигналов от рецепторов относительно изменений в системе и последующей корректировки этих изменений к исходному состоянию исполнительными механизмами, т. е. обеспечивается процессами саморегуляции физиологических функций, такой формой взаимодействия биологических структур, которая на основе принципа отрицательной обратной связи поддерживает постоянство системы.

Этап самоорганизации наступает только в случае преобладания положительных обратных связей, действующих в открытой системе, над отрицательными обратными связями. В сложных открытых системах возможна ситуация, когда, благодаря притоку энергии извне и усилению неравновесности, малейшие флуктуации не гасятся, а начинают расти, накапливаться, усиливаться вследствие общей положительной реактивности системы, вызывают эффект коллективного поведения элементов и подсистем и, в конце концов, приводят к «расшатыванию» исходного состояния. Чем система сложнее, тем более многочисленны типы флуктуаций, выводящие систему из устойчивого состояния.

Перейдя порог устойчивости, система попадает в критическое состояние, которое называют точкой бифуркации (развилки). В точке бифуркации система становится неустойчивой относительно флуктуаций. Сложная неравновесная система может перейти из неустойчивого в одно из нескольких дискретных устойчивых состояний. В какое именно из них совершится переход — дело случая. Одна из сильных флуктуаций, которые возникают в системе, пребывающей в критическом состоянии, может инициировать скачок в новое конкретное устойчивое состояние.

Процесс скачка необратимый и приводит к новой области устойчивости, к возникновению нового порядка и новых структур, образованных из элементов прежней, разрушенной системы.

То есть система как бы колеблется между выбором одного из нескольких путей эволюции. Небольшая флуктуация может послужить в этот момент началом эволюции в каком-то определенном направлении, возможно резко изменяющем поведение системы. В точке бифуркации случайность толкает систему на новый путь развития, а после того как один из возможных вариантов выбран, вновь вступает в силу детерминизм — и так до следующей точки бифуркации.



.....
Самоорганизация в сложных и открытых диссипативных системах, к которым относится и жизнь, и разум, приводят к необратимому разрушению старых и к возникновению новых структур и систем, что наряду с явлением неубывания энтропии в закрытых системах обуславливает наличие «стрелы времени» в Природе.
.....

11.2 Примеры наблюдаемых явлений самоорганизации

К трём стандартным примерам явления самоорганизации относятся ячейки Бенара, лазер, и реакция Белоусова—Жаботинского.

Классическим примером возникновения структуры из полностью хаотической фазы являются конвективные ячейки Бенара. Это замечательное превращение называется явлением Бенара, по имени французского исследователя, одним из первых изучившего конвективную неустойчивость жидкости. Если налить масло на сковороду, на дне которой поддерживается высокая температура, а на поверхности, граничащей с воздухом, более низкая, то через масло будет осуществляться передача энергии, поток тепла от дна к поверхности. Если увеличить разницу температур до некоторой критической, то в масле самопроизвольно возникает гидродинамическое движение: восходящие и нисходящие струи жидкости, образующие конвективные ячейки. В тонком слое при подогреве снизу образуются ячейки правильной гексагональной формы, внутри которых жидкость поднимается по центру и опускается по граням ячейки. Все эти ячейки выглядят как одинаковые шестигранные структуры. То есть наблюдаются определенным образом организованные процессы в среде.

В этом явлении очень отчетливо проявляются все основные черты термодинамики необратимых процессов. По сравнению с однородным состоянием конвективные ячейки являются более высокоорганизованной структурой, в системе происходит превращение хаоса в порядок — открытая система отдает энтропию, энтропия системы уменьшается. (Энтропия окружающего пространства при этом возрастает.)

Другим примером самоорганизующейся системы может служить *оптический квантовый генератор — лазер* (англ. *laser*, акроним от *light amplification by stimulated emission of radiation* — усиление света вынужденным излучением). При его работе соблюдаются три упомянутые условия.

1. Открытость системы, снабжаемой извне энергией (эта энергия осуществляет процесс «накачки» — заброс электронов в рабочем теле лазера с нижнего на более высокий энергетический уровень).
2. Сугубая неравновесность системы. Инверсная заселенность энергетических уровней — это неравновесное состояние среды, при котором число электронов, находящихся на верхних энергетических уровнях, больше, чем число электронов, находящихся на нижних энергетических уровнях, тогда как при тепловом равновесии на верхних уровнях электронов меньше, чем на нижних.
3. Достижение критического уровня накачки, при котором возникает упорядоченное, монохроматическое излучение за счет согласованного перехода электронов с верхнего энергетического уровня на нижний.

Реакция Белоусова—Жаботинского. Пример самоорганизации систем от хаоса к порядку. В настоящее время под этим названием объединяется целый класс родственных химических систем, близких по механизму, но различающихся используемыми катализаторами, органическими восстановителями и окислителями.

Первой реакцией, открытой Борисом Павловичем Белоусовым (1893–1970 гг.), советским химиком и биофизиком, была реакция окисления лимонной кислоты броматом калия в кислотной среде в присутствии катализатора — ионов церия Ce^{+3} . Эта реакция имеет автоколебательный характер. Течение реакции меняется со временем, что проявляется в периодическом изменении цвета раствора от бесцветного (Ce^{+3}) к жёлтому (Ce^{+4}) и обратно.

11.3 Концепция универсального эволюционизма



.....

Концепция универсального эволюционизма дает ответ на вопрос, каким образом из первоначального хаоса с течением времени образовались сначала атомные ядра и атомы, затем звезды, планеты, живые существа и сам человек.

.....

Гениальный Александр Сергеевич Пушкин «организатором» этого процесса самоорганизации материи, «богом-изобретателем» называет случай.

В отличие от процессов, протекающих в изолированных системах только в направлении «от порядка к хаосу», в открытых неравновесных системах процессы могут протекать и в противоположном направлении — «от хаоса к порядку». В процессе самоорганизации порядок рождается из хаоса.

Одним из важнейших этапов в развитии науки стало появление эволюционной теории. Основываясь, в частности, на идеях этой теории, во второй половине XX-го века появилась синергетика, распространившая принципы эволюции на разные уровни — косную материю, жизнь и общество. Подобный подход получил название «универсальный эволюционизм».

Согласно концепции универсального эволюционизма понимание Вселенной в целом и ее подсистем возможно только при рассмотрении их находящимися в состоянии постоянного развития, эволюции.

В этой модели Вселенная предстает перед нами как развивающееся в пространстве и времени природное целое, а вся ее история от Большого взрыва до возникновения человечества рассматривается как единый процесс, в котором космический, химический, биологический и социальный типы эволюции связаны между собой.

Это значит, что Вселенная (Универсум) претерпевает непрерывные изменения, и мы наблюдаем их непрекращающуюся эволюцию. Все это происходит в процессе самоорганизации. К числу таких процессов относится и становление Разума, который тоже возник в результате эволюции Вселенной.

Следовательно, можно сказать, что все существующее есть результат эволюции, которая имеет всеобщий характер.

Основными положениями концепции универсального эволюционизма являются следующие.

1. Вселенная может существовать только в развитии. Вселенная представляет собой единую саморазвивающуюся систему, все ее элементы так или иначе связаны между собой. Человек также является неотъемлемой частью этой системы.

2. Развитием Вселенной руководит «бог-изобретатель» — случай. Все процессы во Вселенной протекают под действием случайных факторов при известной мере неопределенности, т. е. случайность и неопределенность в нашем мире на всех структурных уровнях принципиальна.
3. В мире действуют принципы отбора, выделяющие из всех мыслимых состояний некоторое множество допустимых. Это значит, что все происходящее в природе абсолютным произволом не является. Не все мыслимое может быть реализовано в природе. Законы природы, в частности, законы сохранения, выполняют функции запрета. Они также ограничивают вмешательство человека в Природу.
4. В биологических, экономических и социальных явлениях нельзя пренебрегать предысторией. Здесь роль памяти чрезвычайно велика, и она может непосредственно влиять на выбор пути развития. Настоящее и будущее зависят от прошлого, хотя и не определяются им.
5. Развитие материальных объектов неизбежно приводит к точкам бифуркации (развилки), из которых, даже при отсутствии каких-либо внешних воздействий, возможен переход объекта в целое множество новых состояний. В какое из них перейдет система, зависит от тех случайных факторов, которые будут действовать в момент перехода. В точках бифуркации дальнейшая эволюция принципиально непредсказуема, т. к. определяется случайными флуктуациями.

Все развитие Вселенной, включая и наше развитие, описывается в рамках схожих эволюционных процессов. Приведенные эмпирические обобщения справедливы как для процессов, протекающих в неживой природе, так в живом веществе и обществе. Поэтому они могут составить основу некоторого универсального языка, пригодного для описания любых процессов, протекающих на всех уровнях организации материи.

При усложнении материальных структур в ходе их самоорганизации прослеживается тенденция уменьшения их стабильности, что имеет прямое отношение к истории развития цивилизации.

Результатом данной тенденции является резкое возрастание зависимости человека от природных условий. Сильное усложнение человеческой цивилизации и рост ее могущества требуют тонкого согласования нагрузок человека на биосферу с теми процессами, которые в ней происходят, если, конечно, человек планирует свое дальнейшее существование на Земле.

Здесь можно надеяться на помощь науки, которая дает обществу не только представления об опасности, но и помогает найти пути её преодоления.

Таким образом, в процессе естественной эволюции Вселенная может обрести с помощью человека способность не только познавать саму себя, но и направлять свое развитие так, чтобы компенсировать или ослабить возможные неблагоприятные факторы. Это шанс для человечества сохранить себя в биосфере, во Вселенной, шанс, которым необходимо воспользоваться.



.....

Контрольные вопросы по главе 11

.....

1. Что называется самоорганизацией?
2. Условия возникновения процесса самоорганизации.
3. Каким условиям должен удовлетворять объект изучения синергетики?
4. Что такое точка бифуркации?
5. Чем отличается самоорганизация от эволюции?
6. Сформулируйте основные положения концепции универсального эволюционизма.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Объект изучения естествознания — Природа — это целостная суперсистема, сложная и многообразная в своих проявлениях, непрерывно развивающаяся и находящаяся в постоянном движении. В ней всё: жизнь Вселенной, жизнь нашей Галактики, жизнь Солнечной системы, жизнь Земли, жизнь человечества и каждого человека — подчинено единым Вселенским законам. Всё живёт и развивается в строгом соответствии с этими законами.

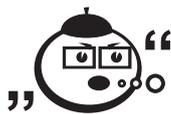
Естественные науки стремятся постигнуть и сформулировать эти всеобщие законы мироздания.

Сегодня мы знаем, что вся живая и неживая природа, все стабильные структуры окружающего нас сравнительно низкотемпературного мира состоят всего из трёх фундаментальных частиц, трёх «первокирпичиков мироздания». Это стабильный лептон — электрон. Это два кварка — «верхний» *u* и «нижний» *d*.

Мы знаем, что наблюдаемая нами сейчас Вселенная возникла $13,77 \pm 0,059$ млрд лет назад из некоторого начального «сингулярного» состояния и с тех пор непрерывно расширяется и охлаждается.

Сегодня ученые в состоянии объяснить большинство свойств и этапов эволюции нашей Вселенной, начиная с момента в 10^{-42} секунды до настоящего времени и даже далее. Они могут проследить образование галактик и довольно уверенно предсказать будущее Вселенной.

Однако ничего не изменилось с тех пор, как однажды юный ученик древнегреческого философа Анаксимена спросил его, почему с каждым годом он всё больше сомневается в том, о чём раньше говорил без сомнений.



.....
Тогда Анаксимен начертил на песке два круга — маленький и большой — и объяснил: «Маленький круг — это мои знания в юности. Большой круг — это то, что я знаю и понимаю сегодня. С годами круг моих знаний увеличивается. Всё, что вне круга знаний — это незнание. Чем шире круг знаний, тем больше он соприкасается с незнанием и порождает всё больше неясностей и вопросов».
.....

Процесс познания не останавливается, поскольку на смену установленным истинам, разрешённым вопросам приходят другие, требующие своего разрешения, ещё более непонятные, интересные и загадочные.

Возникают новые идеи, появляются новые естественнонаучные концепции. Их сменяют ещё более совершенные. В этом заключается диалектика развития естественнонаучного познания окружающего мира.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Карпенков С. Х. Концепции современного естествознания : учебник для вузов / С. Х. Карпенков. — 6-е изд., перераб. и доп. — М. : Высшая школа, 2003. — 487 с. [Электронный ресурс]: электронная версия. — URL : <http://stavroskrest.ru/sites/default/files/files/books/karpenkov.pdf> (дата обращения: 05.05.2015).
- [2] Дубнищева Т. Я. Концепции современного естествознания : учеб. пособие для вузов / Т. Я. Дубнищева. — 7-е изд., стереотип. — М. : Академия, 2006. — 608 с.
- [3] Библиотека Гумер. Наука. [Электронный ресурс]. — URL : http://www.gumer.info/bibliotek_Buks/Science (дата обращения: 05.05.2015).
- [4] Элементы большой науки. [Электронный ресурс]. — URL : <http://elementy.ru/trefil> (дата обращения: 05.05.2015).
- [5] Словари и энциклопедии на Академике. [Электронный ресурс]. — URL : <http://dic.academic.ru> (дата обращения: 05.05.2015).
- [6] КСЕ. [Электронный ресурс]. — URL : <http://www.limm.mgimo.ru/science/> (дата обращения: 05.05.2015).
- [7] Успехи современного естествознания. Научный журнал. [Электронный ресурс]. — URL : <http://www.rae.ru/use/> (дата обращения: 05.05.2015).

ГЛОССАРИЙ

Абиогенез (греч. *a* — отрицательная приставка, *bios* — жизнь и *genesis* — происхождение) — теория возникновения живых существ из веществ неорганической природы.

Автотрофы (*ауто*трофы) (др.-греч. сам + пища) — организмы, синтезирующие органические вещества из неорганических. К автотрофам относятся растения, водоросли, некоторые бактерии. Синтез органических соединений из неорганических может осуществляться за счет солнечной энергии (фотосинтез) и за счет энергии химических реакций (хемосинтез).

Адаптация (лат. *adaptatio* — приспособление) — процесс приспособления строения и функций организмов (особей, популяций, видов) и их органов к условиям среды.

Аденин — пуриновое основание, содержащееся во всех живых организмах в составе нуклеиновых кислот (одна из четырех «букв» генетического кода) и других биологических веществ.

Адреналин — гормон мозгового слоя надпочечников животных и человека. Поступая в кровь, повышает потребление кислорода и артериальное давление, содержание сахара в крови, стимулирует обмен веществ и т. д.

Адроны (греч. *adros* — сильный) — элементарные частицы, участвующие в сильном взаимодействии. К адронам принадлежат *барионы* (в том числе нуклоны — протоны и нейтроны, составляющие ядра атомов), *мезоны*.

Аккреция (лат. *accretio* — приращение, увеличение) — гравитационный захват вещества и последующее его падение на космическое тело (звезду, галактику и др.) из окружающего пространства.

Аллотропия (др.-греч. *αλλοζ* — другой, *τροπος* — поворот, свойство) — существование химических элементов в виде двух или более простых веществ (например, кислород O₂, и озон O₃).

Аминокислоты — класс органических соединений, содержащих карбоксильные (–COOH) и аминогруппы (–NH₂), обладающих свойствами кислот и оснований.

Анизотропия (греч. *anisos* — неравный и *tropos* — направление) — зависимость физических свойств среды или свойств вещества (механических, тепловых, элек-

трических, магнитных, оптических) от направления. В противоположность *изотропии*.

Аннигиляция (лат. *annihilatio* — превращение в ничто, уничтожение) — превращение элементарных частиц и античастиц. Например, при аннигиляции пары электрон — позитрон образуются безмассовые частицы света (фотоны).

Антивещество — материя, состоящая из античастиц.

Античастица — элементарная частица, имеющая ту же массу, спин, время жизни и некоторые другие внутренние характеристики, что и частица, но отличающаяся от нее знаком заряда.

Ароморфоз (арогенез) (греч. *аро* — поднимаю и *морфозис* — образец, форма) — прогрессивное эволюционное изменение строения, одно из главных направлений биологического прогресса живых существ, при котором в ходе эволюции усложняется их организация; качественный скачок в развитии живых существ, повышающий как уровень организации, так и приспособленность вида к новым условиям, что способствует расширению его ареала (например, переход от рептилиеподобных к млекопитающим). После изменений по типу ароморфоза наступает период образования частных приспособительных изменений — идиоадаптаций.

Астеносфера (греч. *asthenes* — слабый и сфера) — слой пониженной твердости, прочности и вязкости в верхней мантии Земли, подстилающей литосферу.

Атрибут (от лат. *attributio*) — неотъемлемое свойство.

Аэробы (греч. воздух и жизнь) — большинство живых организмов, которые могут существовать только при наличии свободного молекулярного кислорода. К аэробам относятся: подавляющее большинство животных, все растения, а также значительная часть микроорганизмов.

Баллистика (от греч. *ballo* — бросаю) — наука о движении снарядов, пуль при стрельбе.

Барионы (греч. *barys* — тяжелый) — «тяжелые» элементарные частицы с полуцелым спином и массой, не меньшей массы протона. К барионам относятся нуклоны, гипероны, барионные резонансы. Барионы состоят из трех кварков, связь между которыми осуществляется глюонным полем.

Белки — природные высокомолекулярные органические соединения, построенные из остатков двадцати аминокислот, соединенных пептидными связями в длинные цепи.

Биогенез: 1) процесс зарождения живого; 2) теории, отрицающие появление жизни на Земле в результате возникновения живых существ из неживой материи (в противоположность *абиогенезу*).

Биогенетический закон — закономерность живой природы, состоящая в том, что индивидуальное развитие особи (*онтогенез*) является коротким и быстрым повторением важнейших этапов эволюции вида (*филогенез*).

Биогеоценоз (греч. *bios* — жизнь, *ge* — земля и *koinos* — общий) — однородный участок земной поверхности с определённым составом живых (биоценоз) и кос-

ных (приземный слой атмосферы, солнечная энергия, почва и др.) компонентов, объединённых обменом веществ и энергии.

Бионт — отдельно взятый организм, приспособившийся в ходе эволюции к обитанию в определенной среде (биотопе).

Биосинтез (греч. *bios* — жизнь и *synthesis* — соединение) — процесс синтеза природных органических соединений живыми организмами, образование необходимых организму веществ в живых клетках с участием биокатализаторов — ферментов.

Биосфера — область распространения жизни на Земле, включающая нижнюю часть атмосферы, гидросферу и литосферу, населенная живыми организмами.

Биота (греч. *biote* — жизнь) — исторически сложившаяся совокупность видов растений, животных и микроорганизмов, объединенных общей площадью распространения; в отличие от биоценоза может характеризоваться отсутствием связей между видами.

Биотические факторы среды — совокупность влияний, оказываемых на организмы жизнедеятельностью других организмов.

Биоценоз (от *био* и греч. *koinos* — общий) — совокупность растений, животных и микроорганизмов, населяющих данный участок суши или воды и характеризующихся определенными отношениями между собой и приспособленностью к условиям окружающей среды (например, биоценоз озера, леса и т. д.).

Бифуркация (лат. *bifurcus* — раздвоенный) — раздвоение траектории движения и т. п.

Бозоны — частицы или квазичастицы с целым спином, подчиняющиеся статистике Бозе—Эйнштейна.

Валентность (лат. *valentia* — сила) — способность атомов химического элемента (или атомной группы) образовывать определенное число химических связей с другими атомами (или атомными группами); вместо валентности часто пользуются более узкими понятиями, например степень окисления, координационное число.

Верификация (от лат. *verus* — правда, истина + *facio* — делать) — это прямая эмпирическая проверка научных утверждений или проверка истинности логических отношений между теоретическими научными утверждениями.

Виртуальные частицы (франц. *virtualis* — возможный) — частицы, существующие в промежуточных, имеющих малую длительность состояниях, для которых не выполняются обычные соотношения между энергией, импульсом и массой. Другие характеристики виртуальных частиц (электрический заряд, спин, барионный заряд и др.) такие же, как у соответствующих реальных частиц.

Вирусы (лат. *virus* — яд) — неклеточные возбудители инфекционных болезней растений, животных и человека, размножающиеся только внутри живых клеток.

Витализм (лат. *vitalis* — жизненный, живой; *vita* — жизнь) — учение о качественном отличии живой природы от неживой, о принципиальной несводимости жиз-

ненных процессов к силам и законам неорганического мира, о наличии в живых телах нематериальной жизненной силы, отсутствующей в неживых.

Галактики (греч. *galaktikos* — млечный) — гигантские (до сотен млрд звезд) звездные системы; к ним относится и наша Галактика, включающая Солнечную систему. Галактики подразделяются на эллиптические, спиральные и неправильные. Ближайшие к нам галактики — Магеллановы Облака и туманность Андромеды.

Гаметы (греч. жена, муж) — репродуктивные клетки, имеющие гаплоидный (одинарный) набор хромосом и участвующие в гаметном, в частности, половом размножении. При слиянии двух гамет образуется зигота с диплоидным набором хромосом, развивающаяся в особь с наследственными признаками обоих родительских организмов. Процесс развития и формирования гамет носит название гаметогенез.

Гаплоидный (греч. *haploos* — одиночный, *eidos* — вид) — одинарный набор хромосом половых клеток, составляющий половину *диплоидного* набора.

Гелиоцентризм — учение, согласно которому Земля и другие планеты обращаются вокруг Солнца и, кроме того, Земля вращается вокруг своей оси.

Гемоглобин (греч. *гемо* — кровь и лат. *globus* — шар) — красный дыхательный пигмент крови человека, позвоночных и некоторых беспозвоночных животных; переносит кислород от органов дыхания к тканям и углекислый газ от тканей к дыхательным органам.

Ген (греч. *genos* — род, происхождение) — единица наследственного материала, ответственная за формирование какого-либо элементарного признака.

Генезис — происхождение, возникновение.

Геном — совокупность генов, содержащихся в одинарном наборе хромосом данного организма.

Генотип — совокупность всех генов, локализованных в хромосомах данного организма; совокупность всех наследственных факторов организма; генотип определяет *фенотип*.

Генофонд — качественный состав и относительная численность разных форм (аллелей) различных генов в популяциях того или иного вида организмов.

Геоцентризм — воззрение, согласно которому Земля неподвижно покоится в центре мира, а все небесные светила движутся вокруг нее.

Гетеротрофные организмы (гетеротрофы) — организмы, существующие за счёт использования готовых органических веществ, синтезированных *автотрофами*. Эти вещества, разлагаясь до более простых соединений, дают гетеротрофам как материал для построения тела, так и энергию для жизненных процессов. К гетеротрофам относятся растительоядные и плотоядные животные, человек, грибы, а также растения и микроорганизмы, не обладающие способностью к фотосинтезу и хемосинтезу.

Гидросфера (от *гидро* — вода и *сфера* — шар) — совокупность всех водных объектов земного шара: океанов, морей, рек, озер, водохранилищ, подземных вод, ледников и снежного покрова.

Гипотеза (от греч. предположение) — недоказанное утверждение, предположение или догадка, передовой край науки, вероятностное знание, нуждающееся в дополнительной проверке.

Глюоны (англ. *glue* — клей) — элементарные электрически нейтральные частицы с нулевой массой и спином, равным единице, осуществляющие взаимодействие между кварками.

Гормоны (греч. *hormao* — привожу в действие) — биологически активные вещества, вырабатываемые в организме специализированными клетками или органами (железами внутренней секреции) и оказывающие целенаправленное влияние на деятельность других органов и тканей.

Гравитационный коллапс (лат. *collapsus* — упавший, рухнувший) — катастрофически быстрое сжатие звезды под действием собственных сил тяготения.

Гравитация (лат. *gravitas* — тяжесть) — тяготение, универсальное взаимодействие между любыми видами физической материи.

Гравитон — квант гравитационного поля, имеющий нулевую массу покоя, нулевые электрический заряд и спин (экспериментально пока не обнаружен).

Гуанин — пуриновое основание, содержащееся в клетках всех организмов в составе нуклеиновых кислот, одна из четырех «букв» генетического кода.

Дедукция (лат. *deductio* — выведение) — метод познания, приводящий к получению частных выводов на основе знания каких-то общих положений.

Деизм (лат. *deus* — бог) — воззрение, согласно которому Бог, сотворив мир, не принимает в нем какого-либо участия и не вмешивается в закономерное течение его событий.

Детерминизм (лат. *determine* — определяю) — общее учение о взаимосвязи и взаимообусловленности явлений и процессов реальности. Жесткий детерминизм — любые изменения в поведении объектов и систем целиком и полностью определяются внешними воздействиями, внешними причинами и условиями.

Деформация (лат. *deformatio* — искажение) — 1) изменение положения точек твердого тела, при котором меняется расстояние между ними в результате внешнего воздействия; 2) изменение формы, искажение сущности чего-либо (например, деформация социальной структуры).

Диплоидный — двойной набор хромосом соматических клеток; в отличие от одинарного, гаплоидного набора половых клеток.

Дискретный (лат. *discretus* — раздельный, прерывистый) — прерывистый, состоящий из отдельных частей.

Диссипация (лат. *dissipatio*) — рассеяние; например, диссипация газов земной атмосферы в межпланетное пространство; диссипация энергии — переход части

энергии упорядоченных процессов (кинетической энергии движущегося тела, энергии электрического тока и т. д.) в энергию неупорядоченного теплового движения.

ДНК — дезоксирибонуклеиновая кислота — высокополимерное природное соединение, содержащееся в ядрах клеток живых организмов. ДНК — носитель генетической информации, ее отдельные участки соответствуют определенным генам.

Догма (греч. *dógma*) — утверждение, не допускающее возражений и критики.

Доплера эффект — изменение частоты колебаний или длины волн, воспринимаемых наблюдателем (приемником колебаний), вследствие движения источника волн и наблюдателя относительно друг друга.

Дуализм (лат. *dualis* — двойственный). Корпускулярно-волновой дуализм — принцип, согласно которому любой физический объект может проявлять как волновые, так и корпускулярные свойства.

Естественный отбор — процесс выживания и воспроизведения организмов, наиболее приспособленных к условиям среды, и гибели в ходе эволюции неприспособленных; следствие борьбы за существование.

Живое вещество — в концепции Владимира Ивановича Вернадского — совокупность растений и животных, включая человека.

Звездные скопления — гравитационно связанные группы звезд, имеющих общее происхождение; движутся в поле тяготения галактики как единое целое.

Иерархия (греч. *hieros* — священный и *arche* — власть) — расположение частей или элементов целого в порядке от высшего к низшему.

Изомеры (др.-греч. *ίσοζ* — равный и *μέροζ* — доля, часть) — химические соединения, одинаковые по молярной массе и составу, но различающиеся по строению или расположению атомов в пространстве и, следовательно, по свойствам.

Изотопы (др.-греч. *ίσοζ* — равный, одинаковый и *τόποζ* — место) — разновидности атомов одного и того же химического элемента. Ядра изотопов отличаются числом нейтронов, но содержат одинаковое число протонов (т. е. имеют одинаковый заряд ядра) и поэтому занимают одно и то же место в периодической системе элементов, т. е. являются атомами одного и того же элемента. Например, три изотопа водорода. Протон в ядре всегда один, а нейтронов может быть либо ни одного, либо один, либо два.

Изотропность (др.-греч. *ίσοζ* — равный, одинаковый, подобный и *τρόποζ* — оборот, поворот, характер) — одинаковость свойств объектов (пространства, вещества и др.) по всем направлениям.

Иммунитет (лат. *immunitas* — избавление) — способность живых существ противостоять действию повреждающих агентов, сохраняя свою целостность и индивидуальность; защитная реакция организма.

Импульс (лат. *impulsus* — толчок) — физическая величина, равная произведению массы тела m на скорость его движения v .

Инвариант (лат. *invariants* — неизменяющийся) — величина, остающаяся неизменной при тех или иных преобразованиях.

Ингибиторы (лат. *inhebio* — удерживаю) — вещества, снижающие скорость химических, в том числе и ферментативных, реакций или подавляющие их.

Индукция (лат. *inductio* — наведение, побуждение) — метод познания, основывающийся на формально-логическом умозаключении, которое приводит к получению общего вывода на основании частных посылок.

Интеграция (лат. *integer* — целый) — объединение отдельных частей в целое, а также процесс, ведущий к такому образованию.

Интерференция волн (лат. *inter* — взаимно и *ferio* — ударяю) — сложение в пространстве двух (или нескольких) волн, при котором в разных точках получается усиление или ослабление амплитуды результирующей волны. Интерференция характерна для волн любой природы.

Ионы (греч. *ion* — идущий) — электрически заряженные частицы, образующиеся из атомов (молекул) в результате потери или присоединения одного или нескольких электронов.

Катализ (греч. *katalysis* — разрушение) — ускорение химической реакции в присутствии веществ-катализаторов, которые взаимодействуют с реагентом, но в реакции не расходуется и не входят в состав конечного продукта.

Катастрофа (греч. *katastrophe* — переворот) — внезапное бедствие, событие, влекущее за собой тяжелые последствия.

Квезары (англ. *quasar*, сокр. от *quasistellarradiosource* — квазизвездные источники излучения) — мощные внегалактические источники электромагнитного излучения, имеющие на фотографиях звездообразный вид.

Кварки — гипотетические частицы с дробным электрическим зарядом, из которых состоят адроны.

Кислотные осадки — атмосферные осадки (дождь, снег), подкисленные из-за повышенного содержания в воздухе промышленных выбросов, главным образом SO₂, NO₂, HCl и др.

Коацервация (лат. *coacervatio* — накопление) — возникновение в растворе капель, обогащенных растворенным веществом; обычно происходит в водных растворах белков и полисахаридов при добавлении электролитов и некоторых органических соединений.

Континуум (лат. *continuum* — непрерывное) — некоторая сплошная среда.

Концепция (лат. *conceptio* — понимание) — основная точка зрения, трактовка явления.

Корпускула (лат. *corpusculum* — тельце) — частица в классической (неквантовой) физике.

Космогония — наука о происхождении и развитии космических тел и их систем (звезд, звездных скоплений, галактик, туманностей, Солнечной системы и всех входящих в нее тел).

Космология — наука о Вселенной как едином целом и о всей охваченной астрономическими наблюдениями области Вселенной как части целого.

Космохимия — наука, изучающая химический состав космических тел, законы распространенности и распределения химических элементов во Вселенной.

Красное смещение — увеличение длин волн линий в спектре источника (смещение линий в сторону красной части спектра) по сравнению с линиями эталонных спектров. Это явление может быть выражением эффекта Доплера или гравитационного красного смещения.

Креационизм (лат. *creationis* — творение) — теологическая и мировоззренческая концепция, согласно которой жизнь, человечество, планета Земля, мир в целом рассматриваются как непосредственно созданные Богом.

Критерий (др.-греч. κριτήριον) — мерило, основание для принятия решения по оценке чего-либо.

Лейкоциты — бесцветные клетки крови человека и животных.

Лептоны (греч. *leptos* — легкий) — фундаментальные частицы, не участвующие в сильном взаимодействии. К классу лептонов принадлежат электроны. Все лептоны являются фермионами, т. е. их спин равен $1/2$. Лептоны вместе с кварками (кварки участвуют во всех четырёх взаимодействиях, включая сильное) составляют класс фундаментальных фермионов — частиц, из которых состоит вещество и у которых, насколько это известно, отсутствует внутренняя структура.

Литосфера (от *литос* — камень и *сфера* — шар) — внешняя сфера «твердой» Земли, включающая земную кору и верхнюю часть подстилающей ее мантии до астеносферы.

Мантия Земли — оболочка «твердой» Земли, расположенная между земной корой и ядром Земли.

Мезоны — нестабильные элементарные частицы с нулевым или целым спином, принадлежащие к классу адронов.

Метагалактика — часть Вселенной, доступная современным астрономическим методам исследований; содержит несколько млрд галактик.

Метан — простейший углеводород, бесцветный газ, химическая формула — CH_4 .

Метеориты — малые тела Солнечной системы, падающие на Землю из межпланетного пространства; различают железные и каменные метеориты.

Мутагенез (лат. *mutatio* — изменение, перемена) — процесс возникновения наследственных изменений — мутаций, появляющихся спонтанно или вызываемых различными физическими и химическими факторами — мутагенами.

Мутации (лат. *mutatio* — изменение, перемена) — возникающие естественно или вызываемые искусственно стойкие изменения наследственных свойств организма в результате перестроек и нарушений в генетическом материале организма — хромосомах и генах; мутации — основа изменчивости в живой природе.

Наследственность — способность организмов передавать свои признаки и особенности развития потомству. Преемственность наследственных свойств обеспечивается передачей генетической информации. У эукариот материальными единицами наследственности являются гены, локализованные в хромосомах ядра и ДНК

органелл. Наследственность наряду с изменчивостью обеспечивает постоянство и многообразие форм жизни и лежит в основе эволюции живой природы.

Натуральная философия (от лат. *natura* — природа и др.-греч. φιλοσοφία — любовь к мудрости) — исторический термин, обозначавший всю деятельность по познанию природы, фактически, физика.

Нейтрино (итал. *neutrino*, уменьшит. от *neutrone* — нейтрон) — стабильная незаряженная элементарная частица со спином $1/2$, относящаяся к лептонам.

Нуклеиновые кислоты — важнейшие биологически активные биополимеры, имеющие универсальное распространение в живой природе. Различают два типа нуклеиновых кислот: дезоксирибонуклеиновая кислота (ДНК), содержащаяся преимущественно в ядрах клеток; ДНК является тем генетическим материалом, в последовательности структуры которой записана наследственная информация всех живых организмов; рибонуклеиновая кислота (РНК), находящаяся главным образом в цитоплазме.

Нуклеотиды — составляющие части нуклеиновых кислот, природные соединения. Нуклеотиды ДНК бывают четырех видов: на основе азотистых оснований — аденина, тимина, гуанина и цитозина. Из нуклеотидов, как из звеньев, построены цепочки нуклеиновых кислот.

Нуклон (лат. *nucleus* — ядро) — общее название протона и нейтрона, частиц, образующих атомные ядра.

Озон (греч. *ozon* — пахнущий) — аллотропная модификация кислорода (O_3); бесцветный газ с резким запахом, сильный окислитель, используется для обезвреживания воды и воздуха. Озоновый слой атмосферы предохраняет живые организмы от губительного воздействия космического ультрафиолетового излучения.

Онтогенез (греч. *ontos* — существо и *генез* — происхождение) — индивидуальное развитие организма, совокупность преобразований организма от зарождения до конца жизни.

Органеллы — «органы» простейших, выполняющих различные функции: двигательные, сократительные, рецепторные, пищеварительные и др.

Органогены (от *орган* и греч. *genos* — рождающий) — главные химические элементы, входящие в состав органических веществ: углерод, кислород, водород, азот, фосфор, сера.

Органоиды (от *орган* и греч. *eidos* — вид) — постоянные специализированные структуры в клетках животных и растений; к ним относятся хромосомы, митохондрии и др. Органоиды часто называют *органеллами*.

Панспермия (др.-греч. *pan* — всё и *sperma* — семя) — гипотеза о появлении жизни на Земле в результате занесения из космического пространства «зародышей жизни».

Пантеизм (греч. *pan* — всё и греч. *theos* — бог, божество) — учение о том, что всё есть Бог; учение, обожествляющее Вселенную, природу.

Парсек (сокр. от *параллакс* и *секунда*) — единица длины, применяемая в астрономии, равна 3,26 световых года ($3,09 \cdot 10^{16}$ м).

Пептидная связь — химическая связь (–СО – NH–), соединяющая аминоклаупу одной аминоклаулоты с карбоксильной группой другой в молекулах пептидов и белков.

Пептиды — органические вещества, состоящие из остатков аминоклаулот, соединенных пептидной связью; в живых клетках пептиды синтезируются из аминоклаулот либо являются продуктами обмена белков. К пептидам относятся многие природные биологически активные вещества, а также некоторые гормоны (инсулин и др.), антибиотики и др.

Пластиды (греч. *plastos* — вылепленный) — цитоплазматические органоиды растительных клеток; нередко содержат пигменты, определяющие их окраску.

Полимеры (от *поли* и греч. *meros* — доля, часть) — вещества, молекулы которых (макромолекулы) состоят из большого числа повторяющихся звеньев; их молекулярная масса может изменяться от нескольких тысяч до многих миллионов. По происхождению полимеры делятся на природные или биологические (например, белки, нуклеиновые кислоты, натуральный каучук) и синтетические (например, полиэтилен, полиамиды и др.); полимеры — основа пластмасс, химических волокон, резины и т. п.; из биополимеров состоят клетки всех живых организмов.

Полинуклеотиды — полимерные органические соединения, образованные остатками моноклаулотидов; природные полинуклеотиды — нуклеиновые кислоты.

Популяция (лат. *populus* — народ, население) — совокупность особей одного вида, более или менее длительно занимающая некоторую территорию, относительно изолированная от других, обладающая определенным генофондом и воспроизводящая себя в течение большого числа поколений; особи одной популяции имеют большую вероятность скрещиваться друг с другом, чем с особями других популяций. Рассматривается как элементарная единица эволюции.

Постулат (лат. *postulatum* — требование) — утверждение (суждение), принимаемое в рамках какой-либо научной теории за истинное, хотя и недоказуемое ее средствами, и поэтому играющее в ней роль аксиомы.

Приматы (лат. *primates* — первенствующие) — высший отряд млекопитающих, включающий два подотряда: полуобезьяны и обезьяны; свыше двухсот видов — от лемуров до человека.

Прокариоты (лат. *pro* — вперед, вместе и греч. *karyon* — ядро) — организмы, не обладающие, в отличие от эукариот, оформленным клеточным ядром (вирусы, бактерии, сине-зеленые водоросли).

Протоплазма (от *proto* и греч. *plasma* — вылепленное, оформленное) — содержимое живой клетки — ее цитоплазма и ядро.

Пульсары (англ. *pulsars* — пульсирующие источники радиоизлучения) — космические источники импульсного электромагнитного излучения, открытые в 1967 г.

Рациональный (лат. *rationalis* — разумный) — разумный, целесообразный, обоснованный.

Редукционизм — сведение сложного к простому, составного к элементарному.

Реликтовое излучение — фоновое космическое излучение, спектр которого близок к спектру абсолютно черного тела с температурой 2,7 К; происхождение реликтового излучения связывают с эволюцией Вселенной, которая в прошлом имела очень высокую температуру и плотность излучения (горячая Вселенная).

Реляционная концепция (от лат. *relatio* — отношение). Пространство и время — не самостоятельные сущности, а отношения, образуемые взаимодействием материальных объектов, свойства движущейся материи.

Рецепторы (лат. *receptor* — принимающий) — окончания чувствительных нервных волокон или специализированные клетки (сетчатки глаза, внутреннего уха и др.), преобразующие раздражения, воспринимаемым извне или из внутренней среды организма, в нервное возбуждение, передаваемое в центральную нервную систему.

РНК (рибонуклеиновая кислота) — высокомолекулярные органические соединения, тип нуклеиновых кислот; образованы нуклеотидами, в которые входят аденин, гуанин, цитозин и урацил, а также сахар, рибоза (в ДНК вместо уроцила — тимин, вместо рибозы — дезоксирибоза); в клетках всех живых организмов участвуют в реализации генетической информации.

Самоорганизация — целенаправленный процесс, в ходе которого создается, воспроизводится или совершенствуется организация сложной динамической системы; свойством самоорганизации обладают объекты различной природы: клетка, организм, биологическая популяция, биогеоценоз, человеческий коллектив и др.

Сверхпроводимость — физическое явление, наблюдаемое у некоторых веществ (сверхпроводников) при охлаждении их ниже определенной температуры и состоящее в обращении в нуль электрического сопротивления постоянному току и в выталкивании магнитного поля из объема образца; критическая температура высокотемпературных сверхпроводников составляет около 100 К.

Селекция (лат. *selectio* — выбор, отбор) — выведение новых и улучшение существующих сортов растений, пород животных путем применения научных методов отбора.

Сингулярность (лат. *singularis* — единственный) — начальное сверхплотное состояние Вселенной.

Синергетика (греч. *synergetikos* — совместный, согласовано действующий) — научное направление, изучающее связи между элементами структуры (подсистемами), которые образуются в открытых системах (биологических, физико-химических и др.) благодаря интенсивному (потокосовому) обмену веществами и энергией с окружающей средой в неравновесных условиях; в таких системах наблюдается согласованное поведение подсистем, в результате чего возрастает степень ее упорядоченности, т. е. уменьшается энтропия (т. н. самоорганизация).

Синтез (греч. *synthesis* — соединение, сочетание) — соединение (мысленное или реальное) различных элементов объекта в единое целое (систему).

Спектроскопия — раздел физики, посвященный изучению спектра электромагнитного излучения.

Спин (англ. *spin* — вращение) — собственный момент импульса микрочастицы, имеющей квантовую природу.

Стохастический (греч. *stochastikos* — умеющий угадывать) — случайный, вероятностный.

Стратосфера (лат. *stratum* — слой и *сфера*) — слой атмосферы, лежащий над тропосферой от 8–10 км в высоких широтах и от 16–18 км вблизи экватора до 50–55 км; характеризуется повышенным по сравнению с ниже- и вышележащими слоями содержанием озона.

Субстанция (лат. *substantia* — сущность) — то, что лежит в основе, то, что существует самостоятельно, само по себе.

Таксон (др.-греч. порядок, устройство, организация) — группа в классификации, подразделение биологической систематики.

Телеология (от греч. совершенный + учение) — учение о целесообразности бытия, оперирующее наличием разумной творческой воли (Творца).

Тимин — пиримидиновое основание, содержащееся во всех живых организмах в составе ДНК; одна из четырех «букв» генетического кода.

Тритий (лат. *Tritium*, от греч. *tritos* — третий) — сверхтяжелый радиоактивный изотоп водорода с массовым числом 3.

Фауна (лат. *Fauna* — богиня лесов и полей, покровительница животных в римской мифологии) — исторически сложившаяся совокупность видов животных, обитающих на определенной территории.

Фенотип (греч. являю, обнаруживаю и образец) — совокупность внешних и внутренних признаков организма, приобретённых в результате онтогенеза (индивидуального развития). Фенотип формируется на основе генотипа, опосредованного рядом внешнесредовых факторов. У диплоидных организмов в фенотипе проявляются доминантные гены.

Ферменты (лат. *fermentum* — закваска) — биологические катализаторы, присутствующие во всех живых клетках; осуществляют превращение веществ в организме, направляя и регулируя тем самым его обмен веществ; по химической природе — белки.

Филогенез (др.-греч. племя и рождение) — история развития биологического вида.

Флора (лат. *Flora* — богиня цветов и весеннего цветения в римской мифологии) — исторически сложившаяся совокупность видов растений какой-либо местности или геологического периода.

Флуктуация (лат. *fluctuatio* — колебание) — случайное отклонение физических величин от их средних значений.

Хиральность (*киральность*) (др.-греч. рука) — отсутствие симметрии относительно правой и левой стороны, как у правой и левой руки. Например, если от-

ражение объекта в идеальном плоском зеркале отличается от самого объекта, то объекту присуща хиральность.

Хромосомы (греч. цвет тела) — структурные элементы ядра клетки, продолговатые тельца, которые содержат гены, а те в свою очередь ДНК; самовоспроизводящиеся структуры в ядрах клеток животных и растений, участвующие в процессах размножения. Хромосомы — основные носители генетического материала, обеспечивающие его передачу от поколения к поколению.

Центромера — участок хромосомы, удерживающий вместе две ее нити; во время деления центромера направляет движение хромосом к полюсам клетки.

Цитозин — пиримидиновое основание, содержащееся во всех живых организмах в составе нуклеиновых кислот; одна из четырех «букв» генетического кода.

Цитоплазма (греч. клетка и содержимое) — внутренняя среда клетки, кроме ядра и вакуоли, ограниченная плазматической мембраной, одна из основных частей клетки; живая коллоидальная система с упорядоченной субмикроскопической структурой; содержит все органоиды и обуславливает жизнедеятельность клетки в целом.

Цитоплазма — внеядерная часть протоплазмы животных и растительных клеток.

Эволюция (лат. *evalutio* — развертывание) — одна из форм движения в природе и обществе — непрерывное, постепенное количественное изменение, в отличие от революции.

Экосистема (греч. *oikos* — жилище, местопребывание и система) — единый природный комплекс, образованный живыми организмами и средой их обитания.

Энергия (др.-греч. деятельность) — скалярная физическая величина, единая мера различных форм движения и взаимодействия материи, мера перехода движения из одной формы в другую (механическую, тепловую, электрическую, ядерную. . .).

Эукариоты (греч. *eu* — хорошо и *karyon* — ядро) — все организмы, клетки которых содержат оформленное ядро, отделенное оболочкой от цитоплазмы.

Ядерные силы — силы, действующие между *нуклонами*, представляют собой проявление сильного взаимодействия — одного из фундаментальных физических взаимодействий.

Ядро (в биологии) — самый заметный и самый большой органоид клетки, обеспечивающий важнейшие метаболические и генетические ее функции.

Учебное издание

Воеводина Ольга Викторовна

**КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО
ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ**

Учебное пособие

Корректор Осипова Е. А.

Компьютерная верстка Мурзагулова Н. Е.

Издано в Томском государственном университете
систем управления и радиоэлектроники.
634050, г. Томск, пр. Ленина, 40
Тел. (3822) 533018.