

Министерство образования Российской Федерации
Томский политехнический университет

В.А. Стародубцев

КОНЦЕПЦИИ
СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Учебное пособие

Томск 2002

УДК 53.072
С 77

Стародубцев В.А. Концепции современного естествознания: Учеб. пособие / Том. политех. ун-т. – 2-е изд., доп. – Томск, 2002. – 184 с.

В учебном пособии рассмотрены вопросы становления современной парадигмы естествознания, его античные и классические предпосылки, концепции фундаментальных полей и пространства – времени. Изложены современные концепции эволюции вселенной, возникновения живого вещества и разума на Земле. Рассмотрены процессы биосинтеза в клетке, самоорганизации и возникновения динамического хаоса. Работа подготовлена на кафедре общей физики ТПУ и предназначена для студентов направлений 521600 (экономика), 061100 (менеджмент организации), 061500 – (маркетинг), 060800 (экономика и управление на предприятии), изучающих курс “Концепции современного естествознания”, а также для преподавателей, учащихся выпускных классов лицеев и школ.

Печатается по постановлению Редакционно-издательского Совета Томского политехнического университета.

Рецензенты:

Ю.И.Тюрин – профессор кафедры общей физики Томского политехнического университета, доктор физико-математических наук;

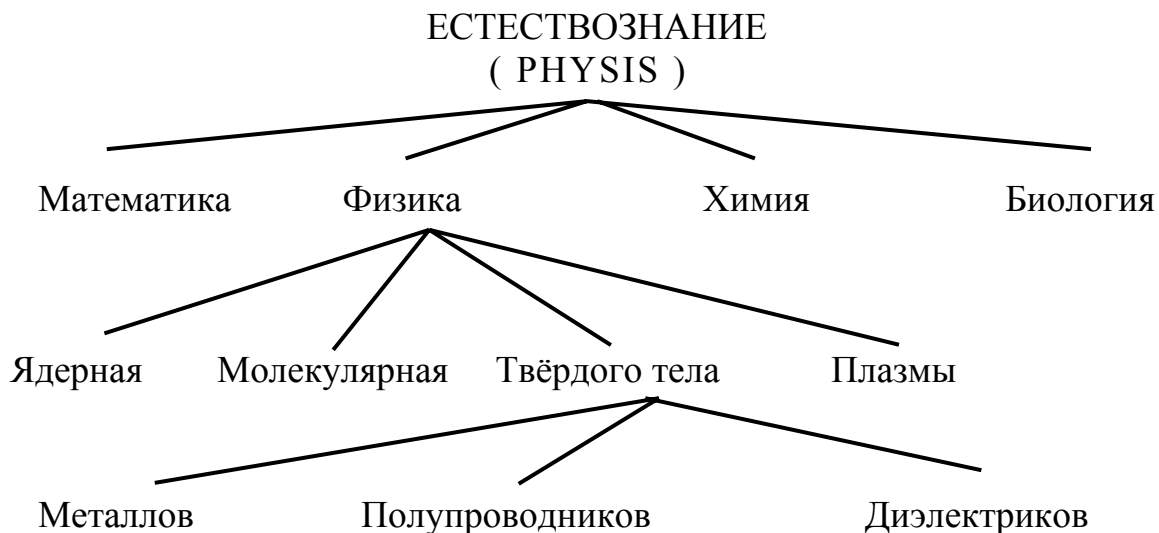
Г.Б. Рябова – доцент кафедры культурологии и социологии Томской академии систем управления и радиоэлектроники, кандидат исторических наук.

Темплан 2002

Томский политехнический университет, 2002

ВВЕДЕНИЕ

Исторический процесс разделения (дифференциации) прежде единой науки о природе – естествознания – можно проиллюстрировать следующей схемой.



Появление термина PHYSIS связывают с именем древнегреческого философа Аристотеля, один из трудов которого так и назывался. «В науке о природе надо определить прежде всего то, что относится к началам» – утверждал Аристотель [1]. В соответствии с этим постепенно выделилась физика - наука о наиболее общих, основных, «начальных» законах движения материи. Затем появляются вполне самостоятельные области физики, имеющие свои специфические объекты исследования и свои методы исследования. В общем случае можно записать следующую «формулу» выделения отдельных наук:

Наука = Объекты + Методы исследования.

Видный психиатр Эрик Берн [2] применяет название «физис» для обозначения естественной движущей силы развития человеческой личности. В свете современной тенденции к объединению естественнонаучного и гуманитарного знания такое толкование «физики» представляется правомерным и далеко идущим. Понимание основных принципов устройства мироздания и места современного человека в нем представляется столь же необходимым элементом культуры, как знание мировой литературы, истории или живописи. Аристотель разделял науки на три группы: теоретические, практические и творческие. В теоретических науках познание ведется ради него самого. Практические лежат в основе производственной деятельности человека, а целью творческих наук является достижение Прекрасного.

Среди теоретических наук Аристотель выделял математику, физику (основу естествознания) и то, что позднее было названо метафизикой. К последней относились те «начала», которые недоступны для органов чувств человека и которые могут быть постигнуты только интуитивно, умозрительно. Можно сказать, что физика стала в дальнейшем основой науки, изучающей воспроизводимые явления в количественных измерениях, тогда как метафизика явилась обоснованием для оккультизма и мистики, веры в сверхъестественные силы и паранормальные явления.

В XIX в. Ф. Энгельс разделял науки на естественные и общественные. (Иронизируя, академик - физик Л.Д. Ландау говорил, что «науки делятся на естественные и неестественные»...).

В XX в. классификация наук производилась на основании объектов изучения: явления природы, тела и предметы природы, неживая природа, живая природа. Наряду с появлением обособленных областей естествознания, во второй половине XX в. появились науки интегративные, которые не укладывались в рамки принятой классификации. Ярким примером является *экология*, объектами которой являются как живая, так неживая природа, производственная деятельность человека и ее социальные последствия. Другим примером может быть *синергетика* - наука о явлениях самоорганизации в живой и неживой природе. К числу интегративных наук следует отнести и современное естествознание.

Традиционные школьные и многие вузовские курсы физики не учитывают всевозрастающей роли знаний о живом веществе нашей планеты, открытий в молекулярной генетике, исследований информационных потоков на уровне генома человека. Фрактальный характер окружающего мира и его самоорганизуемость на всех уровнях структурной иерархии материи не находят в них достойного отражения.

С учетом этих фактов в структуру цикла общих естественнонаучных дисциплин базового высшего образования студентов - гуманитариев включена дисциплина «Концепции современного естествознания» с целью формирования у них целостного взгляда на окружающий мир. Она представляет собой продукт междисциплинарного синтеза на основе комплексного эволюционно-синергетического и историко-философского подходов к современному естествознанию. Ее появление в Государственных образовательных стандартах обусловлено тем фактом, что сейчас методология рационального естествознания активно проникает и в гуманитарную сферу, участвуя в формировании сознания общества [3].

Согласно Государственным образовательным стандартам высшего профессионального образования, данная дисциплина включена в обязательный минимум содержания профессиональных образовательных программ более чем по 20 направлениям подготовки специалистов.

Задачи курса:

- формирование ясного представления о физической картине мира, как основе целостности и многообразия природы;
- изучение и понимание сущности ограниченного числа фундаментальных законов природы, составляющих каркас современных физики, химии, биологии, а также - ознакомление с принципами моделирования природных явлений;
- понимание необходимости смены языка описания природных процессов по мере их усложнения от макроскопических систем к квантовым, от неживых систем - к живой клетке, организму, биосфере;
- формирование представлений о принципах универсального эволюционизма и синергетики;
- осознание проблем экологии и общества в их связи с основными концепциями и законами естествознания.

Поскольку все науки и естествознание в целом находятся в развитии, то термин «современное» имеет относительное значение. Находясь в начале XXI века, можно поставить следующие условные рамки периодов становления естествознания:

до 1900	– классическое естествознание,
1900-1960	– неклассическое (квантовое),
после 1960-70 годов	– постнеклассическое.

Основанием для принятия начала 60-х гг. как рубежа оформления постнеклассического, или современного, естествознания служат расшифровка структуры ДНК и кодонов, создание теории регуляции активности генов, разработка кварковой теории микрочастиц, выход человека в околоземный космос. В этот период времени происходит объединение принципов и методов отдельных наук, поворот к выбору общих объектов исследования. Так, живая клетка и ее генные структуры исследуются методами радиографии, химии, физики, системного анализа, кибернетики. Появились общие интересы у таких далеких, казалось бы, дисциплин, как астрофизика и физика элементарных частиц. К концу XX столетия наряду с изучением свойств физического вакуума как формы существования и движения материи, изучения экстремальных состояний вещества в центрах галактик, все большее развитие получают исследования объектов живой природы («умных» генов, дефектов структуры ДНК и белков), процессов функционирования мозга и нервной системы, исследования внутреннего мира человека.

В соответствии с происходящими изменениями для современного периода характерно формирование новой парадигмы естествознания. Поясним этот и некоторые другие взаимосвязанные термины.

Парадигма: Рамочная концепция, основанная на общих признаках и принципах взаимодополняющих концепций, позволяющая *определить общий подход к выработке концепций и постановке новых проблем* на данном этапе развития человеческого общества.

Концепция: Совокупность главных идей, методов исследования и описания результатов.

Проблема: Постановка таких вопросов или целей исследований, ответ на которые требует не только использования известных законов, но и получения новых знаний.

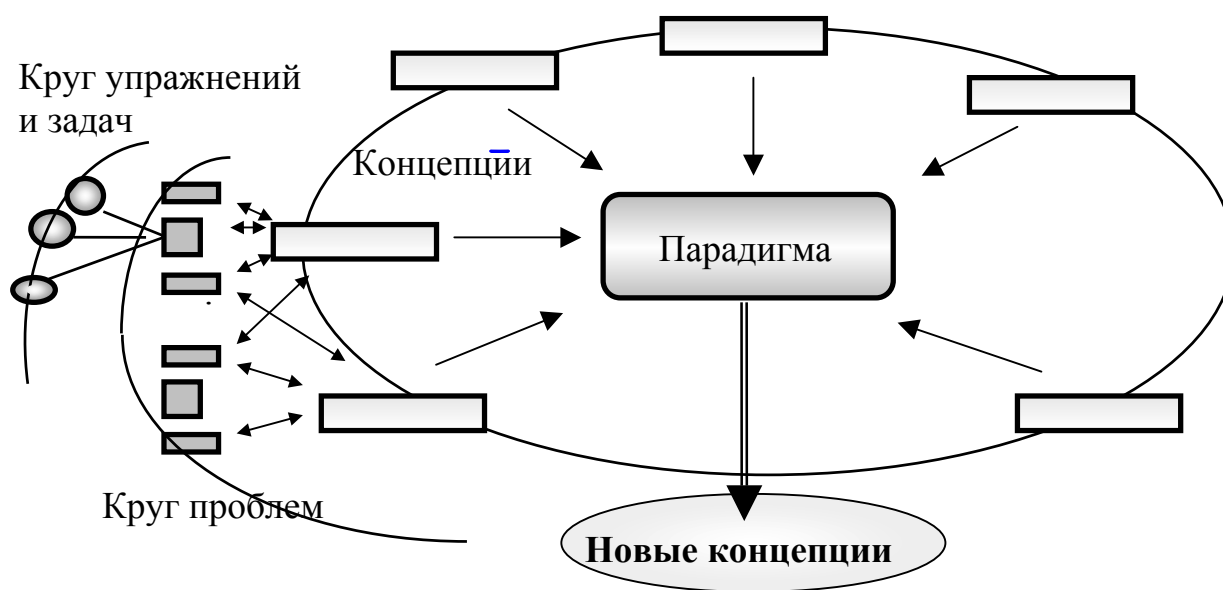


Рис. 1. Схема взаимосвязей при формировании парадигмы

Проблемы обычно возникают в противоречивых ситуациях в физике и других науках. Появление новых проблем стимулирует формирование новых концепций, что затем приводит к появлению новой парадигмы. Как правило, смена парадигмы в науке сопровождается заметными изменениями в гуманитарной культуре, экономике, человеческой цивилизации в целом.

Примеры смены парадигмы:

Плоская Земля – Земной шар

Геоцентристская система – Гелиоцентристская система

Механика Ньютона – Квантовая механика

В настоящее время в естествознании все четче проявляется тенденция к смене парадигмы. Она еще не «выкристаллизовалась» окончательно, но основные направления уже вполне проявились.

Тенденции в формировании современной естественнонаучной парадигмы:

1. Переход от дробления наук к их объединению.
2. Учет роли и особенностей человека в процессе получения нового знания.
3. От покорения природы к гармонии и к эволюции с ней!
4. Объединение гуманитарной и естественнонаучной культур.

Как было выше отмечено, объектом изучения в естествознании является человек и окружающий его мир. Какие методы исследования и описания результатов используются в современном естествознании?

В первую очередь это традиционные общенаучные методы: наблюдение, измерение, эксперимент, анализ и синтез, индукция и дедукция, формализация и идеализация, аналогия и моделирование. Среди них все большую роль играет компьютерное моделирование. С его помощью исследованы глобальные последствия военных конфликтов с применением ядерного оружия, обнаружена стадия образования протозвезд при формировании новых звезд, разрабатываются новые биологически активные и лекарственные вещества. Появилось понятие виртуальной реальности. Первоначально под этим понимали отражение информации, получаемой с помощью компьютерной модели объекта или процесса, в чувственно воспринимаемой человеком форме, как правило - в визуальной форме трехмерных изображений. Широкие возможности компьютерной обработки изображений и компьютерная анимация были очень быстро осознаны и востребованы в гуманитарной культуре. В кино и на телевидении появились произведения, совмещающие как реальные события (например фильмы З. Рыбчинского «Манхэттен» или «Вашингтон»), так и реальных актеров, эстрадных исполнителей, ведущих телешоу с персонажами, созданными компьютерными программами. Так в повседневности проявилось влияние современной науки на современную культуру. С другой стороны, появляется и проблема взаимоотношения человека с этой новой искусственной реальностью. По некоторым прогнозам эта проблема, наряду с проблемами внутреннего мира человека, будет входить в круг интересов естествознания XXI века.

Еще одной мощной концептуальной установкой в современном естествознании является антропный принцип. Если постараться выразить его в форме лозунга, то (по нашему мнению) он должен звучать так: «Творцом Человека является Вселенная!». В альтернативном варианте высказывания антропный принцип обычно формулируют в виде утверждения «Вселенная такова, какая она есть, потому что в ней существует Человек». Созвучно этому, современные философы призывают изучать и ставить целью будущих исследований коэволюцию (совместную эволюцию) Человека и Природы [4]. Таким образом, вырисовывается все большая «вовлеченность» человека как предмета интересов и объекта исследований в современное естествознание.

В данном учебном пособии мы рассмотрим в общих чертах путь, пройденный естествознанием, в область микромира, а также - концепцию эволюции Вселенной и ее структурных составляющих. Это необходимо для того, чтобы яснее представить себе причины и пространственно - временные рамки образования солнечной системы, появления живых организмов на Земле и неизбежность эволюции к Человеку Разумному (Homo Sapiens). Тогда будет понятен смысл вышеприведенного лозунга. Общая опорная схема пособия приведена на рис. 2.



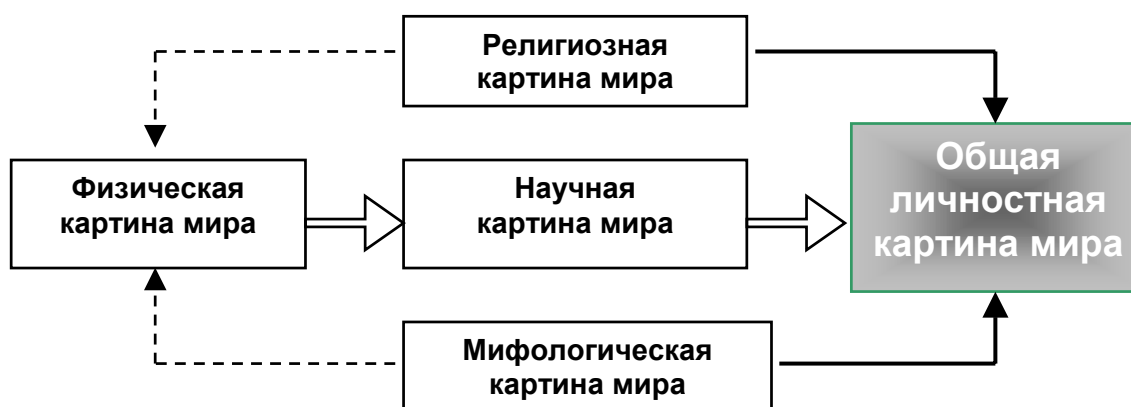
Рис. 2. Опорная схема курса

Попутно мы сможем рассмотреть еще одну особенность современного естествознания – тенденцию к интеграции и взаимодействию прежде дифференцированных областей естествознания. В частности, показать общность интересов физики элементарных частиц и космологии в изучении начальных условий, существовавших при образовании Вселенной, показать правомерность использования классического уравнения состояния идеального газа в астрофизике, не говоря уж о применении здесь выводов специальной и общей теории относительности, ядерной физики или квантовой механики. С другой стороны, многие нелинейные процессы в физике и химии описываются бифуркационной моделью, разработанной для изолированной популяции насекомых.

Учитывая то обстоятельство, что данное пособие предназначено в первую очередь для студентов гуманитарных направлений обучения, рассмотрение многих естественнонаучных проблем будет вестись на уровне выделения главных идей, схем и образов без углубленной математической проработки.

1. ИСТОКИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ. КОНЦЕПЦИИ ЭЛЕМЕНТАЛЕЙ

Общей целью естествознания является создание научной картины мира, показывающей единство и целостность человека и окружающего его мира. Научная картина мира чрезвычайно важна для формирования мировоззрения человека. Однако она является одной из составляющих личностной общей картины мира. Другими компонентами служат религиозная картина мира и метафизическая картина мира. Несколько упрощая, можно представить следующую схему формирования общей картины мира в сознании конкретного человека.



Религиозная картина мира является самой древней и наиболее догматической, неизменной. В свое время она отвечала потребностям человека в объяснении устройства окружающей человека природы, ее происхождения и появления самого человека. Основанием религиозной картины мира является вера в Творца, обладающего могуществом, достаточным для сотворения мира.

Физическая картина мира традиционно ограничивается рамками неживой природы. Она изменяется с развитием научных знаний (механическая картина мира - электромагнитная - квантово-релятивистская). На ее базе строится более общая научная картина мира, включающая в себя также знания о живой природе и внутреннем мире человека.

Метафизическая картина мира базируется на суевериях, искаженной вере в возможности таких методов познания природы и воздействия на человека, как медитация, экстрасенсорное восприятие, магические знаки и заговоры, талисманы, пантакли, телепатия, телекинез и тому подобное. Толкование снов, астрологические предсказания, хиромантия и приметы - все это можно найти в программах телевидения и на страницах популярных газет и журналов. Не замечать наличия этих областей человеческой культуры и их взаимодействия с естествознанием невозможно. Наоборот, следует выделить те рациональные идеи, которые имеются в этих областях и которые оказали позитивное влияние на развитие науки.

1.1. Деистические концепции сотворения мира

Согласно Торе, Библии и Корану, в процессе творения мира происходит его структурирование из первоначальной неорганизованности, хаоса. Первое разделение бинарно - противоположно: Верх и Низ. Следующей “командой на управление” является «*Да будет свет!*» Свет-Огонь выжигает часть Воды и появляется Твердь-Суша (или земля, в узком смысле слова). Затем в действие вступает Божественное Провидение, которое определяет эволюцию созданного мира. Организуются небесные сферы звезд и планет. Их роль - нести Провидение на землю и воду, быть мерилем времени и источником света. В небе появляются птицы, в воде - рыбы, на суше - звери. *И все оказывается хорошо.* Есть структурированный мир - земной рай, но нет субъекта, который мог бы оценить красоту и совершенство созданного, оценить роль Творца и возблагодарить Его. Тогда из земного вещества - праха (глины?) Бог создает первочеловека - Адама - и передает ему часть своего Святого Духа в виде Разума. Остальные живые существа его лишены, дух противопоставлен плоти. *Так появляется субъект наблюдения Мира и действия в нем.*



Третья компонента (Бог-Сын) необходима для того, чтобы научить ставшее многочисленным население земли нормам морали, этики.

Идея триады встречается и в других религиях древних цивилизаций. По дошедшим до нас отголоскам во многих верованиях верховный бог разделяется на отдельные соподчиненные божества, которые имеют свои полномочия. В качестве примера можно привести следующую таблицу, в которой

указаны страна и соответствующие боги созидания, существования и разрушения.

Боги:	Созидания	Существования	Разрушения
Египет	Аммон	Фта	Озирис
Персия (Бактриана)	Зеруане	Ормузд	Ариман
Индия	Мана	Буди	Кали

Первые в триадах - это боги созидания мира, вторые - управления им и третьи - боги разрушения, с которыми ассоциируется Зло. В массовой культуре современности нередки обращения к символике древних цивилизаций и обыгрывание обращений (заклинаний) к божествам разрушения.

Нам же важно подчеркнуть, что уже в древних религиях мы находим свидетельства понимания того обстоятельства, что разрушение и возврат в Хаос есть необходимый и существенный элемент мироустройства. Можно сказать, что опыт человечества, отраженный в истоках науки - религии, утверждает существование как борьбу противоположных тенденций. Первая - стремление к организации, другая - к деструкции.

Обратим внимание на некоторые моменты.

Во-первых, неявно полагается, что в Хаосе *потенциально* содержались все появившиеся в процессе творения структуры. Во-вторых, общее начало подразумевает *единство и взаимосвязь созданного Мира*. Идеи единства и взаимосвязи мира, содержательной сущности хаоса, единство структурирования и распада являются основополагающими и для современного естествознания.

1.2. Античные концепции элементарей окружающего мира

Элементали - структурные части, из которых строятся более крупные блоки вещества.

Окружающий человека мир необычайно разнообразен. Античные философы многообразие форм окружающего мира, воспринимаемое чувствами человека, считали фактором, который мешает разуму определить внутреннюю суть вещей. Считалось, что настоящий философ должен отстраниться, мы теперь говорим - абстрагироваться, от различия форм и разумом постичь общее начало в многообразии.

Знаменитый математик и философ Пифагор (570 – 500 гг. до н.э.) в качестве самых основных выделял пять видов первоэлементов, каждому из которых сопоставлялась своя геометрическая форма: Земля (куб), Огонь (тетраэдр), Воздух (октаэдр), Вода (икосаэдр), Эфир (додекаэдр). Смешиваясь между собой, эти неизменные основы вещества порождают все многообразие природы.

На этой основе Аристотель (384 - 322 гг. до н. э.) построил свою систему свойств и качеств. Эфир он отнес к области космоса, остальные элементали - к области Земли.

В основе земных вещей по Аристотелю лежат 4 элемента, которые он приводит в противопоставлении.

I пара: Огонь - Вода

II пара: Земля - Воздух

Пары образуют *крест противоположностей*. При этом Земля и Вода как элементы тяжелые обладают стремлением падать вниз, а Огонь и Воздух стремятся вверх. Взаимодействие элементов, их смешивание (на современном языке - суперпозиция) создает свойства и качества всех материальных

вещей. Качества могут быть противоположными: Сухость и Влажность, Влажность холодная и горячая и так далее.

В логике Аристотеля бинарными противоположностями (альтернативами) являются Истина и Ложь. «Третьего - не дано». Принцип исключения третьего способствовал развитию логики и оказал большое влияние на смежные области. Однако привычка ожидать в окружающем мире только бинарные противоположности приводила физиков к многолетним спорам по поводу того, например, является ли свет потоком частиц (Ньютон) или последовательностью волн (Гюйгенс).

1.3. Концепция классического атомизма

Греческий философ Демокрит (460-370 гг. до н.э.) является автором понятия «атом». С Демокритом связана первая из нескольких известных легенд о яблоке. Разрезая яблоко, Демокрит задумался о проблеме делимости тел: Половина, половина, Где же кончается яблоко? Есть ли, в принципе, предел процессу дихотомии? Демокрит пришел к заключению о наличии предела делимости тел. Атомы - это наименьшие, более не разрезаемые (вследствие "твердости") части любых сложных по составу и форме тел.

Логическое обоснование необходимости предела уменьшения частей тел позднее дал римский поэт и философ Тит Лукреций Кар (99 - 55 гг. до н.э.) в своем пересказе идей Демокрита. Можно процитировать его труд «De Rerum Natura»:

*Если не будет затем ничего наименьшего, будет
Из бесконечных частей состоять и мельчайшее тело:
У половинки найдется всегда и своя половина.
И для деленья нигде не окажется вовсе предела.
Чем отличишь ты тогда наименьшую часть от Вселенной?*

Этот вопрос является базовым, фундаментальным и для современного естествознания. В античности решение проблемы могло быть только логическое. Предел нужен, чтобы отличить наименьшую часть от вселенной. Иначе возникает ситуация «дурной бесконечности» в лестнице масштабных уровней.

Кроме логики, Тит Лукреций Кар приводит и ряд экспериментальных фактов о наличии невидимых мельчайших частиц. Ветер невидим, но воздействует на поверхность моря, вызывая волны. Запахи и звуки невидимы, холод и тепло, влажная одежда высыхает у огня и т.д. Главный вывод, к которому приходит философ, таков:

*... Это все обладает, однако, телесной природой,
Если способно оно приводить наши чувства в движение.
Ведь осязать, как и быть осязаемым, тело лишь может! ...*

Таким образом, можно выделить следующие свойства атомов в концепции античных мыслителей:

1. Невидимы (так малы).
2. Телесны (материальны, вещественны).
3. Твердые (неразделимы).
4. Число их типов - бесконечность.
5. Вихревое движение атомов - непрерывно.

Фактически перечисленные свойства признаются и современным естествознанием. В химических реакциях атомы неделимы, вращательное движение (спин) - присуще всем элементарным частицам. Но число типов атомов ограничено. Кроме того, они оказались составными системами и «делимыми».

Идеи Демокрита, да и их поэтическое изложение были забыты в эпоху средневекового религиозного фанатизма.

1.4. Концепция атома как планетарной системы

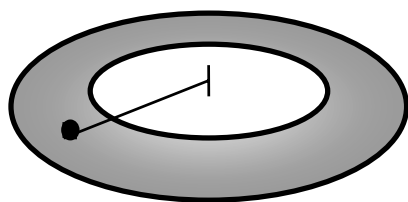
Эта проблема возникла после открытия электрона. История поиска частицы «еще меньшей», чем атом, физические эксперименты Крукса и Томпсона интересно описаны в [5]. Параллельно с ними проводились опыты по определению заряда ионов в химии. При электролизе воды в приборе Гофмана, в одной части сосуда, где помещен отрицательный электрод, выделяется водород, в другой - кислород. Измерив количество прошедшего в цепи электричества и объем полученного водорода, можно рассчитать заряд одного иона водорода: $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Такое количество электрического заряда теряет атом водорода при ионизации.

Масса же при этом остается почти неизменной, уменьшаясь примерно на одну двухтысячную от величины массы атома водорода. Заряд уносит очень маленькая по массе частица, которая и была названа электроном. Заряды всех других ионов всегда кратны по абсолютной величине заряду иона водорода. Это означает, что электроны входят в состав всех атомов. Более того, и в химии, и в физике сформировалось устойчивое мнение о том, что заряд электрона является естественной единицей количества электричества, меньше которой не бывает. По меньшей мере, два вопроса возникли после подтверждения факта существования электрона:

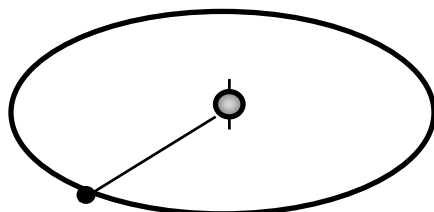
1. Где находится электрон в составе нейтрального атома: снаружи или внутри положительно заряженной массы?
2. Что собой представляет область положительного заряда?

В начале XX столетия были высказаны почти одновременно несколько гипотез о внутренней структуре атома. При этом все авторы исходили из принципа единства мира и подобия его частей. Этот принцип имеет древнее происхождение. Считается, что его высказал древнеегипетский мистик Гермес Тримегист фразой: «То, что находится наверху, подобно тому, что находится внизу». Поэтому ожидалось, что объекты микромира могут быть устроены наподобие объектов мегамира или макромира. Модели атома водорода, предложенные различными авторами, представлены на следующей схеме:

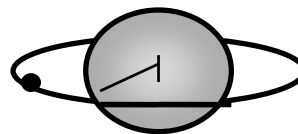
1901 год
Вихревая (кольцо дыма)
У. Томсон (лорд Кельвин)



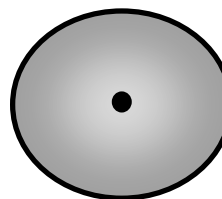
Нуклеарно-планетарная
Ж. Перрен



1904 год
Кольца Сатурна
Хантаро Нагаока



Пудинга
Дж. Дж. Томсон



Область положительного
заряда



Область отрицательного
заряда - электрон



Рис. 1.1. Схемы строения атома водорода

Какая из моделей верна? Ответ должен был дать эксперимент, таково общее правило в науке. Но какой эксперимент? Чем подействовать на атом?

Химические методы воздействий приводили к ионизации молекул и атомов, но не вскрывали его «внутреннее устройство». На помощь пришла физика, в арсенале которой к тому времени появились различные излучения с высокой проникающей способностью.

Более ста лет назад (1896) А. Беккерель открыл явление радиоактивности. Годом раньше В. Рентген обнаружил таинственные X-лучи, которые просвечивали, например, руку человека и оставляли на фотопластинке силуэты фаланг пальцев. Для современников Рентгена это было поразительно! Позднее выяснилось, что X-лучи, или рентгеновское излучение, представляет собой электромагнитные волны с энергией в десятки тысяч раз большей, чем у фиолетового светового излучения. Энергия радиоактивного гамма-излучения, всегда сопровождающего альфа- или бета-распад, не менее чем в миллион раз выше энергии светового излучения. Все электромагнитные излучения электрически нейтральны и не могут отклоняться в поле отрицательных или положительных зарядов. Для целей зондирования распределения зарядов в атомах более подходящими являлись бета-частицы (электроны) и альфа- частицы (ядра атомов гелия).



Э. Резерфорд
(1871 - 1937)

В 1909 г., по заданию Э. Резерфорда, его сотрудники Г. Гейгер и Э. Мардсен начали исследования рассеяния альфа-частиц тонкими (настолько, что они становились полупрозрачными для света) пленками золота. На обычном языке это называлось бомбардировать атом альфа- частицами. Совершенно неожиданно было обнаружено, что малое количество альфа-частиц (примерно одна частица на 8000 падающих) отклоняется почти назад, под углом до 180° . По воспоминаниям Э. Резерфорда, у него было ощущение, что пушечный снаряд отразился от листа бумаги! Однако через день Резерфорд догадался, какой внутренней структуре атома соответствуют результаты измерений.

Рассмотрим силы отталкивания, которые возникают при пролете альфа-частицы сквозь атом. Чтобы остановить альфа-частицы, а затем разогнать их в обратном направлении, потенциальная энергия электростатического отталкивания одноименно заряженных частиц должна быть равна или больше кинетической энергии бомбардирующих частиц:

$$\frac{q_\alpha \cdot Q}{4\pi\epsilon_0 r} \geq \frac{mV^2}{2} \quad (1.1)$$

Как следует из формулы (1.1), огромное значение потенциальной энергии взаимодействующих зарядов возможно только при r - чрезвычайно малом. По модели Резерфорда весь положительный заряд занимает крошечную область, радиус которой меньше десяти в степени минус пятнадцатой метра. То есть примерно во столько раз меньше радиуса атома, во сколько раз радиус Солнца меньше радиуса самой удаленной от него планеты.

Мельчайшая часть вещества – атом – казалась устроенной наподобие Солнечной системы. От модели Резерфорда было впечатление, что принцип Гермеса Тримегиста получил физическое подтверждение. Невольно возникали ассоциации с куклой - матрешкой, где в одной оболочке оказывается помещенной другая, подобная по форме, но меньшего размера, в ней следующая и так далее. Может быть, в природе нет конца этой лестнице ни вверх, ни вниз?

На основе этого предположения появились гипотезы инфра-мира, то есть мира меньшего масштабного уровня, и супра-мира - внешнего, большего по масштабу, чем обычный мир человека.

Суть первой гипотезы прекрасно показана в стихотворении русского поэта Валерия Яковлевича Брюсова «Мир электрона»:

*Быть может, эти электроны -
Миры, где пять материков,
Искусства, знания, войны, троны
И память сорока веков!*

*Еще, быть может, каждый атом -
Вселенная, где сто планет;
Там все, что здесь, в объеме сжатом,
Но также то, чего здесь нет.*

*Их меры малы, но все та же
их бесконечность, как и здесь;
Там скорбь и страсть, как здесь, и даже
Там та же мировая спесь.*

*Их мудрецы, свой мир бескрайний
Поставив центром бытия,
Спешат проникнуть в искры тайны
И умствуют, как нынче я.*

Гипотетические мудрецы на электроно-планете действительно измеряли бы время в единицах периода обращения электрона вокруг ядра. И их год был бы весьма скоротечен по сравнению с нашим астрономическим годом.

Альтернативная гипотеза супрамира исходит из сходства солнечной системы с атомами фтора (F). Действительно, в солнечной системе (до открытия планеты Харона) было известно 9 планет. А у атома фтора имеется 9 электронов. Формально очень схожи по «устройству» эти две системы. Так, может быть, Солнечная система и другие звезды - это некие мега-атомы, из которых составляются гигантские по размерам мега-молекулы? А из мега-молекул построен мега-организм - Вселенная? Фантазируя дальше, можно считать этот мега-организм носителем космического разума. Отголоском этой идеи является разумный Океан (Солярис) у писателя - фантаста С. Лема. Можно также упомянуть мистические идеи Е. Блаватской о космическом Разуме и живой Вселенной.

Мы рассматриваем эти гипотезы в разделе об истоках современного естествознания потому, что они иллюстрируют влияние научных открытий на гуманитарный компонент культуры. Элементы новой парадигмы естествознания изменяют масштабы и образ мысли всего человечества. Кроме того, они привлекательны своей смелостью и выходом за привычные рамки мышления. Тем не менее, в них остается стереотип ожидания все меньших структурных частей по мере продвижения на более глубокие масштабные уровни: внутри матрешки может быть только меньшая.

По современным данным принцип матрешки несостоятельный. В последующем мы рассмотрим причины, по которым малые по массе микрочастицы содержат в себе не меньшие, а, наоборот, большие по массе и энергии составляющие. Что касается звездных систем, то процессы их образования не копируют закономерности образования молекулярных систем и тем более закономерности развития живых организмов.

1.5. Проблема адекватного описания микромира

Планетарная модель атома явилась вершиной классического естествознания. Она же показала неприменимость его для адекватного описания микромира.

Классическая механика рассматривает электрон как материальную частицу, траектория которой при движении в атоме представляет собой замкнутую *кривую* второго порядка, например окружность. Условием нахождения электрона на круговой орбите является равенство кулоновской силы притяжения центростремительной силе.

Классическая электродинамика утверждает, что при движении с ускорением (в том числе - центростремительным) любая заряженная частица является источником электромагнитных волн. Мощность излучения пропорциональна четвертой степени ускорения. При той величине ускорения, которое действует (по классической механике) на электрон в атоме, он должен излучить всю свою энергию за время порядка 10 нс. Опыт показывает, что излучение атома происходит не всегда. В нормальных условиях атомы не излучают.

Возникает противоречие - либо модель, либо теория неприменима в области атомных размеров ($\sim 10^{-10}$ м). Попыткой “спасти атом” явились постулаты Нильса Бора.

Рассмотрим их смысл, не приводя тех определений, которые есть в любом учебнике физики.

Постулаты Бора:

1. Утверждается существование стационарных состояний атома для которых процесс излучения энергии запрещен.

2. Вводится правило для нахождения стационарных состояний атома. Это правило состоит в приравнивании значений механического момента импульса движения электрона по орбите целочисленному ряду значений:

$$L = m V r = n h / 2\pi , \quad (1.2)$$

где n - целое число: 1,2,3,...



Н. Бор (1885- 1962)

3. Разрешается процесс электромагнитного излучения или поглощения при переходах между двумя стационарными состояниями.

Используя эти постулаты, Бор рассчитал возможные размеры электронных орбит, значения энергии электронных состояний и спектр излучения атома водорода. Спектр очень хорошо согласовался с экспериментальными данными. Тем не менее критики теории Бора отмечали, что постулаты Бора введены эвристически: идея сформулирована в надежде, что потом

удастся понять, почему не любые по размерам и энергетическим состояниям орбиты реализуются в атомах.

В 1923 г. были выполнены опыты Дэвисона и Джермера по дифракции электронов. Уместно процитировать письмо Шредингера того времени: «Некоторые исследователи - Дэвисон, Джермер и молодой Томпсон - приступили к выполнению опытов, за которые еще несколько лет назад их бы поместили в психиатрическую больницу для наблюдения за их душевным состоянием. Но они добились успеха!»



Л. Дебройль
(1892 - 1987)

Эти опыты показали наличие волновых свойств у электронов. Каждый отдельный свободный электрон в определенных условиях проявляет свойства волны - дифракцию. С учетом волновых свойств Луи Дебройль сопоставил движению электрона некоторый волновой процесс. Любой волновой процесс характеризуется длиной волны λ . Согласно Дебройлю, для микрочастиц этот параметр определяется по формуле

$$\lambda = \frac{h}{mV} . \quad (1.3)$$

Она дает связь одного из параметров волнового процесса с обычными характеристиками механического движения и позволяет понять смысл постулатов Бора, а именно, с волновой точки зрения стабильны такие орбиты, на которые укладывается целое число волн Дебройля. Для них будет справедливым следующее выражение:

$$2\pi r = n\lambda . \quad (1.4)$$

В приведенных формулах обозначены: m - масса; V - скорость; n - целое число; r - радиус орбиты Бора; λ - длина волны Дебройля; h - постоянная Планка.

Считается, что на орбите установилась стоячая электронная волна, аналогичная звуковой стоячей волне на краю юбки колокола. Проблема стабильности кажется разрешенной, но возникли такие, например, классические вопросы: Как электрон движется между двумя орбитами? Волна Дебройля - это волна чего? Можно ли дать ответы на подобные механистические вопросы, оставаясь в привычных рамках понятий классического естествознания?

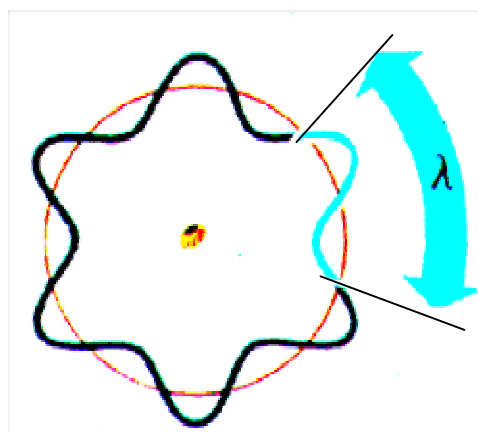


Рис. 1.2. Схема бегущей волны

Основная трудность здесь в том, что атом и движущийся электрон в нем непосредственно человеком не воспринимаются. Область микромира не-

доступна непосредственным ощущениям человека. Необходимо было найти способы описания того, чего нельзя увидеть, потрогать, услышать....

В сознании человека отражается окружающий его мир. Сам человек является частью мира, он включен в него. Можно условно вычленив, противопоставить его внешнему миру и пояснить ситуацию схемой рис. 1.3.

Объективная реальность

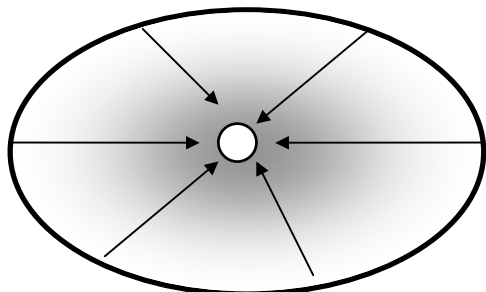


Рис. 1.3. Схема условного выделения субъекта

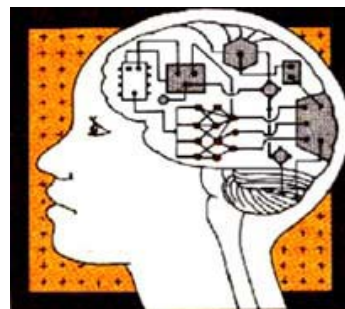
Как говорят философы, мир дан человеку в его ощущениях. Количественные оценки различных ощущений были проведены в 50-е гг. нашего столетия, когда был разработан метод «Прямого субъективного шкалирования». Суть его достаточно проста: человеку в произвольном порядке предъявляют стимулы различной величины (например, звук различной громкости), которые он произвольно или в пределах какой-то шкалы оценивает. Несмотря на индивидуальные вариации, зависимость хорошо описывается психофизическим законом С. Стивенса

вариации, зависимость хорошо описывается психофизическим законом С. Стивенса

$$I = S^b . \quad (1.5)$$

Сила ощущения пропорциональна величине стимула в степени b , где $b = const$. Для звука, света, вкуса и т.д. определены численные значения константы b .

Введены единицы ощущения, названия которых звучат необычно: *брил* – для яркости света, *хрон* – для времени, *густ* – для вкуса, *вег* – для тяжести и так далее.

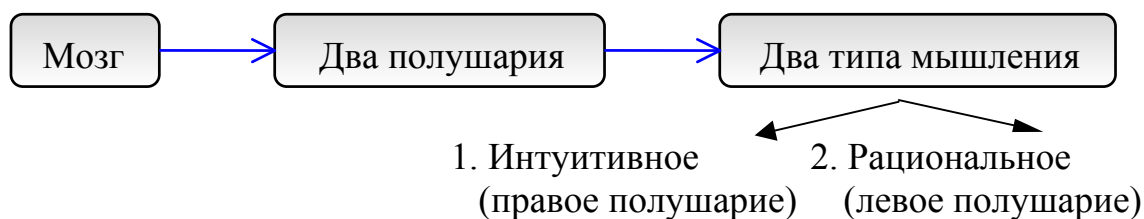


Субъективное шкалирование восприятия окружающего мира - это, в сущности, использование человека в качестве универсального измерительного прибора. Даже для таких признаков, которые другими приборными средствами не поддаются измерениям, например, вкусовые ощущения или запахи.

Обычный путь формирования понятий в сознании человека таков: от ощущений к суждениям.

В процессе преобразования информация сжимается, концентрируется, или обрезается, за счет отбора главного, из-за недостаточного числа каналов восприятия или их малой чувствительности. Это значит, что отражение реальности всегда неполно, искажено, ограничено. Любой способ отражения действительности (канал приема - преобразования информации) обладает своими недостатками. Очевидно, что для более полного и точного представления об окружающем мире одного способа локации, ориентации и т.д. недостаточно. Возможно поэтому природа «подстраховалась» и в процессе эволюции снабдила человека мозгом с двумя полушариями.

Два полушария ответственны за разные принципы обработки информации.



Наличие двух полушарий с различной специализацией позволяет человеку производить параллельную обработку информации. Как правило, все же наблюдается асимметрия мозга: у женщин преобладает правый “сопроцессор”, у мужчин - левый.

Интуитивное, ассоциативно-образное, эмоциональное мышление обычно нечетко выражено, расплывчато, «субъективно». Примерами могут быть понятия: Счастье, Красота, Любовь. «*Что такое осень? Это небо, плачущее небо под ногами...*» – вот пример ассоциативно-образного мышления правого полушария.

Рациональное мышление левого полушария ответственно за область интеллекта, функции которого четко различать, разделять и сравнивать, измерять и распределять по категориям (раскладывать все по «полочкам»). Оно использует метод абстрагирования, отвлечения от конкретных, но не важных деталей. Пример наибольшего абстрагирования дает математика – абстрагирование до символов в алгебре, в теории групп, в геометрии Лобачевского и Римана. Точность и логичность рациональных определений достигается за счет обрезания «лишних» деталей.

Конечно, планетарная модель атома проста, но простота еще не гарантирует учета всех свойств электрона и ядра. Модель верна в той части, что размеры ядра - малы. Движение же электрона как движение материальной точки по траектории это слишком упрощенные представления. Учет волновых свойств дает в этом случае уже другой образ - образ движения волн, для которых понятие траектории не нужно. Модель стоячей волны как образ тоже легко запоминается и дает некоторую иллюзию понимания. Но, оказывается, это тоже упрощение, так как волна Дебройля не является той привычной волной, которая бежит от брошенного в воду камня. Несколько забегая вперед, можно сказать, что волна Дебройля представляет собой *волну динамического поля состояний* микрочастиц, о чем мы будем говорить в последующих разделах курса. Еще не учтено свойство спина электрона... Вообще, электрон оказывается странным объектом со свойствами волны - частицы, скалярными и векторными свойствами.

К описанию микромира нельзя подходить с человеческими мерками. В микромире человеку все непривычно, а поэтому странно. Электрон оказывается необычным объектом, у него свойства и частиц и волн. Для рационального мышления это представляется невозможным. Срабатывает бинарная логика Аристотеля: Третьего не дано! Подобного «не может быть!»

Поэтому при изучении микромира необходима смена стереотипов мышления. Здесь часто приходится использовать обе половины человеческого мозга, подключая ассоциативно-образное и интуитивное мышление для выработки нового понятийного аппарата, адекватного квантовой объективной реальности.

1.6. Пространственный аспект иерархии структурных уровней

Все наблюдаемое многообразие форм существования материальных объектов в окружающем человека мире можно попытаться представить в виде своеобразной лестницы структурных уровней. Лестница охватывает три обычно выделяемых мира: Мегамир (или мир космических масштабов), Макромир (или мир, привычный человеку) и Микромир (или мир атомных и субатомных частиц).



На нижнем конце лестницы структурных уровней материи масштабный коэффициент равен десяти в минус семнадцатой степени метра. На уровне живых организмов он равен одному метру.

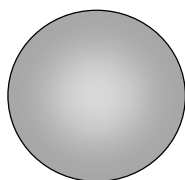
Для верхнего конца масштаб расстояний составляет десять в двадцать седьмой степени метра. Как гипотезу, современное естествознание допускает на верхнем структурном уровне параллельное существование других Вселенных, отличающихся от нашей значениями мировых постоянных: скорости света, гравитационной постоянной, зарядом электрона, постоянной Планка и других констант.

По современным данным возраст Вселенной оценивается в 14 - 17 млрд. лет. Солнечная система начала образовываться около 5 млрд. лет тому назад. Планетосфера Земли (геосфера) окончательно сформировалась в период времени около трех миллиардов лет тому назад. Возраст кислородной атмосферы оценивают в 3,5 млрд. лет. Затем происходило формирование биосферы или сферы живого вещества на поверхности планеты. Возраст многоклеточных организмов достигает одного миллиарда лет, тогда как первые млекопитающие появились на Земле около 65 млн. лет тому назад. В последнюю очередь была образована техносфера или в более общем смысле - ноосфера (сфера разума - в дословном переводе).

1-3 млрд. лет назад

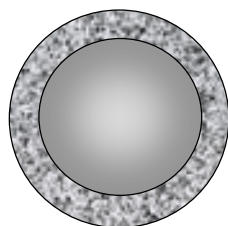
30-100 млн. лет назад

1900 - 2000 гг. нашей эры



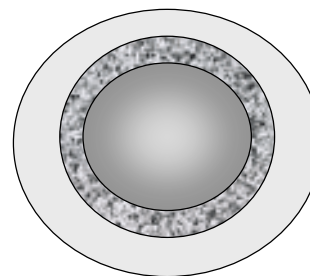
Геосфера

Океан
Континенты
Литосфера
Магма
Ядро Земли



Биосфера

Биоценозы
Популяции
Организмы
Клетка
ДНК



Ноосфера

Человечество
Цивилизации
Государства
Семья
Индивидуум

Последующие по времени сферы включают в себя предшествующие как интегральную составляющую. При этом каждая из них имеет свои масштабные уровни. В частности, уровни биосферы начинаются от атомно-молекулярного и достигают масштабов планеты на уровне биоценозов.

Ноосфера сформировалась за последние примерно 100 лет. Именно в этот период техническая деятельность человека стала сопоставима по масштабу влияния на окружающую среду с естественными процессами. Вырубка лесов, освоение прерий, мировая добыча полезных ископаемых, искусственные моря, водохранилища, каналы, тепловое и химическое загрязнение окружающей среды и околоземного космоса - это далеко не полный перечень обусловленных человеком факторов, влияющих на дальнейшую эволюцию Земли и самого человека.

2. КОНЦЕПЦИИ ПРОСТРАНСТВА - ВРЕМЕНИ

2.1. Классические концепции Движения, Пространства, Времени

Движение
Пространство
Время

– это три самые общие категории классического естествознания, которыми пользуется каждый человек, часто - не задумываясь об их значениях.

А если задуматься? Не попадем ли мы в положение сороконожки, которая задумалась, как же она ходит, и замерла?

Как следует из предыдущего раздела, биологическое эволюционное развитие аппарата восприятия объективной реальности *опережает* развитие понятийного (модельного) аппарата сознания. Поэтому человек не всегда может зафиксировать возникающее ощущение как сознательное, то есть как сравненное (идентифицированное) с уже имеющейся у него базой понятий. Тогда оно остается на уровне подсознания. Так, некоторые люди интуитивно предчувствуют надвигающееся землетрясение или иную опасность. Скорее всего, эти редкие индивиды способны воспринимать некоторые элементы реальности, недоступные (утрачена способность!) большинству. В современной массовой культуре подобных людей называют экстрасенсами, что неточно. Без какой-либо сенсорики (восприятия в ощущениях) никакая информация, даже на уровне подсознания, не появится.

Отчасти способность ощущать пространство и время заложена в человеке генетически. Установлено, что за ориентировку в пространстве и во времени ответственно то полушарие мозга, которое ведает образным мышлением. После рождения эта способность актуализируется, и в нашем сознании начинает формироваться образ пространства через движение рук, ног, головы и другие моторные реакции. Можно сказать, что образы пространства и времени даны нам на уровне *первичных биологических ощущений*. Так как они исходные, то для их идентификации еще нет понятийного аппарата. Поэтому крайне трудно дать рациональное, логическое определение этой категории. Как и Движению, и Времени. Однако это не означает, что мы не можем договориться о способах измерения этих ощущений. Конечно, в физике (основе классического естествознания) не принято было пользоваться методами, подобными современному методу прямого субъективного шкалирования. Вместо этого для интервала пространства использовали такие условные меры, как пядь, локоть, фут, стадия. Что это, как не продолжение первичных движений рук и ног?

Первое знакомство с пространством, первое ощущение его мы получаем в раннем детстве, когда хотим все потрогать вокруг себя. (И себя самого - это Я). И убеждаемся, что есть что-то *бестелесное, что потрогать никак не удастся, но что отделяет одни предметы от других*. Примем эту фразу за определение пространства!

Выработка рационального понятия пространства идет по цепочке, которую мы привели выше.

Сначала опыт:	Движение рук, затем подключается зрение.
Осознание:	Близкое - Далекое - Перспектива.
Понятие:	Интервал пространства как расстояние.
Обобщение:	Пространство, в котором находится Все.

Правое полушарие нашего мозга вырабатывает понятие интервала пространства, которое чувственно, которое можно измерить в единицах ощущения или в условных но понятных, мерах (локоть или метр). Левое (рациональное) полушарие вырабатывает логическое понятие абстрактного Пространства как категории философской, математической и физической.

Классическая концепция пространства - это пространство математическое, идеальное. Отметим сразу, что современное понимание пространства более физическое. Идеальный, абсолютный вакуум отсутствует в природе. Даже без стабильного вещества в вакууме непрерывно рождаются и исчезают (аннигилируют) микрочастицы. Этот вечный процесс называют виртуальным рождением пар «античастица – частица». Образно говоря, физический вакуум «кипит», «бурлит» микрочастицами. Но на макроуровне флуктуации сглаживаются и непосредственно не ощущаются. Такое понимание ближе к субстанциональной концепции, трактующей пространство как некую «субстанцию» или «среду», вещественную или полевую.

Дать логическое определение времени - задача еще более трудная, чем для пространства. Время тоже бестелесно и ощущается интуитивно. Религиозный авторитет Тома Аквинский (1225-1274) говорил: «Я *знаю*, что такое время, пока не начинаю *думать* о нем».



Рис. 2.1. Аллегория времени

Время ощущается на первичном биологическом уровне, знание о нем - интуитивно. Оно связано с опытом: чувственное восприятие вращения Земли, восход и закат Солнца, смена освещенности, температуры и так далее. Вновь движение, только теперь не рук, а *внешних объектов*, задает первичный образ времени.

Существует и психологический образ времени. От психологического эмоционального состояния человека зависит его восприятие времени. То оно тянется мучительно долго, то пролетает незаметно. Эффект дисторсии времени особенно часто наблюдается для критических ситуаций катастрофы или смертельной опасности.

В конечном счете вырабатывается устойчивый стереотип мышления:

Вчера – было. Сегодня – наступило. Завтра – будет.

Происходит осознание: Теперь или Сейчас отделяется от Прошлого и Будущего. Мысленно мы можем «переноситься» в прошлое, пытаемся зримо представить себе будущее. В нашем сознании, как на видеопленке, последовательно зафиксированы события нашей жизни.

Вырабатывается понятие: Интервал времени, измеряемый сутками и производными мерами: месяц, год. В физике - секунда.

И, наконец, мы можем сделать обобщение: Абстрактное время как непрерывность и последовательность, как поток или лента, на которой события оставляют метки (распределяют информацию).

Эту последовательность чего-то бестелесного, что отделяет в последовательности одни события от других и существует независимо от нас, мы называем Временем.

Время *разделяет* события, которые могут происходить в одном и том же месте, в одной и той же точке пространства. Таким образом, в классическом естествознании время играет роль пространства, но в чем-то другом, в чем нельзя реально вернуться назад. Этим время принципиально отличается от пространства.

В концепции классического естествознания Время и Пространство не зависят друг от друга и не могут влиять друг на друга. Направленность стрелы времени от прошлого к будущему является необходимым условием причинно - следственных связей между событиями. Вспомним считалочку, описывающую два таких события:

1. «Пиф - паф!»
2. «Ой-ой-ой! Умирает зайчик мой....»

Если бы отсутствовала однонаправленность стрелы времени, то никакое структурирование из первоначального хаоса не было бы возможным. При этом следует помнить, что не всегда «позже» гарантирует «вследствие». Зайчик мог бы умереть и по вполне естественным причинам, никак не связанными с Охотником. Но все же перестановка событий 2 и 1 невозможна, когда из-за смерти зайчика пуля летит в ружье.

Классическое представление о пространстве и времени как о самостоятельных сущностях, независимых от материальных тел, и в которые тела «погружены» или «внедрены», получило название субстанциональной концепции.

Современное естествознание использует другую - реляционную концепцию (реляция - связь, соотношение). В ней пространство и время существуют как атрибуты движения материального мира. Без материи нет ни пространства, ни времени, только в связи с движением материи пространство и время имеют смысл. *«Время создается изменением вещей»*, - говорил в средние века Августин Блаженный.

В конце XX в. это понимают в более широком смысле - время создается движением материального мира, хотя нет какого-либо специфического

«времяобразующего» движения в его бытовом понимании. Термин движение в естествознании понимается как изменение состояния всего мира: нечто не существовавшее становится существующим, тогда как существовавшее переходит в другие формы и состояния или исчезает. Иными словами, от понимания времени как длительности (интервала между событиями) мы переходим к его пониманию как процесса становления (от существующего к возникающему).

2.2. Парадоксы Движения

Виды движения: Механическое перемещение - простейшее.
 Теплопередача. Неупорядоченное тепловое.
 Электрический ток. Радиоволны. Свет.
 Рост организмов. Мышление человека.

Самое простое движение - механическое. Но и тут не все очевидно. Что движется - объект или состояние? Чтобы пояснить, почему возникает такой вопрос, приведем сначала короткое стихотворение А.С. Пушкина «Движение»:

*“Движенья - нет!” - сказал мудрец брадатый.
Другой смолчал и стал пред ним ходить.
Сильнее он не мог бы возразить.
Хвалили все ответ замысловатый.
Но, господа! Забавный случай сей
Другой пример на память мне приводит:
Ведь каждый день пред нами Солнце ходит,
Однако ж прав упрямый Галилей!*

В стихотворении речь идет о диспуте двух известных мыслителей античности Зенона и Демосфена. Первый утверждал отсутствие движения. В доказательство он приводил следующее логическое рассуждение. Пусть из лука выпущена стрела. При полете она последовательно проходит одну точку своей траектории за другой.

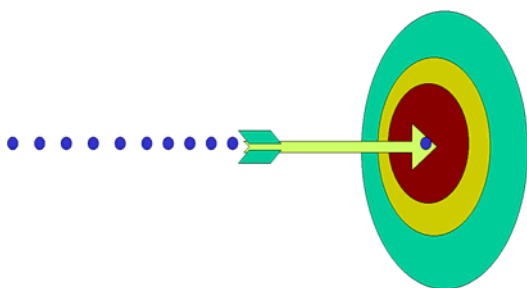


Рис. 2.2. Полет стрелы

Что значит «проходит»? Это значит, что она там находится некоторое, пусть даже малое время в покое. Отсюда следует парадоксальный вывод: в любой (истинный, мгновенный) момент времени стрела неподвижна. «Движенья – нет».

Вообще-то ответ Демосфена был не по правилам научного диспута о высокой материи. Он не стал обращаться к рациональной половине мышления и искать логическое обоснование. Он просто показал, как человек воспринимает движение интуитивно. Движение есть, и

это самодостаточный факт. Апория «стрела Зенона» в античности так и не была разрешена.

Современное естествознание предпочитает рассматривать не движение объектов, а изменение их состояния. Для пояснения сути дела рассмотрим некоторые примеры.

Пример 1. Гирлянда огней.

В новогоднем стихотворении С. Маршак верно подметил: «Как по лестнице, по елке огоньки взбегают ввысь». Мы наблюдаем движение объекта - огонька по неподвижной гирлянде.



Рис. 2.3. Схема движения огонька лампы

Для лестницы характерно определенное расстояние между ступенями. В гирлянде - это расстояние между соседними лампочками. Поэтому движение огонька - дискретное. Можно определить среднюю скорость движения огонька за время пробега от низа до верха гирлянды. Но можно ли спросить: как движется огонек между соседними лампочками?

Пример 2. Движение ионной вакансии.

В электрическом поле по ряду положительно заряженных ионов Na^+ в кристалле NaCl движется вакансия (вакантное для иона место).

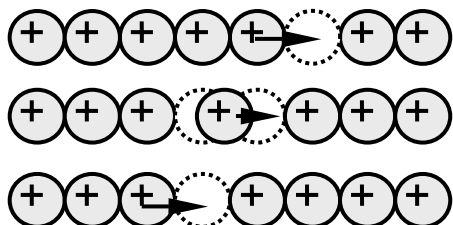


Рис. 2.4. Схема движения вакансии иона

Каждый из ионов смещается вправо только до соседнего свободного узла. Вакансия же пробегает в обратном направлении по всему ряду ионов. Объект, движение которого мы наблюдаем - вакантное состояние узла решетки. В отличие от первого примера, при смещении ионов пустое место непрерывно «перетекает» по цепочке.

Пример 3. Игра «пятнадцать».

1	3	4	6
9	7	10	5
12	14		15
13	11	8	2

Рис. 2.5. Игра «пятнадцать»

В этом случае на 16 мест игрового поля одно остается свободным (вакантным). Передвигая в двух направлениях фишки, мы вызываем движение вакансии по всему полю. Каждый ход вызывает изменение состояния всего игрового поля.

Примеры 2 и 3 иллюстрируют эстафетный механизм движения, когда сигнал или эстафетная палочка проходит весь путь за счет отдель-

ных этапов. Подобным же образом движутся дырки в полупроводниках. (Термин дырка означает вакантное энергетическое состояние.)

Пример 4. Экран монитора компьютера.

Все поле экрана монитора разбито на небольшие клетки - пиксели, координаты которых целочисленные. Чтобы на черном поле экрана высветить один пиксель, необходимо направить в точку с его координатами электронный луч. Последовательность соседних пикселей образует линию. При построении графиков на экране мы наблюдаем переход отдельных пикселей из «выключенного» состояния (не светятся) во включенное. На экране можно отобразить стрелу. Если значения координат каждого пикселя стрелы по горизонтальной оси возрастут на единицу, то вся фигура сдвинется вправо на один почти незаметный шаг. Задав соответствующую программу, можно показать движение экранной (компьютерной) стрелы. Механического движения пикселей нет. Тем не менее мы наблюдаем движение объекта - стрелы. Для него можно определить среднюю скорость движения по экрану. Чем вызвано перемещение наблюдаемого объекта? Изменением состояния набора пикселей. Поэтому, описанию движения стрелы как объекта, имеющего характеристики механического движения - траекторию и скорость, можно дать эквивалентное описание. Оно не будет использовать понятия механики. Вместо этого оно будет описывать изменения во времени состояния экрана компьютера.

Приведенные примеры показывают следующее.

1. Мы можем наблюдать движение не только материальных объектов (точек или тел), но и состояний. Это могут быть активные состояния элементов системы или даже «пустота» - вакансии в пространственном расположении элементов или вакансии в энергетических уровнях системы. В любом случае состояние оказывается информационно-значимым, выделенным.

2. Движение состояний, в отличие от движения материальных точек, может быть дискретным, то есть пространственно или энергетически разделенным.

3. Иногда один и тот же процесс может быть описан двумя способами - как движение объекта и как движение состояния (последний пример с экранной стрелой).

Квантовая механика описывает движение электрона в атоме, как изменение состояния. При переходе электрона с одного энергетического уровня на другой изменяется состояние атома. Вопрос о том, как движется электрон между уровнями, равноценен вопросам о движении пикселя между выключенным состоянием и включенном или о движении огонька между лампочками. Подобные вопросы просто не имеют физического содержания. Иными словами, движение электрона в атоме, то есть связанного с ядром атома, - это движение (эволюция) состояния. Движение же свободного электрона, например в электронно-лучевой трубке, проще и понятнее описывать как движение по траектории объекта с известными значениями массы и заряда.

2.3. Концепция четырехмерного пространства - времени

Важнейшим достижением классического естествознания явилось открытие законов сохранения импульса и энергии. Эти законы остаются в силе и для современного естествознания, так как законы сохранения являются следствием свойств симметрии пространства и времени и не зависят от конкретного вида внутренних сил в замкнутой системе - электрических, механических, магнитных или ядерных. Проверка этих фундаментальных законов природы в области скоростей движения частиц, стремящихся к скорости света, приводит к неожиданным результатам.

Взаимодействием может быть удар двух частиц, например электрона и атома. При этом возможны потери кинетической энергии электрона. Если происходит возбуждение электронной оболочки атома, удар будет неупругим. При соударении двух протонов возбуждения не происходит, и удар является абсолютно упругим. Для таких случаев законы сохранения позволяют найти величины векторов импульсов частиц после удара.

Отметим, не приводя вычислений, характерную особенность разлетающихся частиц: сумма углов разлета должна быть равна прямому углу.

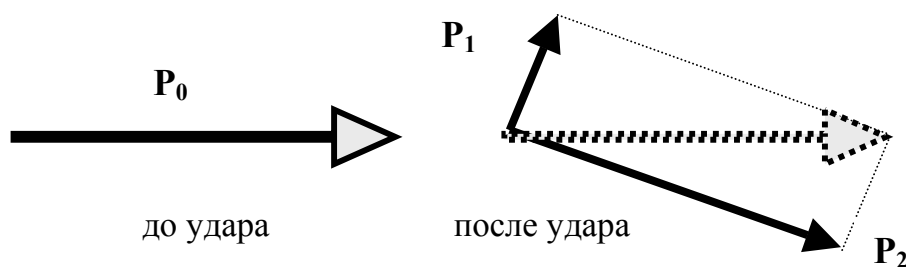
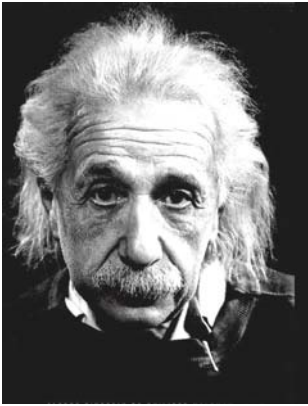


Рис. 2.6. Схема сохранения величины импульса при упругом столкновении

Для регистрации столкновений протонов используют метод ядерных фотоэмульсий, в которых заряженные частицы оставляют автографы - треки. После проявления фотопластинок следы, оставленные частицами разных энергий, рассматривают при увеличении, производят измерения углов разлета и пробегов рассеянных частиц. Проведенные эксперименты показали, что в области скоростей, много меньших скорости света, имеется точное согласие с предсказаниями классической механики. А вот при высоких энергиях протонов, при которых их скорость сопоставима со скоростью света, угол разлета оказывается заметно меньше девяноста градусов. Это означает, что-либо закон сохранения импульса не выполняется при высоких, релятивистских скоростях, либо что-то происходит с величиной массы протонов. Чтобы расчеты были в согласии с экспериментальными данными и чтобы можно было пользоваться классическим определением импульса, необходимо было признать, что масса частиц зависит от скорости движения:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} . \quad (2.1)$$

Именно такую зависимость предсказывала теория относительности (СТО) Альберта Эйнштейна.



А. Эйнштейн
(1879 – 1955)

В основу СТО положены два постулата.

1. Во всех инерциальных системах отсчета скорость света неизменна (является инвариантом) и не зависит от движения источника, приемника или самой системы отсчета

$$c = inv. \quad (2.2)$$

В классической механике Галилея - Ньютона величина скорости относительного сближения двух тел всегда больше скоростей этих тел и зависит как от скорости одного объекта, так и от скорости другого.

Поэтому нам трудно поверить, что скорость света не зависит от скорости его источника, но это научный факт.

2. Реальное пространство и время образуют единый четырехмерный пространственно-временной континуум (сокращенно будем его обозначать ПВК) так, что при переходе между системами отсчета сохраняется неизменной величина пространственно-временного интервала между событиями

$$\Delta S = inv. \quad (2.3)$$

Величина ΔS определяется следующим выражением

$$\Delta S = \sqrt{c^2 \Delta t^2 - \Delta r^2} , \quad (2.4)$$

где Δr - пространственный интервал; Δt - временной интервал.

В СТО не существует событий одномоментных во всех системах отсчета. Здесь два события, одновременные в одной системе отсчета, выглядят разновременными с точки зрения другой, движущейся или покоящейся, системы отсчета.

В специальной теории относительности сохраняются все основные определения классической физики - импульса, работы, энергии. Однако появляется и новое: в первую очередь - зависимость массы от скорости движения (2.1). Поэтому нельзя использовать классическое выражение для кинетической энергии, ведь оно получено в предположении о неизменности массы объекта и при высоких, релятивистских скоростях должно быть заменено на новую зависимость

$$W = m c^2 . \quad (2.5)$$

Это самая известная формула специальной теории относительности. Оказывается, что изменение релятивистской энергии тела эквивалентно изменению его *динамической* массы. Используя формулу (2.5), можно связать энергию с величиной *массы покоя*:

$$W = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}} . \quad (2.6)$$

В этом выражении присутствует квадрат скорости, что роднит его с формулой кинетической энергии в механике Ньютона. Однако для неподвижного тела релятивистская энергия не обращается в ноль:

$$W_0 = m_0 c^2 . \quad (2.7)$$

Очевидно, что для этой энергии нет аналога в классическом естествознании, где для неподвижного тела имеется потенциальная энергия взаимодействия частей тела, но она явным образом зависит от расстояния между взаимодействующими частями тела. Можно сказать, что W_0 - это потенциальная энергия внутренних уровней взаимодействия, которые не могут быть сведены к механическому движению, гравитационному или кулоновскому взаимодействиям.

Чтобы найти величину кинетической энергии тела в СТО, необходимо из полной энергии вычесть энергию покоящегося тела:

$$W_K = W - W_0 . \quad (2.8)$$

2.4. Применение СТО в современном естествознании

Каждая элементарная частица имеет своего двойника, который отличается от нее лишь знаком электрического заряда. Двойника принято называть античастицей. Антипротон и антинейтрон - это античастицы протона и нейтрона. Для электрона античастицей является позитрон (эту частицу можно назвать антиэлектроном). Массы покоя частицы и ее античастицы одинаковы, например, электрон и позитрон имеют массы покоя, равные $0,911 \cdot 10^{-30}$ кг или 0,511 МэВ. Следует отметить, что в ядерной физике на основании эквивалентности массы и энергии величину массы элементарных частиц обычно выражают в энергетических единицах – электронвольтах (эВ) или мегаэлектронвольтах (МэВ).

Если частица и античастица встречаются в одной точке пространства, то они взаимно аннигилируют, то есть исчезают как частицы с отличными от нуля массами покоя. Полная энергия двух частиц переходит в энергию фотона - частицы электромагнитных излучений. Фотоны имеют нулевое значение массы покоя, поэтому они могут двигаться со скоростью света (неподвижных фотонов не бывает). Следующая схема иллюстрирует реакцию аннигиляции.

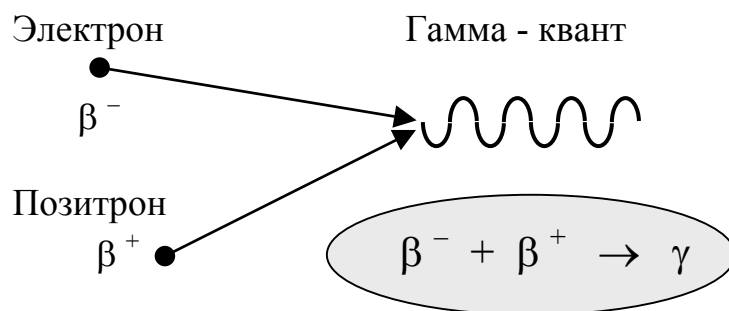


Рис. 2.7. Схема процесса аннигиляции

Здесь электрон и позитрон обозначены как бета-частицы с разными знаками электрического заряда. Источником позитронов служат радиоактивные нуклиды, например ядра изотопа фосфора с массовым числом 31. Другие античастицы образуются в ходе реакций между микрочастицами, разогнанными до высоких скоростей в ускорителях.

Особенностью аннигиляционного электромагнитного излучения является высокая энергия образующихся фотонов. Высокая - по сравнению с энергией химических связей атомов в молекулах или электронов с ядрами атомов. Напомним, что для ионизации атома водорода необходимо 13,6 эВ. А энергия фотона при аннигиляции бета-частиц будет равна

$$W_{\gamma} = 2m_0c^2 + \frac{m_0V_+^2}{2} + \frac{m_0V_-^2}{2} . \quad (2.9)$$

В энергию излучения переходит удвоенная энергия-масса покоя частиц и обычно малая кинетическая энергия электрона и позитрона.

Возможна и обратная реакция перехода энергии гамма-квантов в энергию-массу пары «частица – античастица». Этот процесс более эффективно происходит вблизи тяжелых ядер, где велики искажения пространственно-временного континуума.

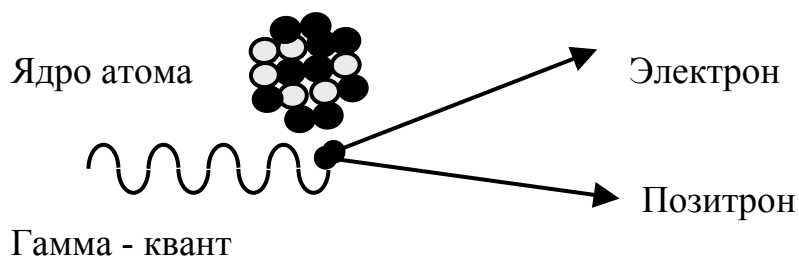


Рис. 2.8. Схема процесса рождения пары «частица – античастица»

Энергии гамма-кванта должно быть достаточно для появления массы покоя двух частиц и сообщения компонентам образованной пары кинетической энергии (чтобы «близнецы» могли разлететься друг от друга). Образовавшаяся античастица оказывается в чуждом для нее мире, окруженной многими обычными частицами вещества и вскоре аннигилирует.

В ядерных реакциях был обнаружен необычный эффект, названный дефицитом (дефектом) массы. Рассмотрим, например, реакцию образования одного из трех изотопов водорода – дейтерия (рис. 2.9).



Рис. 2.9. Схема реакции образования ядра дейтерия

Когда протон и нейтрон сближаются на расстояние действия ядерных сил, происходит образование ядра дейтерия. При этом выделяется энергия, во много раз (в миллионы раз) большая, чем в обычных химических реакциях, например, чем в реакции образования молекулы водорода и двух атомов. Согласно выводам теории относительности, выделение и передача во внешнюю среду энергии сопровождается уменьшением полной массы системы. По этой причине экспериментально определяемая масса ядра дейтерия меньше, чем сумма масс свободных протона и нейтрона. Величина разности масс получившегося ядра и исходных частиц получила название дефицита или дефекта масс

$$\Delta m = \frac{\Delta W}{c^2} . \quad (2.10)$$

Подобный эффект сопровождает образование и других ядер. Без понимания возможности эквивалентных изменений энергии и массы нельзя объяснить наличие дефицита масс у ядер всех химических элементов.

Возможен и обратный процесс - распад ядра на составные части. Но при этом стабильному в обычных условиях ядру необходимо сообщить энергию, достаточную для покрытия дефицита масс. В результате сумма масс освободившихся частиц будет больше, чем масса покоя исходного ядра. Такого эффекта в классическом естествознании даже не предполагалось!

2.5. Общая теория относительности А. Эйнштейна

*Вещь помещенной будучи, как в Аш -два- О,
в пространство, презируя риск,
пространство жаждет вытеснить;
но ваш глаз на полу не замечает брызг пространства ...*

И. Бродский

Согласно представлениям Эйнштейна, взаимное притяжение вещественных тел друг к другу обусловлено тем действием, которое присутствие вещества оказывает на четырехмерный пространственно-временной континуум (ПВК для сокращения).

В классическом естествознании априори признается, что материальные тела могут двигаться в пространстве и во времени, не оказывая какого-либо влияния на них. Есть сцена - пространство и время - и есть актеры - вещества во всех формах и проявлениях процессов превращений. Фон или сцена остаются безучастными к развитию действия.

Революционная идея Эйнштейна состояла в своеобразном объединении актеров и сцены, *во влиянии вещества на геометрические характеристики четырехмерного континуума*. Все мы - существа трехмерные, и нам трудно (даже на интуитивном уровне) представить себе континуум четырех измерений. В какой-то мере может помочь аналогия. Нашим преимуществом перед двухмерными существами (назовем их *плоскатиками*, или тенями на поверхности) будет то, что мы легко будем видеть все процессы как двухмерного мира, так и трехмерного. А для плоскатики будет весьма трудно представить себе трехмерный мир, так как их понятийный аппарат выработан для пространства с двумя только измерениями. После такого необходимого вступления разберем один из парадоксов мира плоскатики.

Пусть два массивных, но плоских объекта движутся строго на север по поверхности сферы. Очевидно, что расстояние между ними будет непрерывно сокращаться.

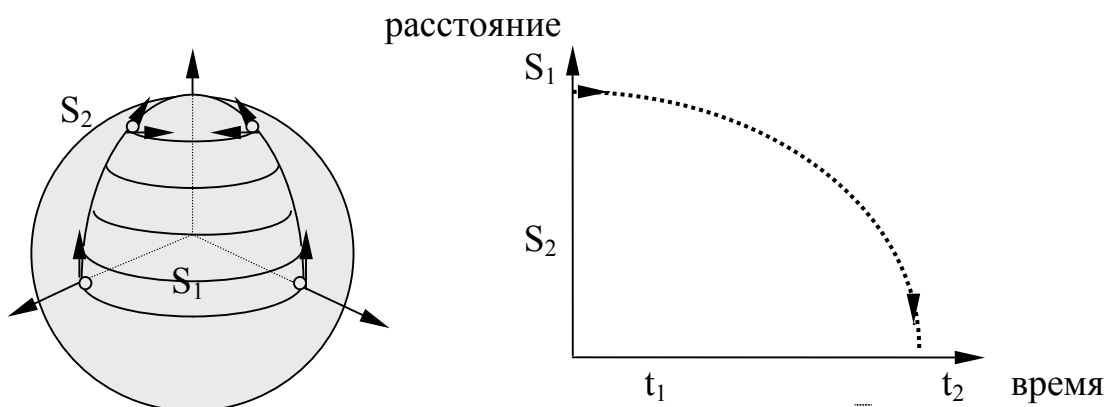


Рис. 2.10. Схема движения двух объектов по меридианам сферы

При движении каждого по своему меридиану плоскатики замечают взаимное сближение в направлении, которое перпендикулярно направлению их перемещения. В конечном счете, чтобы не столкнуться, им придется использовать какую-нибудь силу, например силу тяги плоскатики, в которых они путешествуют. Плоскатики будут убеждены, что объективно существует сила их взаимного притяжения. Нам же очевидна иная причина сближения - кривизна поверхности сферы. Мы видим это потому, что находимся в пространстве с большей размерностью. Таким образом, если считать силой любую причину изменения состояния движения объектов, кривизна пространства играет роль, эквивалентную силе. Общая теория относительности утверждает, что причиной гравитационного притяжения всех тел является кривизна четырехмерного пространства-времени. Искажения возникают вследствие самого факта присутствия массы. По образному выражению одного из американских ученых *«вещество диктует пространству, как ему искривляться, а искривленное пространство указывает веществу, как ему двигаться»*.

Математическое описание ОТО дается на языке тензорного исчисления, достаточно сложного для того, чтобы приводить конкретные формулы.

Следует отметить, что не все согласны с точкой зрения Эйнштейна на природу тяготения. Так, академик А. Логунов считает, что четырехмерное пространство всегда остается плоским, а силы притяжения возникают как следствие релятивистских эффектов. Причины сомнений, приводимые А. Логуновым, уважительны.

Дело в том, что понятия энергии и импульса важны в связи с законами их сохранения. В классическом естествознании для *плоского* ПВК сохранение энергии определяется однородностью времени, сохранение импульса определяется однородностью пространства, сохранение момента импульса определяется изотропностью пространства. Очевидно, что для *искривленного* пространства-времени нет больше изотропности и однородности, так как кривизна может изменяться от точки к точке. Отсюда возникают сомнения: существуют ли вообще в ОТО законы сохранения энергии-импульса? Сам А.Эйнштейн допускал несохранение энергии *локально*, но так, чтобы в макропределах законы сохранения восстанавливались. Полемика по этому поводу не привела к однозначности, вопрос остается дискуссионным для современного естествознания.

2.6. Динамические поля гравитации

Если пространственное распределение массы вещества меняется с течением времени, то должно возникать динамическое гравитационное поле. Как и для поля электромагнитного, более простое математическое описание получается для предельного случая, когда точка наблюдения находится на далеком расстоянии от источника волн. Гравитационные волны - попереч-

ные. В общем случае неполяризованная волна описывается двумя взаимно перпендикулярными компонентами E_y и E_z , если распространение гравитационной волны идет вдоль оси Ox . Другой возможный случай поляризации, - когда «растяжения – сжатия» ориентированы по диагоналям осей координат. Для случая плоского фронта поляризованной волны характер искажения пространства (растяжения линий в нем) гравитационной волной можно представить рис. 2.11, на котором показано, как будет меняться круговая линия на фронте волны через четверть периода волны.

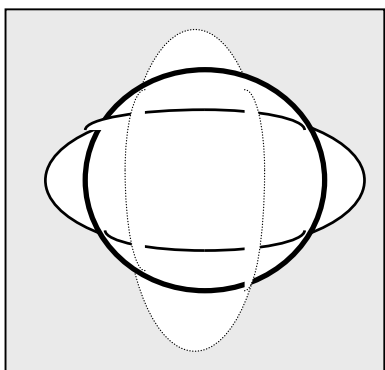


Рис. 2.11. Схема волновых фронтов гравитационной волны

Положение волнового фронта через половину периода совпадает с первоначальным кругом. Для другой возможной поляризации растяжения – сжатия направлены под углом 45° к изображенным на данной схеме.

Мощным источником электромагнитной волны является диполь - два электрических заряда противоположных знаков. Для эффективного излучения гравитационной волны необходим квадруполь, так как сжатия и растяжения

происходят в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

Колебания четырех одинаковых масс во взаимно перпендикулярных направлениях создают переменный квадрупольный момент, и наоборот - при прохождении плоского фронта гравитационной волны свободные массы начнут колебания в этих же направлениях. Квадрупольным моментом обладает и стержень (или цилиндр), вращающийся вокруг оси симметрии (рис. 2.12). Мощность излучения гравитационных волн стержнем выражается формулой

$$dW/dt \cong \omega^6 L^4 M^2 c^{-5}. \quad (2.11)$$

Величина коэффициента $c^{-5} \cong 10^{-41}$, поэтому даже для очень больших масс M , круговой частоты ω и длины стержня L в условиях Земли нельзя получить заметного гравитационного излучения. Однако в космосе часто встречаются двойные звезды с гигантскими величинами масс, вращающиеся

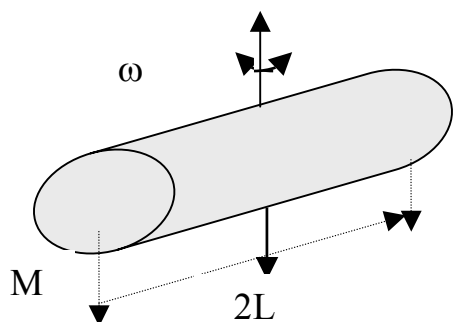


Рис. 2.12. Схема вращения цилиндра

вокруг общего центра. Поэтому есть принципиальная возможность поиска гравитационных волн из космоса. Гравитационные волны - это рябь на ткани пространства-времени, которая распространяется со скоростью света. Будучи предсказанными Альбертом Эйнштейном в общей теории относительности, они до сих пор *непосредственно* не обнаружены. Однако косвенным образом

они были идентифицированы в движении двойных звезд. Так, в течение более десяти лет наблюдали отставание фазы затмения одного из пульсаров (быстро вращающейся нейтронной звезды) звездой-спутником.

Отставание возникает из-за потерь энергии системы двух звезд на гравитационное излучение. Наблюдаемые данные, приведенные в виде точек на графике, хорошо согласуются с расчетами потерь энергии по формуле для квадруполья, записанной выше (сплошная кривая линия на рис. 2.13). Поэтому существование динамических гравитационных полей особых сомнений у физиков не вызывает, они доверяют надежным косвенным данным. Теперь необходимо прямое экспериментальное наблюдение динамических полей гравитации.

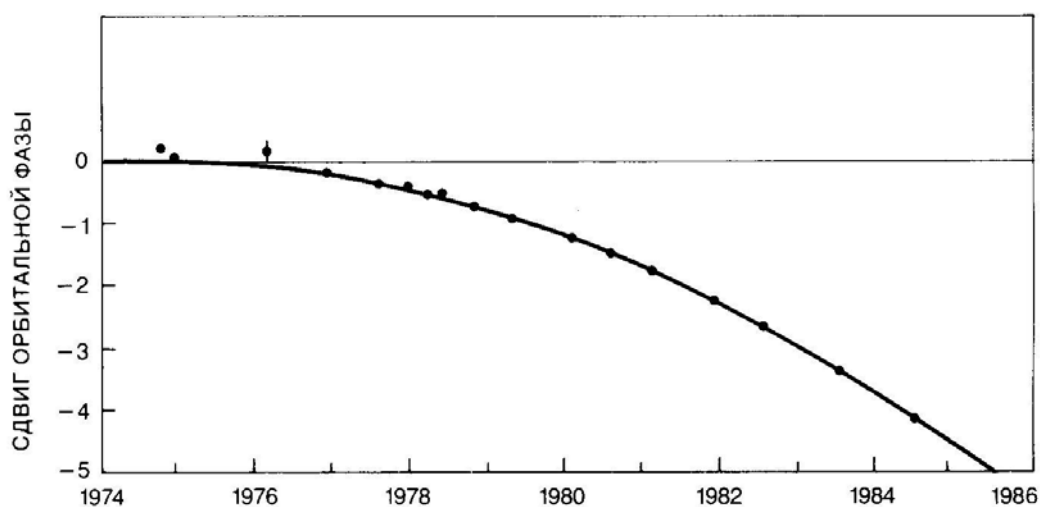


Рис. 2.13. График данных наблюдений сдвига фазы

Первая антенна гравитационных волн в виде двух алюминиевых цилиндров, была построена в начале 60-х гг. Дж. Вебером в США. Чувствительность их, как и более поздних сапфировых антенн, сделанных в России коллективом физиков МГУ под руководством В.Б. Брагинского, оказалась недостаточной. В настоящее время разработаны инженерные проекты лазерно-интерференционных гравитационных обсерваторий (проекты LIGO, VIRGO, LISA). Аббревиатура LIGO означает в переводе на русский язык «Лазерная Интерферометрическая Гравитационно - волновая Обсерватория». Назначение LIGO - наблюдение гравитационных волн космического происхождения. LIGO будет искать гравитационные волны, порожденные процессами взрывов сверхновых звезд, на месте которых образуются нейтронные звезды и черные дыры. Другими возможными источниками будут: слияние двух черных дыр или двух нейтронных звезд, вращение деформированных нейтронных звезд, а также - остатки гравитационного излучения, оставшегося с момента рождения Вселенной. При слиянии двух нейтронных звезд излучается около 1% от полной энергии ($E = mc^2$) двух звезд.

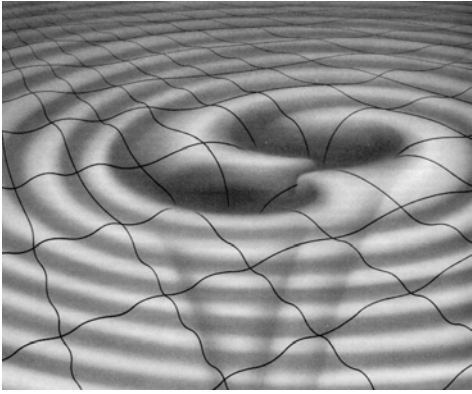


Рис. 2.14. Схема движения пары Черных дыр

Когда сливаются две Черные дыры, мы имеем возможность наблюдать вихри пространства-времени, их динамику. Ведь Черные дыры «сделаны» не из обычной материи, а из скрученного (вихревого) пространства-времени. Интересно отметить, что гигантская масса Черной дыры при своем вращении увлекает за собой пространство примерно так же, как смерч своим вращением закручивает окружающий воздух.

В настоящее время ведутся поиски гравитационных волн длиной от размера Вселенной до нескольких метров. Хорошая чувствительность уже достигнута или планируется ее достигнуть в интервале частот от 10 до 104 Гц. На этот диапазон рассчитаны две антенны LIGO: одна в Хэнфорде, другая в Ливингстоне (США) и антенна VIRGO - недалеко от Пизы в Италии. На более низкие частоты - от 0,1 до 0,0001 Гц гравитационного излучения - нацелен спутниковый проект LISA (Лазерно - Интерферометрическая Спутниковая Антенна). Пробный запуск элементов антенны намечен на 2006 г., а окончательный - на 2010-й. Космическая антенна будет расположена на той же орбите вокруг Солнца, что и Земля. В ней, как и в антеннах LIGO и VIRGO, будут использованы зеркала (центральный элемент в спутниках) и лазерный интерферометр для измерения их малых относительных колебаний (амплитуда 10^{-9} см при расстоянии между зеркалами в 5 млн. км). Антенна на околоземной орбите позволит начать изучение того, что происходило во Вселенной в первую секунду ее существования. Можно предсказать, что в ближайшие 20-30 лет с помощью этих антенн мы сможем узнать «темный» (в буквальном смысле этого слова) миг эволюции нашей Вселенной, в течение которого вся информация о происходящем была связана с излучением гравитационных волн.

3. КОНЦЕПЦИИ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ И ЧАСТИЦ

3.1. Концепции близко- и дальнего действия

В настоящее время выделяют следующие физические поля.

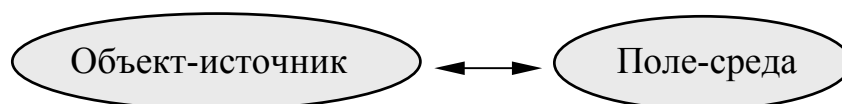
Фундаментальное свойство	Фундаментальное поле	Микрочастицы поля
Масса	Гравитационное	Гравитон (?)
Заряд	Электромагнитное	Фотон
Спин	Торсионное	Фотино (? ?)
Цвет	Глюонное	Глюон

Знаками вопроса отмечены частицы, существование которых предполагается, но пока не подтверждено в эксперименте.

Концепция дальнего действия

Классическое естествознание при описании полей базируется на концепции дальнего действия, в рамках которой поле является некой средой, передающей действие одного материального объекта на другой. По определению полем называют область пространства, в каждой точке которого на помещенное туда пробное тело (m, q, s) действует однозначно определенная сила. Здесь поле понимается как область физически измененного пространства, чем-то заполненного. Поле начинается от его непосредственного источника и может простираться до бесконечности. Полагается, что при удалении на бесконечность действие на пробное тело убывает до нуля. Считается также очевидным материальность поля. Иначе как бы передавалось действие одной материальной частицы вещества на другую через нечто нематериальное?

Таким образом, в концепции дальнего действия классического естествознания выделяются две противоположности (вспомним Аристотеля!). Им соответствуют принципиально различные понятия нашего сознания.



Физико -

математическая
модель:

Подчеркивается:

Материальная точка

Локальность
(*протяженность объекта
стремится к нулю*)

Материальная среда

Безграничность
(*границы среды -
в бесконечности*)

Концепция близкодействия

Квантовая механика (основа неклассического естествознания) показала неправильность столь «экстремистских» моделей и бинарной логики выбора: либо частица-точка, либо неограниченная волна. Действительно, опыты показали, что, при уменьшении массы объектов до значения масс микрочастиц, такие «материальные точки» проявляют свойства протяженности, свойства делокализации по пространству. В частности, проявлением таких свойств является дифракция микрочастиц на решетках кристаллов. С другой стороны, при уменьшении длины волны λ электромагнитных излучений, излучения проявляют корпускулярные свойства. Проявлением таких свойств являются эффект Комптона и фотоэффект. Поэтому образом квантовой физики является «кентавр» - частица-волна. Дуализм свойств требует и дуализма образа. Здесь подходит символ Тайдзы (Инь - Ян).



В рамках концепции близкодействия полагается, что частицы вещества взаимодействуют между собой посредством обмена частицами полей. Так, электромагнитные взаимодействия передаются путем обмена фотонами. Для гравитационного поля теоретики предполагают существование гравитона как аналога фотона. Если поиски гравитационных волн приведут к успеху, гравитон обретет права «физического гражданства» в сообществе элементарных частиц. Кварки взаимодействуют посредством глюонов. Глюонное поле имеет парадоксальные свойства, даже с точки зрения квантовой механики. В отличие от гравитационного и электромагнитного полей *действие глюонного поля возрастает при увеличении расстояния между кварками*. И наоборот, при сближении кварки получают асимптотическую свободу и слабо влияют друг на друга. На уровне макромира похожая ситуация возникает при растягивании руками резинового шнура или ленты.

Сравнительно недавно появилась гипотеза о существовании торсионных полей (полей кручения). Их проявление должно иметь связь с таким фундаментальным свойством микрочастиц, как спин. В настоящий момент слишком мало экспериментальных данных, чтобы судить об изменении этих полей с расстоянием. Однако это не смущает некоторых людей, увлеченных гипотезой новых полей. Как в свое время атом Резерфорда стимулировал появление гипотез супра- и инфрамира, так в наше время с торсионными полями пытаются связать аномальные явления и телепатию.

3.2. Взаимодействие электромагнитных полей с частицами вещества

Наименьшими частицами вещества, сохраняющими химические свойства соединений и элементов, являются молекулы и атомы. Рассмотрим ряд процессов рассеяния и поглощения полей-волн этими частицами. Спектр

электромагнитных излучений необычайно широк. Мы ограничимся диапазоном от видимого света (будем называть эту область длинноволновой) до рентгеновского и гамма-излучения (соответственно это коротковолновая область).

3.2.1. Классическое рассеяние на электронных оболочках атомов

Падающая длинноволновая электромагнитная волна раскачивает легкую электронную оболочку атома, например водорода. Массивное ядро не успевает следовать за быстрыми изменениями величины и направления вектора напряженности электрического поля и остается при этом практически неподвижным.

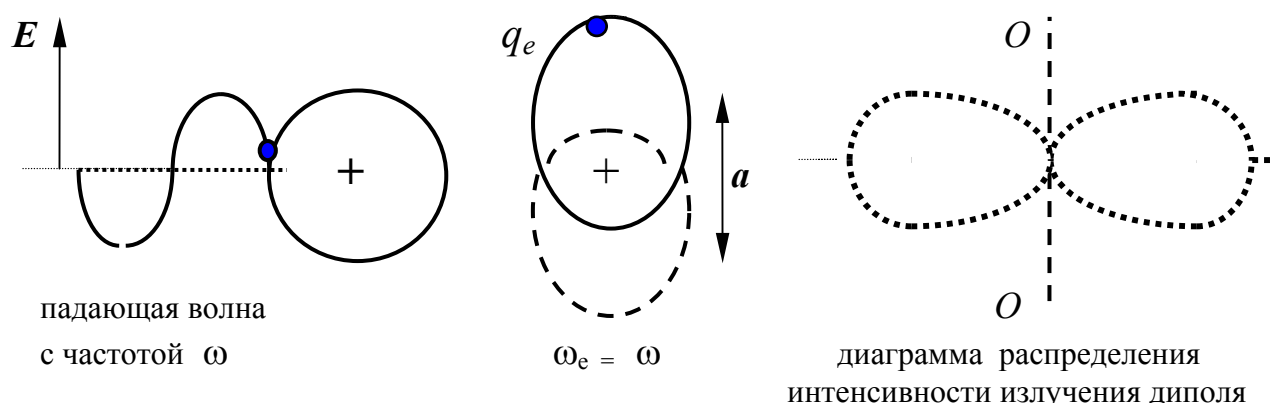


Рис. 3.1. Схема взаимодействия электромагнитной волны с электронной оболочкой атома

Колебания электронной оболочки (в основном - валентных электронов) происходят с частотой изменения вектора E . В данном случае колебания происходят с знакопеременным ускорением a . По теории Максвелла колебания должны сопровождаться излучением электромагнитных волн.

Два заряда противоположных знаков (ядра и оболочки) образуют диполь с переменным дипольным моментом. Особенностью излучения диполя является отсутствие электромагнитных волн в направлении колебаний дипольного момента, то есть по оси OO на диаграмме излучения.

Фактически атомы, ионы и молекулы вещества, при действии на них длинноволнового электромагнитного излучения, становятся вторичными источниками волн с той же частотой, что и у падающей волны. Несмотря на простоту, представленная схема процессов хорошо объясняет распространение и преломление света в веществе, явления поляризации света при отражении и преломлении.

3.2.2. Фотовозбуждение оболочек атомов и ионов

Фотовозбуждение является квантовым процессом, в котором оболочка атома или иона поглощает вполне определенную дискретную порцию энергии поля. Разности энергетических уровней атома или иона определяют линейчатый спектр поглощения, характеризующий данный химический элемент, его своеобразную «визитную карточку». Чтобы поглощение произошло, необходимо выполнение квантового условия

$$h\nu = W_2 - W_1 . \quad (3.1)$$

где h - постоянная Планка; ν - частота; W - энергия состояния электрона в атоме, ионе, молекуле.

Последовательность процессов можно представить следующей схемой. Поглощая квант энергии поля, электрон в атоме переходит (на сравнительно короткий, порядка 10^{-8} с, период времени) в возбужденное состояние.

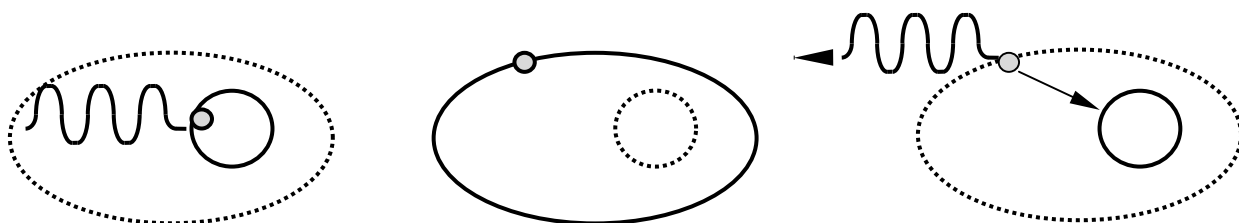


Рис. 3.2. Схема электронных переходов в оболочке атома

При этом изменяется форма валентной электронной оболочки, а следовательно, и химическая активность атома или иона. Становятся возможными варианты реакций, которые в обычных условиях не реализуются. В ряде случаев это приводит к нежелательным эффектам, например, наблюдаются взрывы газовых смесей при вспышке ультрафиолетового света. Время жизни атома в возбужденном состоянии не превышает десятков наносекунд, после чего система возвращается в нормальное состояние. По закону сохранения энергии излучаемый при обратном переходе квант света имеет такую же частоту и длину волны, что и ранее поглощенный квант поля.

Однако атом как бы «забывает» направление импульса поглощенного кванта так, что все направления вылета излучаемого кванта оказываются равновероятными. Поэтому только небольшая часть излучаемых квантов направлена по лучу света, падающему на вещество. Остальные рассеиваются по всем направлениям, что создает видимость поглощения энергии света. На самом деле происходит его квантовое рассеяние без изменения частоты и длины волны.

Многие сложные по составу и строению молекулы часто имеют несколько возможных форм расположения своих фрагментов. Говорят о *цис*- и *транс*-конформациях органических соединений. Различие в расположении частей молекулы обуславливает различие уровней потенциальной энергии

цис- и транс- форм. Если энергия квантов излучения равна разности энергии двух конформаций, то наблюдается фотовозбуждение оболочки молекулы. В качестве примера рассмотрим конформационные переходы в ретинале.

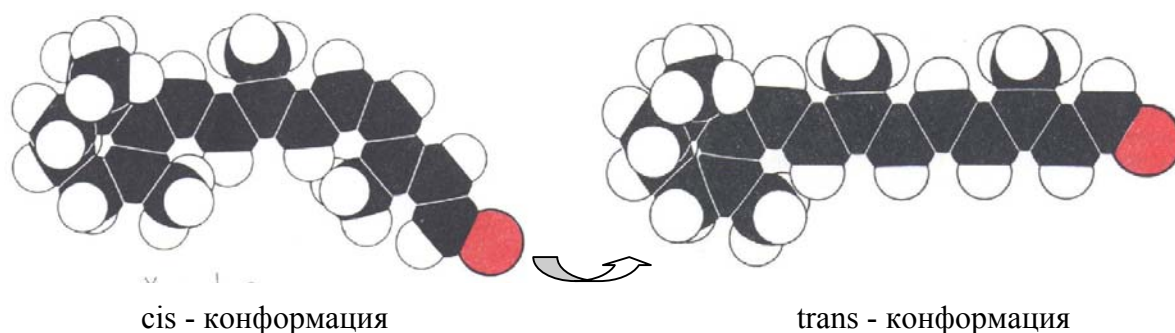


Рис. 3.3. Переход между двумя возможными конформациями молекулы

При поглощении света с длиной волны $\lambda = 380$ нм молекула чистого ретиналя переходит из цис- формы в транс-форму. При этом происходит поворот «хвоста» молекулы вокруг оси связи 11 и 12 атомов углерода так, что излом исчезает, и молекула приобретает более симметричную форму.

Этот эффект лежит в основе восприятия света человеком. В настоящее время известно, что фотоприемником служит родопсин - белковое соединение, в центре которого встроена молекула ретиналя. В новом окружении переход в транс-конформацию происходит при поглощении света с длиной волны 500 нм, это как раз соответствует максимуму спектра Солнца на уровне поверхности земли. Изменение формы стимулирует начало цепи химических реакций с высоким коэффициентом усиления сигнала, и в конечном счете в нервной системе человека формируется электрический импульс, бегущий в мозг. Таким образом, в процессе эволюции Природа подобрала для человека химическое соединение, оптимальное для дневного зрения в солнечном свете. Рассмотренные примеры показывают, *почему* многие произведения живописи «боятся» солнечного света, а фармацевты рекомендуют хранить лекарства в темноте.

3.2.3. Фотоэлектрический эффект

Если энергия кванта превышает величину энергии связи электрона с ядром атома или иона, то происходит фотоэффект - явление вылета электрона из частиц вещества. Закон сохранения энергии можно записать в виде формулы А. Эйнштейна для фотоэлектрического эффекта

$$h\nu = A + \frac{mV^2}{2}. \quad (3.2)$$

Здесь A обозначает работу выхода электрона из металла или энергию ионизации отдельного атома, когда фотоэффект происходит на свободной частице

вещества. Само явление наблюдалось впервые в начале XX в., его такие особенности, как практическая безинерционность, независимость максимальной энергии электронов от освещенности и линейная связь энергии с частотой света не поддавались объяснению с позиций классической электродинамики Максвелла.

А. Эйнштейн применил для объяснения фотоэффекта гипотезу Планка о дискретности энергии электромагнитного поля $W = h\nu$ и «все стало на свои места». В частности, фотоэффект прекращается тогда, когда выполняется условие: *энергия кванта меньше или равна работе выхода электрона из вещества.*

Некоторая связь с классическим процессом раскачивания электронной оболочки падающей волной все же сохраняется. Так, при малой энергии квантов (это соответствует более длинноволновому излучению) фотоэлектроны вылетают преимущественно под углом 90° , то есть по направлению вектора \mathbf{E} падающей волны. Но, по мере увеличения энергии квантов (увеличения частоты и уменьшения длины волны), фотоэлектроны вылетают под все меньшими углами с явным направлением их импульса по направлению падения ультрафиолетового или рентгеновского излучения. В этих случаях все заметнее начинают проявляться корпускулярные свойства полей-волн.

3.2.4. Эффект Комптона

При высокой энергии квантов электромагнитного поля (фотонов) наблюдается квантовое рассеяние с изменением длины волны - эффект Комптона. Оно сопровождается вылетом электрона из оболочки атомов или молекул. Сопоставим процессы с помощью следующих схем, представленных на рис. 3.4.

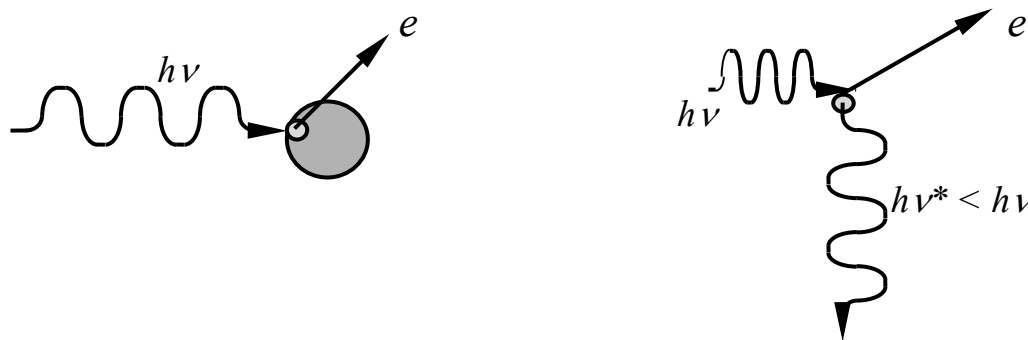


Рис. 3.4. Схемы эффекта фотоионизации и эффекта Комптона

В результате фотоэлектрического эффекта квант поля полностью поглощается. В результате Комpton-эффекта квант поля рассеивается, теряя часть своей энергии. Поэтому частота рассеянного фотона станет меньше, а длина волны - больше, чем у падающего. Самым удивительным с классической точки зрения было то, что в процессе рассеяния рентгеновское излучение «вело себя», как поток идеально упругих частиц. Взаимодействие их с электроном удавалось рассчитать по формулам удара упругих шаров.

Идея объяснения эффекта по Комптону состоит в том, чтобы рассматривать фотоны как частицы, имеющие динамическую массу, эквивалентную их энергии:

$$m c^2 = h\nu \text{ и } m = h\nu / c^2. \quad (3.3)$$

Зная величину динамической массы и скорость фотонов (она равна скорости света), можно определить импульс фотонов

$$P = h\nu / c. \quad (3.4)$$

После этого следует использовать фундаментальные законы сохранения импульса и энергии, чтобы рассчитать энергию и импульс вылетающего электрона или импульс и частоту рассеянного кванта. За открытие и объяснение эффекта, столь наглядно демонстрирующего корпускулярные свойства динамических электромагнитных полей, Артуру Комптону в 1927 году была присуждена Нобелевская премия по физике.

3.2.5. Эффект комбинационного рассеяния света (эффект Рамана)

В рассмотренных выше процессах взаимодействия электромагнитных полей с частицами вещества кванты поля либо сохраняют энергию, либо передают часть энергии, либо полностью поглощаются. В эффекте комбинационного рассеяния кванты электромагнитного поля *получают дополнительную* энергию при взаимодействии с колебаниями частиц вещества. Здесь вновь проявление корпускулярных свойств, ведь в процессах столкновения «настоящих» частиц они могут как терять энергию, *так и приобретать ее*. Теорию явления разработал академик АН СССР Мандельштам, независимо от него эффект наблюдал индийский физик Раман, первым опубликовавший сообщение об этом. Поэтому явление стали называть эффектом Рамана.

3.3. Фундаментальные частицы вещества

При исследовании центральной положительно заряженной области атома – ядра - выявилась его внутренняя структура: ядро состоит из протонов и нейтронов. На смену классическому атомизму пришла концепция атома, состоящего из субатомных частиц, для которых ввели термин *элементарные*, в смысле - далее неделимые. (Как когда-то считали неделимым атом). В 60 - 70 гг. нашего столетия обнаружилась не только множественность (более 350!) элементарных частиц, но и то, что многие из них являются составными (могут распадаться на другие частицы). В такой ситуации термин «элементарная частица» изменил свое физическое содержание. В современном естествознании это всего лишь *объединяющее название* для целого «мира» микрочастиц.

Парадигма классического естествознания включает в себя концепцию целостного, простого и гармоничного устройства мира. Основа мировой гар-

монии - вертикальное соподчинение (*иерархия*) различных, но подобных структурных уровней. «То, что наверху подобно тому, что внизу». В рамках классического естествознания всегда были обоснованными (предписывала парадигма!) поиски первоэлементов. Классическое идейное наследие подталкивало к поиску гармонии в новом разнообразии и к поиску новых первоэлементов - базовых, «действительно элементарных» частиц.

В качестве таких элементов были предложены кварки. Для совершенно нового слоя частиц, претендующих на фундаментальность, необходимо было намерено парадоксальное, непривычное название, которое будит ассоциации с чем-то необычным. С тем, что с трудом принимается рациональным мышлением.

Действительно, по модели М. Гелл-Мана и Дж. Цвейга, разработанной в 1963-64 гг., свойства кварков были очень непривычными даже для большинства физиков.

1. Электрический заряд кварков дробный: плюс две трети или плюс и минус одна треть от “естественной единицы заряда”, то есть от заряда электрона.

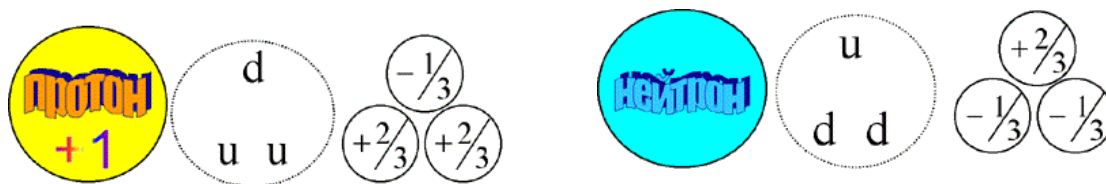


Рис. 3.5. Кварковая модель строения протона и нейтрона

2. В свободном состоянии, по одиночке, кварки просто не существуют. Как реальности кварки проявляют себя только в комбинациях по два или по три.

3. Во взаимодействиях с участием кварков должно было проявляться свойство, для характеристики которого требуется три различных качества.

Выдерживая принцип новизны, Гелл-Манн и Цвейг предложили название для свойства – «цветовой заряд», или просто *цвет*. Три проявления цветового заряда кварков: *красный, синий, зеленый*. Очевидно, что физический смысл этого цвета не тот, что в привычном человеку миру. Но почему не звук или вкус?

Все дело в том, что у обычного, обыденного цвета, есть свойство бесцветности. Смесь цветов радуги - бесцветна, это белый цвет. Комбинация трех различных кварковых цветовых зарядов тоже белая или бесцветная. Более того, выполняется принцип бесцветности: реально существуют (в виде других элементарных частиц) только такие комбинации кварков и антикварков, которые бесцветны.

Условно можно считать, что кварковая модель строения ядерного «вещества» знаменует становление современной физики микромира, поскольку она дает общую основу строения большинства микрочастиц. В ее языке,

кроме цвета, используются такие термины как странность, очарование, да и сами кварки называются следующим образом.

Названия, обозначения и заряды кварков

<i>Нижний</i>	<i>Верхний</i>	<i>Прекрасный</i>	<i>Очарованный</i>	<i>Странный</i>	<i>Высший</i>
d	u	b	c	s	t
$-\frac{1}{3}$	$+\frac{2}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$+\frac{2}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$+\frac{2}{3}$

В связи с гипотезой Гелл-Мана и Цвейга возникла проблема доказательства существования кварков. В классическом естествознании реально существующим объектом считалась частица, которую можно было видеть, которую можно было взвесить, определить объем и т.д. Микробы и другие микроорганизмы были гипотезой до тех пор, пока их не «зафиксировали» в поле зрения микроскопа. Альфа-частицы можно зафиксировать по их воздействию на люминесцентный экран, гамма-кванты фиксируются (пересчитываются) по эффекту ионизации газа в счетчике Гейгера. Другие элементарные частицы оставляют следы (треки) в фотоэмульсии или в пузырьковой камере. Все это - прямые экспериментальные доказательства реального существования объектов, переносящих вполне определенное количество энергии и импульса.

В отличие от классических или привычных квантовых объектов - элементарных частиц докварковой физики, индивидуальные кварки в обычных условиях не реализуются в природе. А раз так, то они не могут оставлять каких-либо индивидуальных следов. Не впадаем ли мы в мистицизм, веря в «кварки, которые не оставляют следов?» Оказалось, что можно не только верить в кварки, но и доказать их реальность. Правда, доказательства были получены в экспериментах *по совокупности косвенных «улик»*, а именно по предсказанию многочисленных эффектов, которые они должны были вызывать в реакциях с их участием. В анализе струй (веера) микрочастиц, рождающихся при высоких энергиях ускоренных частиц, можно было рассчитать импульс и энергию индивидуального кварка, определить его массу покоя. Точное предсказание конечного результата на основе кварковой теории является свидетельством реального наличия в природе этих фундаментальных «кирпичиков».

На современном этапе развития естествознания фундаментальными считаются следующие частицы вещества, каждая из которых имеет свою античастицу (различие - в знаке электрического заряда).

Кварки

u - кварк
d - кварк

c - кварк
s - кварк

t - кварк
b - кварк

Лептоны

электрон
электронное нейтрино

мюон
мюонное нейтрино

тау- лептон
тау- нейтрино

Существование кварков стало возможным проверить в опытах по рассеянию электронов с гигантской энергией в 2000 МэВ на протонах. Идейно эти опыты были похожи на опыты Резерфорда по рассеянию α - частиц на ядрах.

Если положительный заряд равномерно распределен в протоне, то электроны столь высокой кинетической энергии будут рассеиваться вперед и только под малыми углами. Если же в составе протона есть локальные электрически заряженные составляющие, то возможно рассеяние на большие углы и назад.

Опыты, выполненные на ускорителе Стэнфордского университета, показали, что очень часто электроны рассеиваются на большие углы. В отличие от рассеяния на одном заряде в опытах Резерфорда, в данном случае рассеяние электрона происходило на трех точечных зарядах и вклады процессов рассеяния на каждом из них перекрывались. Поэтому только после тщательных измерений угловых и энергетических распределений рассеянных электронов удалось выделить вклады отдельных центров рассеяния и определить величину их зарядов. Как и следовало из гипотезы кварков, заряды оказались дробными. Таким образом, кварковая модель выдержала первую проверку и была переведена в ранг теории.

Тем больше было изумление физиков, когда удалось рассчитать величины импульсов кварков в быстро движущемся протоне при его рассеянии на других нуклонах. Сумма импульсов кварков составляла всего около половины полного импульса протона! На основании закона сохранения импульса пришлось признать, что, кроме кварков, в составе протона имеются и другие частицы. Они не имеют электрического заряда, так как не оказывают влияние на движение электронов при их рассеянии на протонах. Новые частицы были названы *глюонами* (от английского *glue*), что означает клей. Теория показала, что именно глюоны осуществляют связь кварков в адроны - сильно взаимодействующие частицы. *Глюоны являются частицами глюонного поля.*

Позже было установлено, что глюоны несут цвет, как и кварки, и могут взаимодействовать не только с кварками, но и между собой. Цветовые взаимодействия объединяют в себе хромoeлектрическое (кулоновского типа) и хромомангнитное (типа магнитных сил) взаимодействия одновременно. Об-

разно говоря, цветовые силовые линии притягиваются друг к другу подобно двум параллельным проводникам с током. По своей величине действующие между кварками силы много больше не только электростатических, но и ядерных мезонных сил. Хромозлектрические силы являются самыми большими из всех наблюдаемых в настоящее время сил в природе.

Существует и другая возможность проверки наличия кварков в составе нуклонов. Она связана с использованием нейтрино. Эти частицы, как и электроны, не участвуют в сильных взаимодействиях и могут проникать в протоны и реагировать с одним из кварков. В результате реакции нейтрино превращается в электрон или в мюон. А эти частицы заряжены отрицательно, и их легко можно идентифицировать в эксперименте. Эксперименты, проведенные в 1973 г. и позднее в США и в Европейском центре ядерных исследований, по рассеянию нейтрино на нуклонах привели к выводам, полностью согласующимся с результатами опытов по рассеянию электронов на протонах. С этого времени кварки были признаны реально существующими частицами.

3.4. Основные положения концепции электрослабых взаимодействий

Нуклеарно-планетарная модель атома Резерфорда поставила перед классическим естествознанием две проблемы. Первая из них - проблема стабильности электронной оболочки - нами уже обсуждалась. Второй является проблема стабильности атомного ядра. Почему столь малое по размерам ядро не разрывается электростатическим отталкиванием положительно заряженных протонов? И почему некоторые ядра все же распадаются? Чтобы ответить на эти вопросы потребовалось немало времени. Только к середине нынешнего столетия удалось разработать теории новых двух взаимодействий, которых не знало классическое естествознание. Речь идет о теории сильных и слабых взаимодействий элементарных частиц.

Термин «сильные» относится к взаимодействиям, передаваемым на короткие расстояния (в пределах ядра). Слабые взаимодействия ответственны за нестабильность нейтрона и его превращение в протон. Эти взаимодействия происходят на ещё более коротких расстояниях - в пределах нуклона, и происходят с участием антинейтрино.

По теории слабых взаимодействий нейтрон распадается на протон, электрон (β -частицу) и антинейтрино по реакции



Для пояснения происхождения терминов полезно сравнить интенсивности взаимодействий, например двух протонов, находящихся на расстоянии порядка размера ядер. Примем за единицу интенсивности взаимодействия кулоновское отталкивание. Тогда относительные величины других взаимодействий будут выражены следующими соотношениями.

<i>Взаимодействие</i>	<i>Относительная интенсивность</i>	<i>Область действия</i>
1. Электрическое	1	не ограничена
2. Сильное	100	10^{-15} м
3. Слабое	0,001	10^{-17} м
4. Гравитационное	10^{-37}	не ограничена

К началу 60-х гг. нашего века теория сильных взаимодействий была хорошо разработана и описывала многие свойства ядер и ядерных реакций. Считалось, что нуклоны являются источниками пионного поля (поля Юкавы). Все известные к тому времени и вновь открываемые элементарные частицы стали классифицировать на адроны и лептоны. Первые способны участвовать в *сильных* взаимодействиях, тогда как вторая группа частиц участвует только в *слабых* взаимодействиях. Что же двигало физиками - теоретиками, когда они пытались создавать концепции объединенных взаимодействий?

Как любят говорить философы, в человеческой практике Мир предстает как многообразие форм и процессов движения материи. Наше сознание, интуитивное и рациональное, ищет и находит закономерности в процессах движения, устанавливает определенное единство за фасадом разнообразия структур и форм. Каждое открытие нового многообразия стимулирует поиски нового внутреннего единства и порождает гипотезы, теории и концепции нового объединения. Первой концепцией объединения можно считать теорию гравитации Ньютона. По Ньютону – «Тяготееют - все!». Наличие динамической массы у фотонов приводит к их притяжению (в принципе).

Второй объединительной теорией стала электродинамика Максвелла. Она объединила ранее рассматривавшиеся отдельно поле электрическое и поле магнитное. Объединительной концепцией в биологии была классификация К.Линнея. Л.Пастер открыл многообразие микроорганизмов-микробов.

Д.И. Менделеев объединил в стройную систему многообразие химических элементов. Так что поиск общих начал, как выражение интегративной тенденции, был всегда характерен для естествознания, включая и физику. С поиска первоэлементарных частиц - кварков и попыток создания теорий объединения электромагнитных и слабых взаимодействий условно начинается период постнеклассического (современного) естествознания.

В течение 1962 - 1968 гг. Ш. Глэшоу, С. Вайнберг и А. Салам, независимо друг от друга, опубликовали первые варианты теорий электрослабых взаимодействий (в 1979 г. они получили Нобелевскую премию по физике за эти работы). К настоящему времени теория прошла определенный период «увязки» спорных моментов и её основные положения можно представить следующим образом.

1. В области энергии частиц $mc^2 > 100\,000$ МэВ существуют четыре векторных динамических поля и одно скалярное, более фундаментальное, чем электромагнитное и слабое. Разделение на векторные и скалярное связано с наличием спина у квантов первых полей и с его равенством нулю у частиц второго поля.

2. Возбужденным состояниям полей соответствуют свои частицы-волны. *Векторным полям* соответствуют безмассовые частицы (их масса покоя равна нулю). Этим они похожи на фотоны и глюоны. Отличаются от них тем, что имеют электрический заряд. Если глюоны можно назвать окрашенными фотонами, то кванты векторных полей следует назвать *заряженными фотонами*. *Скалярному полю* соответствуют очень массивные частицы-волны, получившие имя бозонов Хиггса.

3. Скалярные бозоны взаимодействуют с безмассовыми частицами и, в результате суперпозиции полей, происходит следующее. Стационарными состояниями становятся три частицы: векторные бозоны и одна частица безмассовая - тот самый «обычный» фотон.

Теория предсказывала величину масс новых частиц: примерно 80 ГэВ для W^+ и W^- бозонов и около 90 ГэВ для Z^0 бозона. Электрические взаимодействия характерны для электронов (или β -частиц), а нейтрино всегда присутствует в слабых взаимодействиях. Теория дала их связь между собой, предсказывалось превращение электрона в электронное нейтрино при испускании векторного бозона по реакции



Согласно объединенной теории, реакция распада нейтрона должна быть записана несколько иначе, чем мы привели выше. Диаграммы Фейнмана для неё и для реакции рассеяния нейтрино на электроне выглядят следующим образом:

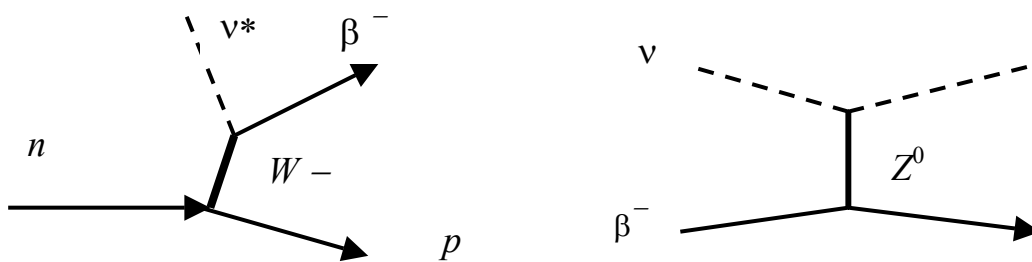


Рис. 3.6. Диаграммы Фейнмана для распада нейтрона и рассеяния нейтрино на электроне

При рассеянии нейтрино испускает нейтральный Z^0 бозон, электрон его поглощает, что меняет направления импульсов частиц.

В 1983 г. на встречных пучках Европейского центра ядерных исследований существование векторного бозона с массой 81 ГэВ было установлено

экспериментально. Позднее была определена и масса нейтрального бозона $m_0c^2(Z^0) = 91,3 \text{ МэВ}$.

Следует заметить, что это самая массивная из открытых элементарных частиц, ее масса сравнима с массой атома серебра! Прекрасное совпадение теоретических значений предсказываемых масс покоя и экспериментально определенных послужило определяющим доводом в пользу полного признания теории объединенных электрослабых взаимодействий. Распад объединенного взаимодействия на более простые, при энергиях ниже 100 ГэВ (округленно), иногда называют пороговым понижением симметрии фундаментальных взаимодействий.

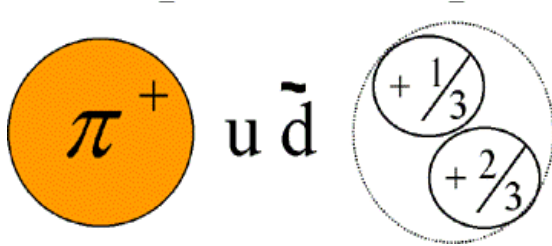


Рис. 3.7. Кварковая модель строения мезона

Подтверждение реальности существования векторных бозонов (их ещё называют промежуточными бозонами) стимулировало теоретический анализ их возможной роли во взаимодействиях

сильных. Для сильных взаимодействий современная физика не отрицает теорию π -мезонного поля, как СТО Эйнштейна не отрицает механику Ньютона.

Но на более глубоком, более фундаментальном уровне мы знаем, что π -мезоны состоят из кварков и антикварков. Например, в пи-плюс-мезоне нижний антикварк имеет заряд, равный плюс одной трети от абсолютной величины заряда электрона. В итоге заряд системы равен плюс единице.

Поэтому взаимодействие промежуточных бозонов теперь рассматривают именно с кварками, а не с мезонным полем.

Современная теория сильных взаимодействий показывает, что имеется определенная аналогия в процессах взаимодействия промежуточных бозонов с лептонами и с кварками. Некоторые из них можно представить с помощью похожих диаграмм реакций. Например, электрон и нейтрино могут превращаться друг в друга с испусканием векторных бозонов и при выполнении закона сохранения электрического заряда.

Точно так же верхний и нижний кварки могут виртуально переходить друг в друга. Для них диаграмма Фейнмана оказывается аналогичной, что позволяет использовать в расчетах аналогичный математический аппарат.

Прямая реакция	Обратная реакция
$\beta^- \Rightarrow \nu_e + W^-$	$W^- + \nu_e \Rightarrow \beta^-$
$d \Rightarrow u + W^-$	$u + W^- \Rightarrow d$
$-1/3 = 2/3 - 1$	$2/3 - 1 = -1/3$

В последнем случае непривычно выглядит баланс электрических зарядов, так как заряды кварков дробные.

На основании аналогии этих и многих других, более сложных, взаимодействий возникла идея о дальнейшем объединении, получившая образное название Великого объединения. Предварительные теоретические проработки, выполненные за последние годы, показали, что последующие шаги объединения электрослабых и сильных взаимодействий в объединенное возможно только при достижении энергии порядка 10^{15} ГэВ. Возможности современных ускорителей на встречных электрон-позитронных пучках в ближайшей перспективе не превысят 280 ГэВ. Как видим, вопрос об экспериментальной проверке теоретических представлений пока не ставится.

Тем не менее следует привести схему границ, при достижении которых не исключено повышение симметрии фундаментальных взаимодействий.

Энергетический порог объединения в ГэВ

		100	10^{15}	10^{19}
			↓	↓
Объединение	Единство лептонов			
Великое объединение	Единство лептонов и кварков			
Супергравитация	Единство лептонов, кварков и гравитонов.			

Считается, что Великое объединение может описать квантовая теория калибровочных полей, развивающая современную квантовую хромодинамику. Ряд вариантов теорий предполагает существование ещё одной, нижней, ступени лестницы Вайскопфа, приведенной в конце гл. 1.

Для таких субкварковых единиц материи теоретики придумали целый ряд названий, таких, как стратоны, ришоны, преоны или галоны.

Однако вся экспериментальная база современной физики микромира подтверждает существование лишь трех поколений фундаментальных частиц, таблица которых уже приводилась выше. Последняя проверка этого положения была проведена сравнительно недавно.

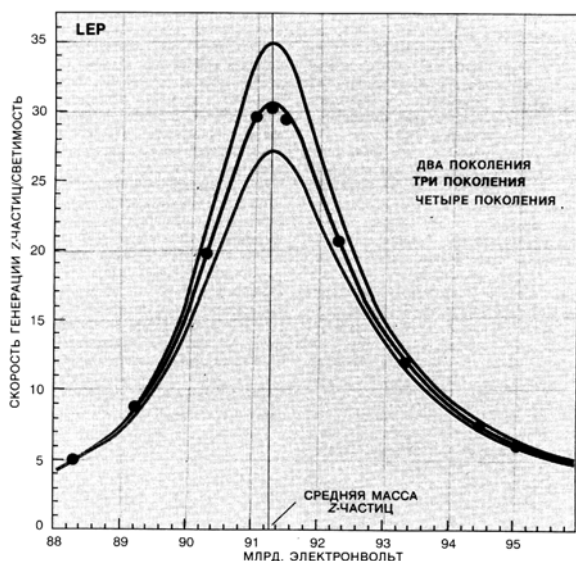


Рис. 3.8. Сопоставление экспериментальных результатов с теоретическими расчетами

Были проанализированы резонансные кривые, предсказываемые для Z-частицы по различным вариантам теории. При этом были обработаны данные более десяти тысяч событий образования Z-бозонов, наблюдавшихся в CERN. При увеличении энергии соударяющихся электрона и позитрона меняется выход Z-частиц так, что амплитуда распределения и ширина пика на полувысоте зависят от числа поколений фундаментальных составляющих вещества. По тому распределению, на которое “укладываются” экспериментальные точки, можно судить о числе поколений. Оказалось, что все эксперимен-

тальные результаты согласуются с предположением о существовании трех поколений фундаментальных частиц вещества.

Кроме того, согласно предсказаниям теории Великого объединения, протон не является стабильной частицей и может распадаться на позитрон и нейтральный пион либо на положительный пион и нейтрино. Время распада по первоначальному варианту составляло 10^{30} лет. Попытки обнаружить распад протона не увенчались успехом, так что время стабильности протона по крайней мере больше 10^{32} лет. Таким образом, ясно, что теория пока ещё далека от завершения. Если распад обнаружат, - это будет свидетельством верности идеи Великого объединения. Электрослабое и Великое объединения представляют собой попытки построения теории на базе устоявшихся представлений и методов квантовой теории поля.

Задача Суперобъединения, или Супергравитации потребовала более радикальных представлений о пространстве-времени и его взаимоотношении с веществом. Гипотезы суперобъединения используют довольно необычные идеи. В качестве примера приведем две из них.

Идея расслоенных пространств

Считают, что каждой точке обычного пространства можно “приклеить” целый слой пространств с произвольным числом измерений. Более того, допускается даже дробная размерность, между четырьмя и тремя измерениями например. Геометрические (топологические) свойства таких пространств отвечают («диктуют веществу») за тот спектр масс, зарядов, спинов, которые наблюдаются для элементарных частиц в настоящее время. Скорее всего, для описания наблюдаемых значений потребуется континуум с размерностью, равной десяти. Такая размерность реализуется только на предельно малых расстояниях, порядка длины Планка, то есть около 10^{-34} м. При больших масштабах многомерность оказывается скрытой и проявляется только основная размерность, равная четырем. Чтобы пояснить возможность компактификации (от понятия компактный) части измерений, можно привести пример тора (бублика). Ось тора замыкается сама на себя, от любой точки на ней в обе стороны можно откладывать любые по величине расстояния. В перпендикулярном направлении вокруг любой осевой точки тоже можно откладывать угловые координаты. В то же время с большого расстояния тор выглядит обычной точкой трехмерного пространства. Чтобы прозондировать расстояния, сравнимые с планковской длиной, необходимы энергии частиц, которые вряд ли когда-нибудь будут достигнуты на земле. И надежды физиков обращены к космосу, в глубинах которого имеются источники гигантского энерговыделения, например сталкивающиеся галактики. Из этих областей на землю приходят космические лучи с огромной энергией. По шутке одного из физиков, «*Космические лучи - это ускоритель для бедных ...*»

Идея микрочастиц - струн

Она связана с одной из особенностей энергии взаимодействия, с её обратно пропорциональной зависимостью от расстояния. Когда расстояние стремится к нулю, величина энергии стремится к бесконечности, что приводит к потере физического смысла. Если же рассматривать некоторый линейный, а не точечный объект, то энергия взаимодействия стремится к большой, но конечной предельной величине. Таким путем расходимость энергии на малых дистанциях устраняется.

Этой же цели служит и «ход конем» с использованием дробных размерностей пространства. Оказывается, что в таких пространствах можно «обойти» бесконечно большие значения энергии и получить конечное значение, характерное для размерности 4,5. Затем повторить расчеты для значений размерности пространства 4,3 и 4,1. Полученные значения обозначают тенденцию изменения, в зависимости от размерности, и позволят экстраполировать величину энергии на целочисленную размерность 4,0.

Подводя итоги, отметим, что развитие знаний и представлений об окружающем мире шло и идет от открытия одного класса многообразий структурных объектов к другому, более сложному для восприятия на данном историческом этапе. От атомов неразрезаемых - к атому в виде некоторой системы, структурными элементами которой являются электроны оболочки и центральное (неделимое) ядро. Затем вскрывается нуклонная структура ядра, структура самих нуклонов... И каждый раз человеческий разум ищет то внутреннее единство, которое позволяет охватить новое многообразие. Для эпохи Аристотеля достаточно было четырех первоэлементов, для времени Д.И. Менделеева многообразие атомов занимало примерно 120 клеток его таблицы. В середине 60х гг. нашего столетия число открытых элементарных частиц превысило 350. Современная таблица фундаментальных структурных элементов содержит три поколения элементарных частиц. Это в общем счете 12 кварков и антикварков, 8 глюонов, 6 лептонов с их античастицами, фотоны и гравитоны. Некоторое время назад казалось, что достаточно будет трех кварков, чтобы построить все остальное. Но открываются новые составляющие и идея *малого числа* фундаментальных основ не подтверждается.

В последнее время в современном естествознании все больше вырисовывается другой подход. Он основан на признании принципа обязательной вариативности структурных элементов для сложных природных систем, будь то система элементарных частиц или биоценоз.

Только при наличии некоторого минимального, но разнообразного набора можно построить функционально и структурно сложные системы.

Само осознание принципа допустимости и необходимости разнообразия элементов становится достоянием общей культуры человечества.

Кроме того, опыт развития естествознания от классического к современному показал, что изучение иерархии структурных уровней частиц вещества неизбежно приводит к более глубокому пониманию свойств пространства и времени. И к осознанию того факта, что геометрические свойства про-

странственно-временного континуума могут определять численные значения фундаментальных констант нашего мира - гравитационной постоянной, заряда электрона, спектра масс-энергий элементарных частиц.

4. ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ

4.1. Смена классической концепции мироздания

Классическая парадигма мироустройства была основана на данных астрономических наблюдений в том диапазоне электромагнитных излучений (ЭМИ), который воспринимает зрение человека, округленно от 0,4 мкм до 0,8 мкм. Если учесть то обстоятельство, что спектр ЭМИ необычайно широк, от гамма-лучей с длиной волны порядка 10⁻¹⁷ м до радиоволнового излучения с длиной волны достигающей 1 км, то станет очевидной ограниченность наблюдений в диапазоне видимого света и неполнота информации классической астрономии об окружающем мире.

Вплоть до 20-х годов прошлого столетия Вселенная отождествлялась с Галактикой, в которой находится солнечная система. В рамках классической концепции объектами Вселенной являлись звезды, туманности, планеты, кометы, астероиды и более мелкие метеоры и метеориты. Физическая природа всех объектов, кроме туманностей, была более или менее ясной. Для исследования же подробностей строения туманностей не было технических возможностей, которые появились лишь после ввода в строй телескопов с оптически совершенными зеркалами более чем метрового размера. В частности, в 1924 г. в США на высокогорной обсерватории Маунт Вилсон был сооружен телескоп с диаметром главного зеркала 2,5 м. Это позволило Эдвину Хабблу (1889-1953) установить, что ближайшая к нам туманность Андромеды (туманность в созвездии Андромеды) имеет спиральную структуру и является



Рис. 4.1. Старинная гравюра

галактикой, содержащей в своем составе сотни миллиардов звезд. Постепенно выяснилось, что большинство туманностей также представляют собой галактики разнообразных форм, шаровых, эллиптических, спиральных, спиральных с поперечной полосой...

Открытие других галактик имело революционное значение не только для астрономии, но и для всего естествознания в целом. Наша галактика оказалась одной из множества других, и хотя мы лишены возможности взглянуть на нее со стороны, но наличие Млечного пути среди созвездий позволило определить ориентацию срединной плоскости нашей галактики и признать, что по форме она отвечает спиральной конфигурации, подобной галактике М31 (туман-

ности Андромеды). Вселенная стала Метагалактикой, то есть более общей категорией (то, что над одной галактикой). Сам горизонт человеческого осмысливания окружающего мира скачком раздвинулся на новые гигантские космические расстояния.

Достаточно сказать, что до туманности Андромеды свет распространяется в течение 2 млн. 300 тыс. лет! Имя Эдвина Хаббла по праву должно стоять в ряду таких великих имен, как Галилео Галлилей, Тихо Браге, Никола Коперник и Джордано Бруно.

Необходимость смены парадигмы мироздания стала очевидной. Резонанс в общественном сознании был сравним с тем влиянием, которое оказало установление планетарной модели строения атома Э. Резерфордом.

*И страшным, страшным креном
К другим каким-нибудь
Неведомым вселенным
Повернут Млечный путь ... —*

такими словами выразил свои впечатления от открытия Хаббла русский поэт Б. Пастернак.

Вместе с тем стало ясно, что одних только оптических наблюдений будет недостаточно для исследования Вселенной как Метагалактики. По мере открытия высокоэнергетических космических излучений, начинают проводить эксперименты по их регистрации на высотных аэростатах, на поверхности Земли, в толще гор и под водой. Были открыты линии радиоизлучения водорода на длине волны 21 см, оксида углерода - на длине волны 2,64 мм, гидроксила - на длине волны 18 см. Поэтому ачинают строить радиотелескопы в виде гигантских радиоантенн. Примером может служить РАТАН - радиотелескоп академии наук СССР в Крыму, где элементы сборной антенны передвигаются по круговому рельсовому пути.

После запуска первых искусственных спутников Земли, показавших возможность вывода научной аппаратуры в околоземный космос, начинается время запусков на орбиту телескопов, работающих в различных диапазонах длин волн. Первый запущенный рентгеновский телескоп носил символическое название «Ухуру» - «Разведчик» (на языке племени ирокезов). Небо в рентгеновских лучах оказалось совсем не похожим на привычную картину созвездий, хотя целый ряд источников оказался видим «во всех лучах», включая гамма-лучи.

Сравнительно недавно были открыты рентгеновские пульсары и барстеры, квазизвездные объекты - квазары, вспышки сверхновых теперь регистрируют сначала с помощью нейтринных детекторов и в рентгеновских лучах, затем, с опозданием до нескольких суток, наблюдается вспышка светового излучения. В настоящее время разрабатываются проекты спутниковых лазерных интерференционных гравитационных обсерваторий. Таким образом, современная астрономия становится всеволновой, а горизонт Вселенной

отодвигается все дальше. По каким причинам последнее обстоятельство очень важно для естествознания, мы рассмотрим в последующем разделе. Сейчас же отметим, что галактики не располагаются во Вселенной хаотически, а образуют локальные группы или скопления.



гала

Наша галактика входит в Местную группу, членами которой являются также М31 (Андромеда), М33 (Треугольник), галактики Большого Магелланового облака и ряд других (всего около 25). Члены Местной группы разбросаны по пространству в пределах до 3 млн. световых лет. Центр масс группы расположен на одной трети расстояния от нашей галактики (ее название - Млечный путь) до галактики М31. Самые массивные галактики могут иметь маломассивные галактики-спутники. Например,

Большое Магелланово облако является спутником нашей галактики и совершает один оборот вокруг Млечного пути за 2,5 млн. лет.

С развитием компьютерной техники стала возможной обработка больших массивов информации о расположении галактик и их скоплений. В 1977 г.

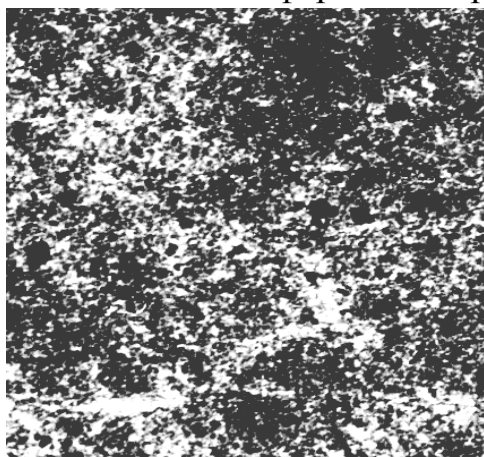


Рис. 4.3. Расположение скоплений галактик

были опубликованы первые результаты компьютерного анализа положения более чем 1000 галактик в достаточно узком клине неба в направлении созвездия Волосы Вероники. На экране компьютера получилась картина распределения, которую позднее назвали ячеистой.

В начале 80-х гг. окончательно сложилась новая идея о том, что скопления галактик, в свою очередь, образуют ленты огромной пространственной сети. Средний размер ячейки (не содержащей звезд) такой трехмерной сети составляет примерно 330 млн. световых лет ($1 \text{ световой год} = 9,5 \cdot 10^{15} \text{ м}$). Ячейки

представляют собой "пузыри" пустого пространства, а Вселенная на самом грандиозном масштабном уровне напоминает «губку».

Открылась бездна, звезд полна.

Звездам числа нет, бездне - дна, -

так писал о ночном небе российский ученый-энциклопедист М. Ломоносов. Фактически в этой строфе выражена классическая парадигма устройства мегамира. В ее рамках роль основных структурных единиц отведена звездам. В современном естествознании основной единицей (или, скорее, строительным

блоком) выступают галактики, несущие в себе от 10^{10} до 10^{12} звезд типа нашего Солнца. К концу XX в. наши представления о Вселенной стали более структурированными и более полными, чем в его начале.

4.2. Движение и столкновения галактик

Разнообразие форм галактик можно рассматривать как проявление действия принципа минимального разнообразия. Оно свидетельствует о вариативности условий формирования и эволюции конкретных строительных блоков Вселенной.

4.2.1. Строение нашей галактики

Наша галактика (Млечный путь) представляет собой спиральный диск с четырьмя закрученными рукавами и с центральным шаровидным утолщением. Толщина диска около 500 св. лет (за такой интервал времени свет пересечет его). Радиус рукавов равен примерно 50 000 св. лет. Центральное утолщение Млечного пути имеет диаметр около 20 000 св. лет, толщину - в 3 000 св. лет и окружено роем (иногда используют термин гало) из примерно 200 шаровых звездных скоплений.



Черная полоса, которую мы видим ночью вдоль Млечного пути (и на фотографиях некоторых других галактик), свидетельствует, что межзвездное пространство в Галактике заполнено гигантскими газопылевыми облаками, поглощающими видимое излучение, но прозрачными для радиоволн и инфракрасного излучения. Именно на основа-

нии данных радиоастрономии и спутниковых наблюдений в ИК – диапазоне была установлена четырехрукавная структура нашей галактики и то, что Солнце располагается на расстоянии 25 000 св. лет от центральной части. Один оборот вокруг центра Галактики Солнце совершает примерно за 200 млн. лет, за время его существования оно около 25 раз успело обойти центр Млечного пути. Можно образно сказать, что Солнцу 25 галактических лет!

Скорость вращения отдельных звезд определяют по смещению спектральных линий (по эффекту Доплера). Для нашей Галактики величина массы составляет примерно 100 млрд. солнечных масс. Это, по порядку величины, соответствует массе видимых звезд и газопылевых облаков. В то же время измерения скоростей движения звезд, расположенных на периферии Млечного пути и шаровых скоплений в галактическом гало, показало, что

они движутся вокруг центра с такими скоростями, которые не соответствуют оценке полной массы видимого вещества нашей галактики. Несоответствие устраняется в том только случае, если допустить, что существует темное вещество, скрытое от использованных методов наблюдения. Причем масса невидимого вещества на порядок величины превосходит ту массу, которая определяется современными методами астрономии. Физическая природа темного вещества, которое проявляется только в гравитационном взаимодействии, в настоящее время дискуссионная.

В самом центре нашей галактики зарегистрирован источник с экстремально большим энерговыделением. Имея сравнительно небольшие размеры (порядка размеров Солнечной системы), он обладает массой в миллион раз большей, чем Солнце, и светит в широком диапазоне излучений в 100 млн. раз интенсивней. Первая гипотеза о природе такого источника связывала его со вспышкой звездообразования «молодых» звезд. В настоящее время более вероятной причиной считают Черную дыру, образовавшуюся в самом «сердце» Млечного пути.

4.2.2. Волны в галактиках

Самая интересная особенность многих галактик - это их спиральная структура, вызывающая впечатление звездного вихря и часто красивая сама по себе! Как возникают спиральные рукава и почему за миллиарды и миллиарды лет они не «намотались» на центральную часть? Ведь галактики вращаются дифференциально, с разной угловой скоростью на различных расстояниях от центра (а не как твердый диск или обруч). Парадокс был разрешен только в середине 60-х гг. (вновь рамки современного естествознания!), когда Ц. Лин и Ф. Шу в США предложили модель звездных волн, бегущих по диску галактики вне зависимости от её дифференциального вращения.



Парадокс был разрешен только в середине 60-х гг. (вновь рамки современного естествознания!), когда Ц. Лин и Ф. Шу в США предложили модель звездных волн, бегущих по диску галактики вне зависимости от её дифференциального вращения.

Оказывается спиральный рукав является той областью диска, куда подошел фронт волны, где вещество временно уплотнилось. Через некоторое время гребень волны сгущения перейдет в новое положение, а в прежнем месте возникнет разряжение.

Однако как убедиться в том, что реальны волны не только на поверхности воды или в газах, но и в космических структурах? Ведь период колебаний в звездной волне растягивается на сотни миллионов лет!

Здесь самое время вспомнить, что любой волновой процесс характеризуется как временной, так и пространственной периодичностью. Поэтому можно было ожидать периодического чередования

Рис
спиральной галактики

значений скоростей движения звезд в галактическом диске. Проведенные измерения поля скоростей звезд в нашей галактике позволили выделить периодическую структуру спиралевидной формы, и она полностью соответствует расположению спиральных рукавов в окрестностях Солнца. Иначе говоря, данные о периодичности поля скоростей стали решающим аргументом в пользу теории звездных галактических волн.

Следствием движения волнового фронта по диску галактики могут быть ударные волны в межзвездном газе. Для этого необходимо одно условие - скорость движения гребня звездной волны должна превышать скорость звука в межзвездном газе. Только тогда возникает галактическая ударная волна. Действительно, во многих галактиках проявляются узкие темные области сильно сжатого газа и пыли, тонкой спиралью протягивающиеся вдоль гораздо более широких рукавов. Из этих областей идет сильное гамма-излучение, возникающее при столкновениях протонов космических лучей с протонами сгущенного межзвездного водорода. Ещё более важно то, что с галактическими ударными волнами связано интенсивное звездообразование и непосредственно в области ударной волны мы можем наблюдать самые молодые звезды, а в области за фронтом волны возраст звезд увеличивается. Чем дальше от фронта ударной волны в галактике, тем старше звездное «население» - такое распределение возрастов звезд по ширине спиральных рукавов действительно было обнаружено в нашей и в других галактиках.

4.2.3. Столкновения галактик

Галактики Местной группы движутся вокруг общего центра масс. Сравнительно недавно, в 1993 г., были опубликованы результаты сравнения положения самой близкой к нам галактики - Большого Магелланового облака (БМО) - произведенного с интервалом в 17 лет. Скорость движения БМО оказалась неожиданно высокой. Как и в случае движения шаровых скоплений в гало Галактики, приходится признать, что полная масса нашей Галактики и других больших спиральных галактик Местной группы на девять десятых состоит из невидимого, но действующего через гравитационное поле вещества. Кроме того, выяснилось, что орбита движения галактики-спутника, каковой является БМО по отношению к нашей галактике, проходит достаточно близко к гало Млечного пути и приливные гравитационные силы деформируют БМО. Возможно, поэтому она не имеет спиральной структуры и относится к галактикам с нерегулярной формой. В результате неоднократных сближений двух галактик от Большого Магелланового облака отделилась длинная тонкая дуга из вещества, падающего на нашу Галактику. Таким образом в нее вносятся не только водород газопылевых облаков, но и звезды и рассеянные звездные скопления. По оценкам астрономов за время порядка 10 млн. лет все вещество БМО «перетечет» в Млечный путь. Еще несколько

десятилетий назад подобные процессы считались бы совершенно фантастическими!

Независимые подтверждения возможности таких крупномасштабных явлений, как столкновения и (или) слияние галактик, были получены в результате спутниковых наблюдений в ИК-

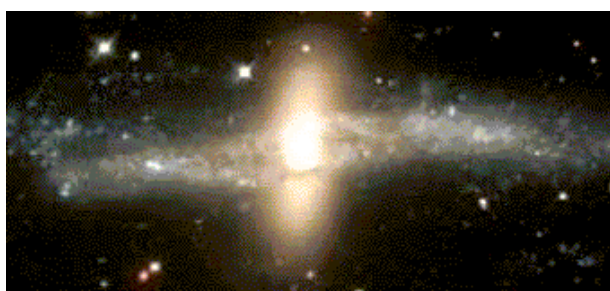


области спектра. В частности, запущенный в 1983 г. космический аппарат IRAS позволил получить целый ряд снимков нового класса объектов - инфракрасных галактик. Их особенностью является громадная светимость, в 100 000 раз большая, чем обычных видимых

галактик.

В видимом диапазоне такие галактики не проявляют себя, так как содержат

большое количество пыли и газа. Пыль очень эффективно поглощает ультрафиолетовое и видимое световое излучение, скрывая тем самым источник большого энерговыделения от прямых наблюдений. Однако поглощенная пылью энергия не пропадает, а переизлучается в ИК-диапазоне. Оказалось, что ИК-источники со светимостью на уровне квазаров обнаружены только среди сливающихся галактик и на снимках можно видеть различные этапы близкого взаимодействия двух галактик. Более того, эти результаты позволили предположить, что если яркими источниками в галактиках являются квазары, то они (квазары) формируются в процессах столкновения двух богатых газом и пылью галактик. Так как число квазаров велико, - это означает, что столкновения галактик являются не таким уж экзотическим явлением.



В отличие от процессов столкновения в микромире, где наибольший эффект приносят столкновения частиц при высокой скорости относительного движения, при столкновении двух галактик наибольший эффект достигается при малой скорости прохождения галактик друг через друга. Здесь важно, чтобы было достаточное время взаимодействия двух систем,

при котором возможно развитие приливных волн, наподобие приливов в сплошной среде - земном океане. В зависимости от типа галактик и конкретной геометрии сближения столкновения могут приводить к появлению изогнутых «мостов», направленных навстречу, и «хвостов» из вытолкнутых звезд с противоположной стороны галактического диска. Возможно появле-

ние фрагментов, вращающихся перпендикулярно галактической плоскости, звездных или газовых колец, светящихся отростков и волокон.

После открытия инфракрасных галактик встал вопрос о причинах «эпидемии» звездообразования в сталкивающихся галактиках. Было известно, что новые звезды образуются в сгущениях газопылевых облаков обычных галактик. В Млечном пути образуется по две-три новых звезды ежегодно. При столкновениях скорость образования возрастает на два порядка. Это значит, что сопоставимое по общей массе газопылевое облако стягивается при столкновении в центральную часть и его плотность резко возрастает. Почему?

С помощью компьютерного моделирования было показано, что при столкновении галактик звезды и межзвездный газ не могут больше двигаться согласованно, так как, в отличие от потоков звезд, газовые потоки при столкновении порождают мощные ударные волны и взаимно тормозятся. При уменьшении орбитальной скорости убывает и центробежная сила так, что поле гравитации может сжимать пылегазовые облака к центрам галактик. Некоторые звезды образуются в процессе сжатия облаков. Но большая часть газа, собранного в центрах сталкивающихся галактик, падает по сходящейся спирали на центр масс слившейся пары, где и возникает более интенсивная вспышка образования новых звезд.

В ближайшей окрестности Местной группы наиболее заметной и наиболее массивной концентрацией галактик является скопление Дева с примыкающим к нему окружением других, меньших галактик. Это Местное сверхскопление, центр его лежит на расстоянии 40-80 млн. св. лет от Солнечной системы. Местная группа галактик под действием поля тяготения Местного сверхскопления приближается к нему со скоростью 250 км в секунду. Около десяти лет тому назад было установлено, что Местное сверхскопление, следующее по удаленности от нас сверхскопление Гидра - Кентавр и целый ряд других скоплений и сверхскоплений движутся в направлении некоторой концентрации масс, примерно в 20 раз превосходящей массу Местного сверхскопления. Мало изученное пока образование, к которому направлен поток галактик, получило название Великий аттрактор. Если его существование подтвердится, то спектр масс во Вселенной пополнится еще одной «точкой», представляющей самую большую концентрацию вещества, которую удалось обнаружить человеку.

И наконец самое общее движение, в котором участвуют все без исключения галактики - это взаимное хаббловское разбегание. Оно было обнаружено Хабблом в 1929 г. на основании красного смещения линий излучения водорода в спектрах почти всех галактик.

4.3. Закон Э. Хаббла и будущее Вселенной

Как известно, каждый химический элемент имеет свой индивидуальный спектр поглощения и испускания в ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной областях спектра. Можно сказать, что спектр испускания являет-

ся «визитной карточкой» данного элемента в атомарном или ионизованном состояниях. Этим обстоятельством и пользуются в земных лабораториях для качественного и количественного спектрального анализа веществ. Если источник излучения движется по отношению к наблюдателю с его спектрографом, то вступает в действие эффект Доплера (1803-1853).

4.3.1. Эффект Доплера

Он заключается в том, что частота и длина волны регистрируемого излучения зависит от величины отношения скорости движения источника излучения к фазовой скорости волны.

Для электромагнитных излучений фазовая скорость в вакууме равна скорости света и формула Доплера имеет вид

$$v^* = v_0 \left(1 \pm \frac{V}{c} + \frac{V^2}{2 \cdot c^2} \right), \quad (4.1)$$

где v^* - частота линии излучения, регистрируемая в случае подвижного источника; v_0 - частота линии излучения в случае неподвижного источника; V - скорость движения источника по отношению к приемнику; c - скорость света.

Знак плюс в скобках выбирают в случае сближения, знак минус - в случае удаления источника от приемника.



Рис. 4.8. Схема смещения и уширения линий спектра

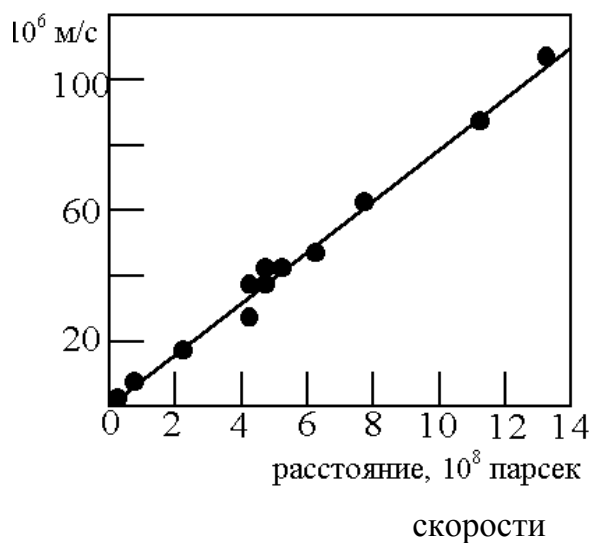
В последнем случае частота уменьшается, а длина волны увеличивается и положение линии излучения смещается в длинноволновую область, ближе к красной границе видимого спектра. Именно в этом случае говорят о «красном» смещении всех линий в спектре излучения. Если мы наблюдаем вращающуюся галактику «с ребра», то с одного края звезды и газ удаляются от нас, с противоположного края вещество галактики приближается к нам. В ре-

зультате этого каждая спектральная линия расширяется как в сторону низких частот, так и в сторону высоких.

Поэтому полное уширение линии позволяет рассчитать удвоенное значение максимальной орбитальной скорости вещества в галактике (в дополнение к информации о скорости убегания галактики в целом). Значение максимальной орбитальной скорости легко определить, используя формулу (4.1) и разность частот v_1^* и v_2^* .

4.3.2. Закон Хаббла

Когда В. Слейфер и позднее Э. Хаббл начали измерять смещения положений линий в спектрах других галактик, то они в большинстве случаев наблюдали красное смещение. Затем Хаббл разработал методику определения расстояний до далеких галактик и сопоставил величины красных смещений с величиной расстояния до данной галактики. В 1929 г. он опубликовал результаты сравнения данных для многих галактик, из которых следовало, что чем дальше расположена галактика, тем больше величина красного смещения линий в ее спектре. Физически это означало, что существует прямая пропорциональная зависимость между расстоянием до галактики и скоростью ее удаления от нашей Галактики (так записывают другое название Млечного пути).



раз

Некоторое отклонение от линейной зависимости, наблюдаемое для ряда близких галактик, связано с их движением в рамках Местного сверхскопления или Местной группы галактик, о котором говорилось в предшествующем разделе.

Открытый Хабблом закон можно записать в виде

$$V = H R, \quad (4.2)$$

где V - скорость удаления галактики; R - расстояние до данной галактики; H - постоянная Хаббла.

Наклон графика позволяет оценить величину постоянной Хаббла. Необходимо отметить при этом, что величины расстояний до самых далеких галактик могут быть измерены лишь с большой погрешностью и разброс значений уменьшен при использовании логарифмического масштаба по осям координат. Поэтому для численного значения H принимают интервал от 50 до 100 км/(с·Мпс).

При опубликовании статьи Э. Хаббл считал, что его данные согласуются с общепринятым в то время положением о стационарности Вселенной. И лишь много позднее признал, что его открытие привело к революционной

Здесь скорость выражена в метрах за секунду (м/с), а расстояние - в единицах измерения традиционных для астрономии, то есть в мегапарсеках (Мпс). Для перевода в более привычную метрическую систему мер можно использовать следующие соотношения между астрономическими единицами:

$$1 \text{ Мпс} = 3,26 \text{ св. года},$$

$$1 \text{ св. год} = 9,5 \cdot 10^{15} \text{ м}.$$



Рис. 4.10. Иллюстрация расхождения частиц

ломке многих прежних представлений. Самое главное заключается в том, что взаимное разбегание галактик свидетельствует о расширении всего видимого объема Вселенной. Чтобы пояснить физическую ситуацию, рассмотрим механическую аналогию. Пусть Вы имеете резиновую ленту с нанесенными на нее сантиметровыми делениями. Прижмите начало ленты к столу и начните растягивать ленту за другой конец. При растягивании ленты вдвое за одно и то же время расстояние между первой и второй метками

возрастет на 1 см, третья метка продвинется от первой на 2 см, четвертая - на 3 см и так далее. Очевидно, что чем дальше от начала ленты находится метка, тем больше будет ее скорость по отношению к выбранной первой. Ведь по определению скорость равна расстоянию, проходимому за данное время. При этом будет выполняться линейная зависимость скорости от начального расстояния до точки наблюдения.

Другой аналогией, может быть лучше соответствующей сути дела, может быть «опыт» с изюминками в равномерно поднимающемся тесте. По мере расширения пирога во все стороны расстояния между метками - изюминками будет линейно возрастать. Неважно, какую из изюмин принять за начало координат, результат будет одним и тем же.

Иногда говорят, что Николо Коперник «сдвинул с места Землю», подразумевая революционную смену геоцентристской точки зрения на новую, гелиоцентристскую. Эдвин Хаббл «сдвинул с места» Вселенную!

4.3.3. Будущее Вселенной

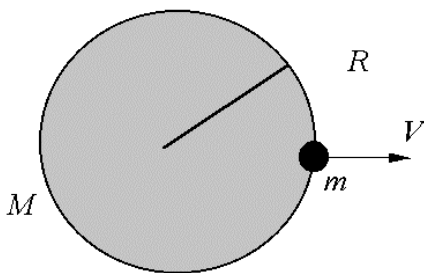


Рис. 4.11. Модель однородной Вселенной

Факты свидетельствуют о расширении Вселенной «во все стороны» в современную эпоху. Будет ли этот процесс продолжаться в дальнейшем? Что могло бы повлиять на скорость расширения и возможно ли сжатие Вселенной? Такие вопросы неизбежно встают после открытия Хаббла. Пытаясь разобраться в ситуации «на пальцах», физики используют самую простую модель Вселенной в виде изотропной и однородной сферы возрастающего радиуса R .

Мы знаем, что реальная Вселенная «в разрезе» похожа на губку (см. рис. 4.3), но это в данном случае большой роли не играет. Достаточно ввести в рассмотрение среднюю плотность ρ вселенной. Масса вселенной M тогда будет равна плотности умноженной на объем сферы:

$$M = \rho \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3 \quad (4.3)$$

Выделим некоторую массу вещества m на краю вселенной. Выбранная материальная точка будет обладать кинетической энергией W_c движения со скоростью V и потенциальной энергией W_p притяжения к центру масс вселенной. Соответствующие выражения известны из школьного курса физики:

$$\begin{aligned} W_c &= \frac{mV^2}{2}, \\ W_p &= \frac{-G \cdot M \cdot m}{R}. \end{aligned} \quad (4.4)$$

Ясно, что пока кинетическая энергия выше потенциальной, выделенная нами масса вещества m должна удаляться от центра вселенной. Выразим массу вселенной по (4.4), возьмем отношение двух энергий и заменим скорость V произведением постоянной Хаббла на радиус вселенной:

$$\Omega = \frac{W_c}{W_p} = \frac{8 \cdot \pi \cdot G}{3 \cdot H^2} \cdot \rho. \quad (4.5)$$

Как видно, величина отношения Ω не зависит от размера вселенной и прямо пропорциональна средней плотности вселенной ρ . Коэффициент пропорциональности определяется отношением гравитационной постоянной к квадрату постоянной Хаббла. Комбинацию величин, стоящих как множитель в формуле (4.6) перед средней плотностью ρ , можно заменить одной новой константой ρ^*

$$\rho^* = \frac{3 \cdot H^2}{8 \cdot \pi \cdot G}. \quad (4.6)$$

Физический смысл введенной константы в том, что ее величина определяет значение плотности вселенной, при которой отношение двух энергий равно единице. Если среднее значение плотности вещества во вселенной меньше критического значения ρ^* , то преобладает кинетическая энергия и вселенная будет только расширяться. Наоборот, если плотность вселенной выше критического значения, то постепенно процесс расширения перейдет в процесс сжатия, коллапса вселенной. Третий вариант, когда выполняется равенство критического значения и реальной плотности вселенной, соответствует постепенному замедлению расширения без обращения процесса к коллапсу. Здесь $V \rightarrow 0$ в пределе, когда время $t \rightarrow \infty$.

Различие сценариев будущего Вселенной более наглядно представляется тремя качественными графиками на рис. 4.12. Как видим, выбор пути эво-

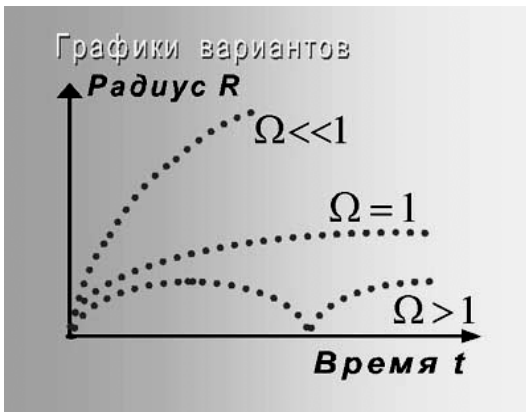


Рис. 4.12. Три варианта эволюции Вселенной

люции Вселенной связан с численным значением ρ^* , а оно определяется величиной гравитационной постоянной (которую мы знаем с высокой точностью) и величиной постоянной Хаббла (погрешность оценки которой велика). Если принять нижнее значение $H = 50 \text{ км}/(\text{с}\cdot\text{Мпс})$, то $\rho^* = 5 \cdot 10^{-27} \text{ кг}/\text{м}^3$, для верхней оценки $H = 100 \text{ км}/(\text{с}\cdot\text{Мпс})$ значение критической плотности будет в два раза больше приведенного.

Безразмерный параметр Ω , указанный возле кривых, показывает величину

отношения наблюдаемой средней плотности и критического значения $\Omega = \rho / \rho^*$. Чтобы сделать прогноз дальнейшего развития Вселенной, необходимо экспериментально определить численное значение средней плотности Вселенной. В настоящее время использованы несколько методов косвенных измерений плотности вещества в различных по размеру областях вселенной. Все они основаны на законе всемирного тяготения Ньютона. В первом методе были использованы результаты долговременных (с использованием астрономических архивов) наблюдений за вращением спиральных галактик. По периоду вращения и измеренным скоростям определялась масса видимого вещества для нескольких различных галактик и вычислялось усредненное значение массы одной галактики. По порядку величины она считается равной 10^{11} масс Солнца. Оценив среднее число галактик по видимому объему Вселенной, рассчитали величину плотности и получили оценку $\Omega \approx 0,01$. Однако темное вещество галактик в этом случае не было учтено. Более точная оценка получена при анализе движения двух галактик (в том числе вращения Большого Магелланового облака вокруг Млечного пути). Как отмечалось выше, это приводит к выявлению гравитирующего темного вещества галактик, масса которого на порядок выше видимой массы, и оценка параметра Ω изменилась до значения $\Omega \approx 0,1$. Следующим приближением является учет статистического распределения масс галактик в их скоплениях. С учетом спектра масс во Вселенной и возможного открытия объектов типа Великого аттрактора наиболее современные оценки приводят к выводу, что $\Omega \approx 1$. Во всяком случае, считается достоверной оценка $\Omega \leq 0,9$. А это означает, что еще много миллиардов лет Вселенная «способна» расширяться. При сохранении нынешнего темпа расширения за каждые 20 млрд. лет расстояние между галактиками будет увеличиваться в два раза. Так как величина параметра Ω приближается к единице, возможно, что скорость расширения будет со временем уменьшаться. Коллапсирование Вселенной пока считается менее вероятным. Однако следует учитывать, что каждое уточнение значений постоянной Хаббла и средней плотности вещества во Вселенной приво-

дит к уточнению величины параметра Ω и прогноз последующей эволюции может быть изменен.

4.4. Прошлое Вселенной

4.4.1. Две концепции Вселенной

В приведенном выше анализе мы не оговаривали в явном виде одно положение, считая его само собой разумеющимся. Речь идет о сохранении массы M вещества в расширяющейся Вселенной. Если масса постоянна, то в будущем вещество Вселенной в среднем станет более разреженным. Наоборот, в прошлом Вселенная была гораздо более плотной, чем в современную эпоху. Это автоматически следует из положения о сохранении массы и наблюдаемого расширения. Так что, если мы мысленно отправимся в прошлое, нам придется констатировать все более плотное вещество во Вселенной всё меньших размеров. И тогда в самом далеком прошлом мы неизбежно придем к началу всего сущего, к акту *однократного сотворения* первовселенной со всей ее массой - энергией. Такова, вкратце, суть концепции «Вселенной, имеющей начало».



Однако можно дать и другую, альтернативную, интерпретацию факту разбегания галактик. В 1946 г. Ф. Хойл, Т. Бонди и Т. Голд (США) предложили концепцию стационарной вселенной, не имеющей во времени «дня рождения» и поэтому не имеющей возраста (стационарной). Суть её заключается в предположении существования неких процессов, приводящих к *непрерывному сотворению* вещества во Вселенной. По их мнению, Вселенная существовала всегда, а разряжение вещества, обусловленное её расширением, компенсируется непрерывным вечным творением нового вещества.

Сторонником первой концепции был Джордж (Георгий) Гамов (1904 - 1968), русский физик и «невозвращенец» в СССР. В своем варианте космологической модели Гамов предположил, что ядра химических элементов могли образоваться в чрезвычайно плотном и высокоэнергетичном (горячем) нейтронном газе, который должен существовать в «первичном аду». Часть нейтронов распадается на протоны и электроны, из которых затем собираются атомы водорода. Ядра водорода последовательно захватывают дополнительные нейтроны и протоны с образованием нуклидов других элементов. Процесс наработки химических элементов продолжается до тех пор, пока объем

Вселенной не увеличится настолько, что температура станет ниже порога ядерных реакций. По Гамову сверхгорячее состояние, подобное ядерному взрывному процессу, просто необходимо для образования привычного для человека набора химических элементов. С другой стороны, знание условий, при которых происходят ядерные реакции, дает информацию об условиях в «первичном аду».

Так перекрываются области интересов космологии и ядерной химии. Атмосферу научного соперничества идей может передать небольшая цитата из статьи С. Дж. Браша «Как космология стала наукой» [6]: *«Хойл попытался принизить значение конкурента своей теории стационарной Вселенной, назвав эту новую версию « the big bang theory» (теория большого хлопка), но эта попытка обернулась против него: фраза оказалась столь выразительной, что была принята последователями самой теории»*. На русский язык название теории Гамова переводят как теория Большого взрыва.

Выбор между концепциями предстояло сделать на основании сравнения теоретических предсказаний альтернативных моделей и наблюдаемого строения объектов Вселенной. Скорость света конечна, поэтому чем дальше от нас расположены объекты, тем позже дойдут до нас испущенные ими электромагнитные излучения. Это значит, что близкие галактики мы видим почти такими, какие они есть. От далеких галактик сейчас к нам поступает информация о положении, бывшем миллиарды лет тому назад. По выражению одного из физиков *«Астрономия - это археология во времени»*. Сравнивая картины далеких и близких галактик, можно получить аргументы в пользу выбора «правильной» концепции.

Согласно сторонникам стационарной Вселенной, она выглядит всегда одинаково, так что далекие галактики не должны отличаться от близких. Наблюдения говорят, что это не так. В частности, установлено, что в прошлом (то есть для далеких галактик) столкновения и слияния галактик происходили гораздо чаще, чем в современную эпоху. С развитием радиоастрономии были открыты квазары - квазизвездные источники радиоизлучения гигантской светимости. Оказывается, что все квазары удалены от нас настолько, что их считают самыми старыми объектами, которые еще можно наблюдать с Земли (из-за конечности скорости света). Среди близких галактик аналогов квазарам нет. Приведенные факты показывают динамичность Вселенной в соответствии с концепцией начального творения. Еще большее обоснование теория Большого взрыва получила в середине 60-х гг., когда было открыто реликтовое тепловое излучение, оставшееся во Вселенной как общий космический фон, до современной эпохи.

4.4.2. Реликтовое излучение Большого взрыва

Из повседневного опыта мы знаем, что нагретые тела излучают энергию. Достаточно вспомнить хотя бы небольшой костерок, возле которого Вы

сидели в один из вечеров Вашей жизни. Тем более должно было излучать энергию экстремально нагретое вещество во Вселенной малых пространственных размеров.

В силу ограниченности объема вещество и излучение (электромагнитные волны различных частот) неизбежно должно было быть в энергетическом равновесии. Поэтому говорят, что начальная Вселенная была заполнена равновесным тепловым излучением. Квантовая механика предсказывает, какую форму имеет спектр равновесного теплового излучения абсолютно черного тела (АЧТ) при различных температурах. Спектр излучения АЧТ описывается формулой М. Планка (1858 - 1947)

$$r_{\lambda} = \left(\frac{2\pi\nu^2}{c^2}\right) \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1}, \quad (4.7)$$

где T - температура излучателя; k - постоянная Больцмана; c - скорость света; e - основание натуральных логарифмов; ν - частота электромагнитного излучения; h - постоянная Планка; r_{ν} - спектральная плотность энергетической светимости излучателя, равная энергии, излучаемой за единицу времени с единицы поверхности излучателя в единичном интервале частот.

Из формулы Планка можно вывести все экспериментально наблюдаемые закономерности в спектрах нагретых тел. Кстати, отметим, что спектр АЧТ и формула Планка никак не связаны ни с конкретным химическим составом излучателя, ни с его агрегатным состоянием. Формула (4.7) - одна из самых общезначимых формул, применимая вплоть до экстремальных состояний вещества.

Согласно теории Планка в области высоких частот излучения спектральная функция убывает пропорционально экспоненте с показателем $(-h\nu/kT)$. В области около нуля, при возрастании частоты, спектральная плотность светимости растет пропорционально квадрату частоты. Очевидно, что между ростом и последующим спадом есть область максимальной светимости. Положение максимума светимости на шкале длин волн и температура излучателя связаны законом смещения Вина

$$\lambda^* = \frac{b}{T}, \quad (4.8)$$

где λ^* - длина волны, на которую приходится максимальная светимость в спектре излучения; T - температура излучателя; b - постоянная Вина.

При экстремально высокой температуре максимум светимости приходился на область высокоэнергетичного гамма-излучения (образование гелия из водорода требует температуры порядка 10^{10} К). По мере остывания Вселенной, при её расширении, область максимума светимости в спектре должна перемещаться в сторону длинных волн. Гамов считал, что для современной эпохи равновесная температура должна быть около 50 К. При такой темпера-

туре максимум спектра должен находиться в области микроволнового (0,6 мкм) излучения.

Его оппонент, Хойл, указывал, что такое значение не согласуется с данными о температуре молекул циана CN , существующих в межзвездной среде. Уже было известно, что интенсивность спектральных линий циана зависит от "заселенности" верхних энергетических уровней молекулы, которая определяется температурой среды, в которой находится молекула. По оценкам, сделанным для циана, температура соответствует 2,3 К.

В 1964 г. было открыто космическое радиоизлучение, неожиданной особенностью которого была «всенаправленность». Вне зависимости от направления антенны, его регистрировали с одинаковой интенсивностью со всех сторон и днем и ночью как равномерный микроволновый шум. От него невозможно было избавиться, и сначала его рассматривали как помеху. Позднее было понято, что основные характеристики данного радиоизлучения соответствуют ожидавшимся для остаточного теплового излучения Большого взрыва. Чтобы убедиться в том, что открытое изотропное излучение имеет непрерывный спектр с максимумом и спадающую ветвь, потребовалось около десяти лет. К середине 70-х гг. планковский характер излучения был достоверно установлен, и в 1978 г. А. Пензиас и Р. Уилсон (обнаружившие его в 1964 г.) получили Нобелевскую премию. Стационарная концепция Вселенной была признана несостоятельной. Она предсказывает нулевую температуру излучения в космосе, тогда как по спектру реликтового излучения она составляет 2,7 К. Это значение хорошо согласуется с данными, полученными из измерений соотношения линий в спектре молекул циана в космосе.

В конце 80-х гг. в СССР проводился спутниковый космический эксперимент «Реликт», задачей которого был поиск небольших неоднородностей в распределении фонового теплового излучения Большого взрыва. Они должны существовать как свидетельство начальных небольших неравномерностей в распределении массы вещества протовселенной. Без них в теории «не получается» образования локальных сгущений, порождающих галактики и звезды. В местах сгущения массы локальное усиление гравитационного поля должно тормозить фотоны (вспомним об их динамической массе), уменьшая их энергию. Поэтому фоновое излучение этих областей должно казаться относительно холодным. По сравнению с ними фоновое излучение из областей разряжения массы будет казаться «более теплым». Неравномерности структуры в настоящее время должны проявляться на картах микроволнового излучения неба в виде пятен, которым соответствуют различающиеся температуры. Некоторые неравномерности действительно были отмечены.

Более достоверно существование вариаций реликтового теплового излучения было установлено в 1992 г. после запуска в США (1989 г.) космического аппарата COBE. Этот означает, что уже на начальной стадии расширения Вселенной существовала «рябь», флуктуации в распределении массы-энергии по её объему. Дальнейшее гравитационное сгущивание вещества по-

рождает «космические пузыри», в которых отсутствует вещество и «стенки пузырей», состоящие из сверхскоплений и скоплений галактик. С помощью спутника COBE удалось измерить спектр реликтового излучения в очень широком спектральном диапазоне и уточнить температуру излучения. Она равна 2,74 К.

4.4.3. Из чего рождается Вселенная?

Теория Большого взрыва в настоящее время является доминирующей теорией в космологии. Она признает рождение Вселенной как физический факт материального мира. Главной проблемой космологии является поиск ответа на поставленный в заголовке вопрос. Постараемся наметить общий подход, который вырисовывается в современном естествознании, для выработки ответа.

Прежде всего отметим, что классическая физика различает две формы существования Материи: вещество и поле. Неклассическая, квантовая физика показывает дуализм их свойств на уровне микромира, где существует некоторое минимальное разнообразие фундаментальных частиц полей (как правило, безмассовых) и частиц вещества (обладающих массой покоя). Частицы полей и вещества могут превращаться друг в друга, поскольку существует эквивалентность массы и энергии. Современное естествознание подошло к выделению ещё одной формы существования Материи – Физического вакуума. Твердые, жидкие, газообразные вещества окружают человека, они ему привычны, их свойства исследованы в первую очередь. Некоторые поля (тяготения Земли, света и теплового излучения) человек также ощущает, хотя отсутствие четко выраженной геометрической формы полей требует большего интеллекта в исследовании их свойств. Свойства физического вакуума ещё мало изучены, и здесь требуются значительные интеллектуальные усилия для их понимания.

Они выглядят столь же непривычными и странными, как свойства частиц-волн в период становления квантовой физики. Физический вакуум не является абсолютной и стационарной пустотой, в нем непрерывно происходит виртуальное рождение и аннигиляция пар «частица-античастица». По аналогии с более известными явлениями макромира, такими, как поляризация диэлектриков, фазовые переходы между агрегатными состояниями или спонтанные изменения симметрии кристаллов, пытаются описать свойства вакуума. Вводится ассоциативная терминология - поляризация вакуума, спонтанное нарушение симметрии его вещественно-полевого состояния и ряд других. Для исследования вакуума требуются частицы-волны большой энергии, чтобы можно было «возмутить» непривычно энергоёмкую форму материи. Очевидно, что при анализе акта рождения вселенной необходимо учитывать наличие и необычность свойств вакуума.

В самой общей формулировке ответ на проблемный вопрос сейчас дается в таком виде: *Вселенная рождается из физического вакуума как следствие спонтанного (самопроизвольного) изменения его энергомассового состояния.* При этом акт рождения Вселенной в принципе не противоречит закону сохранения полной энергии Вселенной. На первый взгляд это утверждение парадоксально. Но давайте рассмотрим аргументацию академика Я.Б. Зельдовича (1900-1987). По его мнению, формулировка самого общего закона природы в виде: *«Из ничего не может образоваться ничего»* является ненаучной и наивной. Во-первых, что для физика означает «ничего»? Содержательным ответом будет:

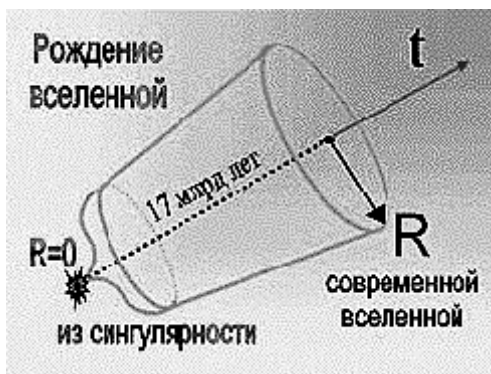
- «Ничего» 1. Масса равна нулю: $M = 0$.
2. Полная энергия равна нулю: $W = 0$.

Во-вторых, по условию «задачи», кроме Вселенной ничего больше не рождается и она является изолированной системой. Для неё можно применять закон сохранения энергии, в данном случае значение начальной энергии равно нулю и должно оставаться нулевым. Это единственное ограничение, все остальное разрешено.

С появлением массы Вселенной M появляется гравитационная энергия взаимодействия всех её частей, и эта энергия **отрицательная**. По формуле Эйнштейна эквивалентная образованной массе энергия Mc^2 должна быть **положительной**. Если эквивалентная величина энергии и энергия гравитационного поля равны по абсолютной величине, то их сумма (то есть полная энергия системы) будет равна нулю, что и необходимо для удовлетворения требований закона сохранения. В книге Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшица «Теория поля» строго математически доказано, что точная компенсация происходит тогда, и именно тогда, когда становится замкнутым искривленное пространство, в котором находится вещество.

Как пишет Я.Б. Зельдович: *Энергия «ничего» равна нулю. Но и энергия замкнутой Вселенной равна нулю. Значит, закон сохранения энергии не противоречит образованию «из ничего» замкнутой Вселенной (но именно геометрически замкнутой, а не открытой бесконечной Вселенной).*

4.4.4. Инфляция Вселенной



Теория Г. Гамова неоднократно дополнялась другими космологами. В частности, в работах А. Гута, позднее А. Линде П. Стейнхардта и других развито представление о том, что практически сразу после выхода из сингулярности (точки, в которую была стянута вся энергия-масса Вселенной), за время порядка 10^{-32} с Вселенная расширилась в 10^{30} раз.

Рис. 4.13. Зависимость радиуса вселенной от времени

Этот, первый, этап Большого пути теперь называют фазой инфляции Вселенной, по аналогии с ростом денежной массы при инфляции в экономике. Фаза инфляции очень важна. В этот период локальные вариации температуры расширялись и сглаживались, а начальная громадная кривизна пространства резко уменьшилась.

После инфляции Вселенная стала плоской (то есть без кривизны, а не двухмерной). Кроме того, эта фаза запускает механизм образования крупных космических структур: ничтожно малые флуктуации квантовой энергии-массы расширились вместе с пространственно-временным континуумом и превратились в макроскопические области повышенной плотности, предшественники скоплений галактик. То, что после инфляции Вселенная не обладает большой кривизной, согласуется с близким к единице значением параметра Ω .

Каковы причины быстрого расширения Вселенной в фазе инфляции? В современных теориях поля Вакуум может существовать в нескольких состояниях: либо с равной нулю плотностью энергии (основное состояние), либо с положительной плотностью энергии и отрицательным давлением (состояние «ложного» вакуума). Рождение Вселенной происходит при «ложном» вакууме, и, пока это состояние существует, Вселенная экспоненциально расширяется. Причина в том, что отрицательное давление означает антигравитацию, разлет частиц вещества. А что может остановить безудержное расширение? Оказывается, состояние «ложного» вакуума неустойчиво и за некоторое время происходит фазовый переход в состояние обычного вакуума с обычной гравитацией при положительном давлении. Ряд теоретиков считает, что при фазовом переходе появляющиеся «пузыри» обычного вакуума представляют собой отдельные и не связанные между собой вселенные, одна из которых является «нашей». Такая точка зрения является философски обостренной. Ведь тогда не только наша Земля не является центром мироздания, но и наша Вселенная им не является, оказываясь одной их множества других! Подобное представление может быть названо экстремально коперниковской концепцией.

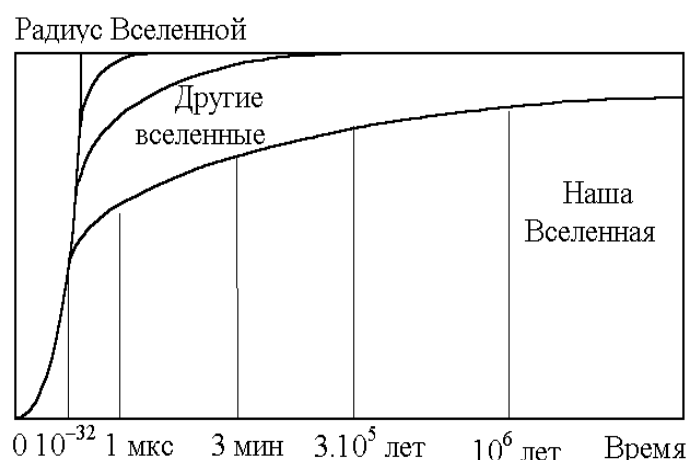


Рис. 4.14. Характерные моменты времени в эволюции Вселенной

4.4.5. Другие этапы Большого взрыва

Последовательность процессов, происходящих после фазового перехода в обычный вакуум, при степенном (пропорционально степени $2/3$) темпе расширения нашей Вселенной, более уверенно описывается теориями объединенных взаимодействий.

Мы выделим лишь самые характерные моменты.

Фаза инфляции занимает чрезвычайно малое время. Чтобы на одном рисунке показать разновременные по порядкам величины интервалы, масштаб вдоль оси времени представлен с искажениями. Примерно до 1 мкс Вселенная заполнена «бульоном» из фотонов, кварков и лептонов, причем квантов излучения намного больше (в 10^5 раз). Фотоны рожают пары частиц и античастиц, которые тут же аннигилируют. Температура излучения соответствует 10^{14} К.

На рубеже нескольких микросекунд происходит образование адронов из кварков и антикварков. В том числе появляются протоны и антипротоны. Необходимо заметить, что между веществом и антивеществом есть небольшое нарушение «паритета» - частиц обычного вещества рождается немного больше, чем антивещества. Нейтрино и электроны превращаются друг в друга, по мере понижения температуры реакция сдвигается в сторону накопления все большего числа электронов.

На рубеже миллисекунд накопившихся электронов так много, что начинают образовываться нейтроны, когда электроны соединяются с протонами. Свободные нейтроны нестабильны, среднее время их существования до распада на протон и электрон равно 1000 с, поэтому последующие несколько минут являются решающими для синтеза ядер гелия. По истечении 3 минут температура снижается до 10^8 К и нуклеосинтез практически прекращается, вещество становится слишком холодным для протекания таких реакций по всему объему Вселенной.

За первые минуты около четверти протонов (ядер водорода) успевают превратиться в ядра гелия ^4He , трития ^3H , дейтерия ^2H и лития ^7Li . Остальные протоны «пойдут» в последующем на образование молекулярных облаков, звезд и галактик.

Спустя примерно 300 000 лет температура снижается до нескольких тысяч кельвинов, это уже позволяет ядрам удерживать электроны на орбитах. Фотоны электромагнитного излучения, всегда бывшие в тепловом равновесии с веществом, при такой температуре уже не могут ионизовать атомы водорода или гелия. Это значит, что они больше не поглощаются веществом, заполняющим Вселенную, и она становится для них прозрачной. Образно говоря, с этого времени «расходятся пути» вещества и излучения, теплового равновесия между ними больше нет. Именно это изотропное и однородное тепловое излучение до настоящего времени как реликтовое. Но почему максимум спектра соответствует нескольким кельвинам, а не нескольким тысячам кельвинов?

Так как нет поглощения, спектр фотонов остается планковским. Если бы расширения Вселенной не происходило, спектр оставался бы неизменным. В расширяющемся пространстве импульсы всех фотонов (по отношению к нему) уменьшаются. Конечно, скорость фотонов остается равной скорости света, но импульс определяется произведением динамической массы

фотона на скорость света, и уменьшается именно масса каждого из фотонов. В целом происходит «покраснение» всего планковского спектра так, что максимум смещается в область миллиметрового радиодиапазона.

Первые галактики и квазары формируются из гравитационно сгущенных облаков молекулярного водорода через миллиард лет после начала расширения. Возраст современной Вселенной оценивается в 14 млрд. лет.

4.5. Космические циклы

В повседневной жизни повторное использование лома цветных металлов, упаковочных и использованных конструкционных материалов называют рециклингом. Символ его весьма похож на Инь-Ян. Примером естественного процесса рециклинга является круговорот воды в природе, точнее, в условиях Земли. Здесь есть атмосфера, суша и океан, с участием которых реализуется цикл. Есть поступление солнечной энергии и теплоотдача в космос, обеспечивающие фазовые переходы между агрегатными состояниями воды. Химический состав и полная масса её в цикле сохраняются. В биосфере Земли можно выделить цикл оборота азота, фосфора и других важных для живых организмов элементов.

Существуют естественные циклы многократного «использования» вещества и в масштабах Вселенной. В первую очередь это цикл водорода - основной химической составляющей галактик и звезд. Для поддержания циклов требуется энергия. Во Вселенной это энергия гравитации и термоядерных реакций. Изучая рециклинг водорода и других элементов в космосе, мы можем осознать «предназначение» звезд, их творческую (без кавычек!) роль в нуклеосинтезе. Фактически без звезд эволюция вещества закончилась бы на самых легких элементах - литии, боре и бериллии. Ядра всех других элементов, существующих в природе, в масштабе всей Вселенной были образованы (сотворены) в недрах звезд. Представьте себе: ядра всех атомов, из которых Вы состоите, были когда-то частью звезд! Так что все мы «немножко звезды»...

4.5.1. Что первично - галактики или звезды?

Иногда говорят, что звезды - это алфавит языка Вселенной, словами и предложениями являются галактики и их скопления. Понятна последовательность написания книги - от слова к строчке и странице. В какой последовательности пишется великая книга Вселенной? Образование одиночной звезды не исключается, в гало галактик имеются звезды, которые не относятся к каким-либо скоплениям. Но, по большей части, звезды образуются группами. В составе нашей Галактики примерно половина звезд образуют двойные системы, в некоторых других галактиках доля двойных звезд ещё выше. В меньшей пропорции наблюдаются тройные и системы, где две пары звезд обращаются вокруг общего центра. Принято считать, что галактики образуются в процессе звездообразования совместно с образованием звезд. Жизнь

одной звезды быстротекуща по сравнению со временем существования галактик. Звезды рождаются, живут и умирают. Галактическое образование меняет форму, но остается в целом устойчивой системой. По оценкам время «выгорания» массивной звезды первого поколения (с массой около 20 солнечных) не превышает 100 млн. лет. Возраст же галактик имеет порядок 10 млрд. лет. Как отмечалось выше, галактики могут гравитационно взаимодействовать и сливаться за вселенски большие периоды времени.

Формирование Млечного пути (Галактики) теоретически описывается тремя моделями. В одной из них он образуется при относительно быстром коллапсе (гравитационном падении вещества на центр масс системы) одного гигантского молекулярного облака-протогалактики (модель 1962 г. О. Эггена - Д. Линден-Белла - А. Сэндэйжа).

По модели А. Тумре, предложенной в 1977 г., происходит слияние нескольких крупных газопылевых комплексов с различной степенью их «продвинутоности» по пути формирования собственных галактик. Она больше учитывает новые данные наблюдений за шаровыми скоплениями гало Галактики. Сферическое гало медленно вращается вокруг центра Млечного пути, пересекая его спиральный диск. Удивительно, что некоторые из шаровых скоплений, как показывают современные наблюдения, вращаются против основной части гало. Это может быть объяснено моделью слияния облаков с различным направлением их вращения.

Третья модель Л. Сирла - Р. Цинна сходна с моделью Тумре, но исходный комплекс состоит из большего числа сравнительно малых кластеров. В последнем случае очевидна возможность протекания эволюции химического состава различных и удаленных друг от друга фрагментов, независимо друг от друга. Тем самым объясняется разница в поколениях звезд балджа (центрального утолщения), диска, шаровых скоплений и рассеянных звездных групп. Действительно, отношение содержания кислорода к железу заметно отличается для звезд гало и старых звезд диска. В настоящее время считается, что простая первая модель применима к центральной части, тогда как более разреженные внешние области могли возникнуть путем слияния, как предсказывают последующие модели.

Возникает вопрос: какие физические факторы исходного гигантского, холодного облака молекулярного водорода определяют, что из него получится - одна или несколько протогалактик или рассеянное звездное скопление? По-видимому, таким фактором является масштаб неоднородностей в облаке. Интуитивно можно ожидать, что при сжатии кучковатого, неоднородного облака в нем выделяются области с повышенной плотностью вещества, внутри которого выделяются фрагменты меньших размеров с еще большей плотностью, и так до образования протозвезды.

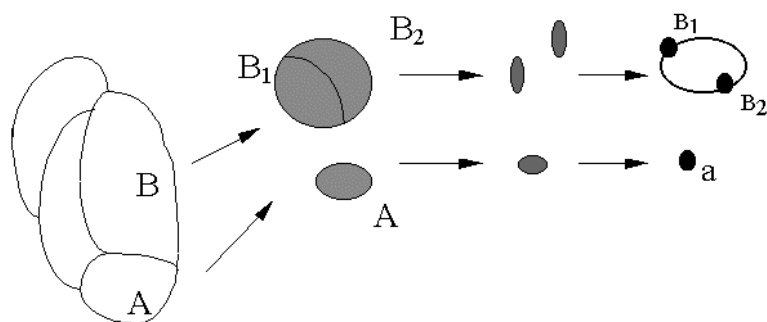


Рис. 4.15. Схема формирования протозвезд

Таким образом, важное значение имеет распределение плотности вещества в молекулярном облаке и его общая масса. Известный американский астрофизик Д. Лейзер показал, что в распределенном веществе с флуктуациями плотности положительные и отрицательные флуктуации дают примерно одинаковые вклады и что величина флуктуирующей гравитационной силы практически целиком определяется конкретным распределением массы внутри сферы, радиус которой не превышает нескольких линейных масштабов флуктуаций [7]. Вклады же других, более удаленных от точки наблюдения областей, взаимно уничтожаются. Это означает, что в неоднородной среде появляются области взаимопритяжения с ограниченным радиусом действия.

Ситуация становится похожей на взаимодействие молекул реального газа, в котором при определенных условиях возникает критическое состояние самопроизвольного роста неоднородных областей. Это явление известно как критическая опалесценция (граница между жидкой фазой и газом теряется, и среда становится мутной). Продолжая аналогию Лейзер развил теорию, согласно которой процесс сгущивания вещества во Вселенной непрерывно возрастает. По его теории, если относительная амплитуда флуктуаций плотности достигает порядка единицы, область неоднородностей определенного пространственного масштаба выделяется в самогравитирующую систему.

4.5.2. Параметры звезд

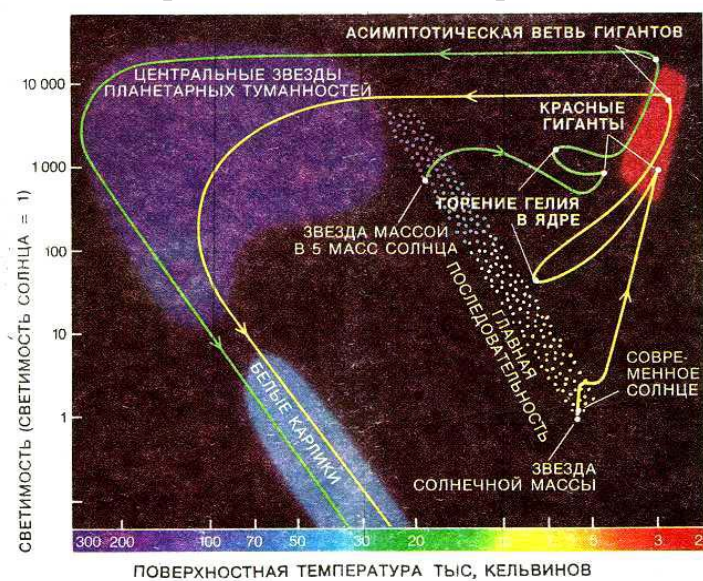
О химическом составе внешней оболочки звезд – фотосферы - судят на основании данных спектрального анализа, не только качественного, но и количественного. В итоге большой работы астрофизиков удалось выяснить, что в общих чертах химический состав многих звезд удивительно похож. Он характеризуется полным преобладанием водорода. На втором месте находится гелий, а содержание всех остальных элементов сравнительно невелико. Достаточно сказать, что на каждые 10 000 атомов водорода приходится 1000 атомов гелия, около 10 атомов кислорода, немного меньшее количество углерода и азота и всего лишь один атом железа. Содержание элементов с большей, чем у железа, массой ничтожно.

Какие выводы следуют из этого? Можно сказать, что наружные слои звезд - это гигантские водородо-гелиевые плазменные оболочки с небольшой

примесью более тяжелых элементов. Конечно, нет правил без исключений... Есть звезды с аномально высоким содержанием углерода, или встречаются удивительные звезды с высоким содержанием редких элементов, которых и на Земле немного. Для выяснения типовых процессов энерговыделения эти частные особенности большого значения не имеют.

Индикатором температуры фотосферы служит её цвет. Горячие звезды спектральных классов О и В имеют голубой цвет, звезды, похожие на Солнце, выглядят желтыми, а звезды спектральных классов К и М представляются красными. Спектральных классов 7: О, В, А, Ф, Ж, К, М. Спектр звезд хорошо описывается формулой Планка (4.7) с соответствующим значением температуры T . В зависимости от спектрального класса температура плавно меняется от значения 50-40 тыс. К для звезд класса О и до 3 тыс. К для звезд спектрального класса М. Указание спектрального класса звезды аналогично указанию температуры её поверхности. Зная температуру (по спектральному классу) и светимость, можно оценить радиус звезды.

При одинаковой температуре звезды с большим энерговыделением должны иметь большую поверхность, чтобы обеспечить высокую полную светимость. Можно было бы думать, что во Вселенной встречаются самые разные сочетания параметров звезд, без особых «предпочтений». Однако прямые астрономические наблюдения показывают, что есть закономерное распределение звезд по их размерам и температуре фотосферы. Если по вертикали указывать светимость (или её величину, радиус) а по горизонтальной оси - цвет (или спектральный класс, температуру), то распределение большинства звезд (в их скоплениях) попадает в сравнительно узкую полосу, по диагонали проходящей от голубых звезд с высокой светимостью к красным звездам с низкой светимостью (низкой температурой фотосферы). Эта последовательность получила название главной. Ниже её на координатном поле располагаются звезды, отнесенные к белым карликам, тогда как выше расположены красные гиганты. Теория эволюции звезд должна объяснять существование как гигантов, так и карликов среди множества обычных звезд.



Ход эволюции звезд различной массы обычно представляют в виде линий на диаграмме Цвет - Светимость (или Радиус звезды - Температура фотосферы), которая носит название диаграммы Герцшпрунга-Рассела. В далеком будущем, на стадии Красного гиганта, наше Солнце должно настолько увеличиться в разме-

80 Рис. 4.16. Эволюционные треки звезд на диаграмме Герцшпрунга-Рассела

рах, что поглотит планеты Меркурий и Венеру, а Землю нагреет до температуры 1000 К! Все живое на Земле должно будет погибнуть. Человечеству придется думать о поиске более подходящих условий для жизни. Близкими к современным условиям они будут тогда в области орбит планет - гигантов: Юпитера и Сатурна. Один из спутников Юпитера – Тритон - мог бы послужить подходящим местом для его заселения потомками землян.

4.5.3. Циклы эволюции звезд

Звезды рождаются из вещества, рассеянного в пространстве Вселенной, перерабатывают водород в гелий и другие элементы и, заканчивая свою эволюцию во взрывах сверхновых, возвращают вещество в космическое пространство. Но это уже качественно другое вещество, с другим элементным составом, которое вновь рассеивается по Вселенной. Среди «возвращенного» вещества появляются не только новые элементы, но и их соединения: ОН, CN, СНЗОН, СН₃НСО и ещё более сложные соединения. Образно говоря, в этом предназначение звезд, их функция. Какие типы звезд «задействованы» в круговороте вещества во Вселенной? Все зависит от величины собранной в звезду массы.

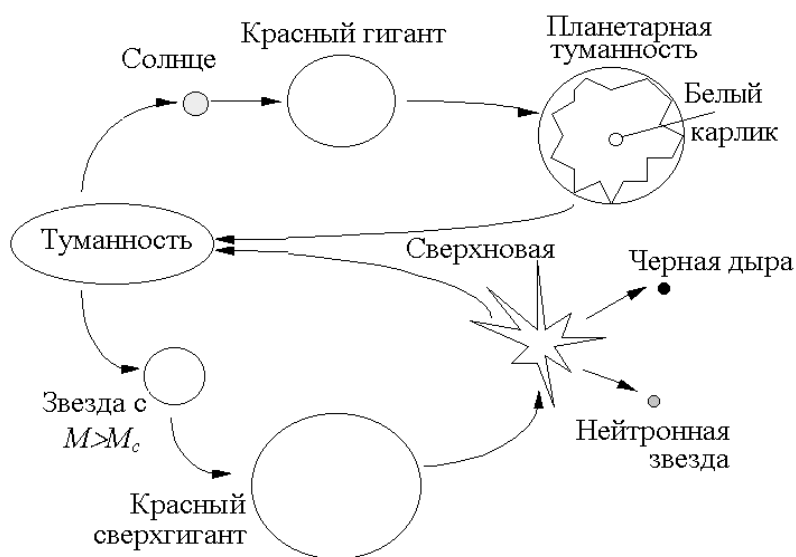


Рис. 4.17. Схема двух ветвей космического рециклинга вещества

Белые карлики

Считают, что Белыми карликами становятся звезды главной последовательности в конце их «жизненного пути», если их масса не превосходит солнечную более, чем в 1,4 раза. В таких случаях масса остаточного вещества будет недостаточной для неудержимого гравитационного коллапса. Ядерное горючее (водород) выработано, нет высокого давления плазмы, и радиус звезды уменьшается в сотни раз. Соответственно изменению объема возрас-

тает плотность плазмы, электронный газ переходит в состояние вырождения, что стабилизирует ситуацию: сжатие прекращается. Теплоемкость звезд очень велика, поэтому Белый карлик долго светит «по инерции», переходя в разряд Коричневого и Черного (невидимого) карлика. Другой путь образования Белого карлика – при сбросе внешней части Красного гиганта.

Красные гиганты

Это звезды с массами, примерно равными массе Солнца или ненамного большими. Когда в центре желтой звезды выгорает водород (его место занимает гелиевая сердцевина), внутри звезды называют крупные перемены. Гелиевая сфера все больше сжимается, выделяющаяся гравитационная энергия передается на внешний слой, окружающий гелиевое «ядро», и там начинается протон-протонный цикл. Возрастающее давление «раздувает» звезду до размеров в десятки раз больших, чем в начале. Цвет звезды становится красным, так как площадь фотосферы растет быстрее, чем увеличивается энерговыделение.

Если в объеме Красного гиганта на предыдущем этапе его «жизненного пути» накопилось достаточно большое количество ядер углерода, то возможно возникновение ещё одного цикла реакций. Углеродно-азотный каскад термоядерных превращений включает шесть реакций, в которых действующими лицами являются изотопы углерода, азота, кислорода, водорода (протоны) и ядра гелия-4. Последней реакцией цикла является восстановление исходного ядра углерода из ядра изотопа азота

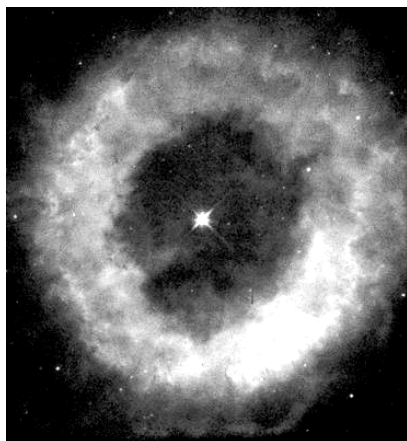
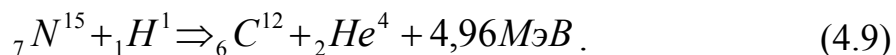


Рис. 4.18. Фотография планетарной туманности

В данном цикле водород превращается в гелий с помощью катализатора - углерода-12, количество которого не меняется. Суммарное, балансовое выделение энергии составляет около 25 МэВ на один цикл. Особенно благоприятны условия для протекания углерод-азотного каскада в пограничной области между гелиевым ядром звезды и водородной оболочкой. Из внешней оболочки в реакционный слой поступает водород, а образованный гелий уходит в звездное ядро. Зона реакций продвигается к периферии, высокое газокINETическое и лучевое давление раздувают внешнюю оболочку, дополнительно сжимая гелиевое ядро.

При определенных условиях Красный гигант может более-менее «спокойно» сбросить свою внешнюю плазменную оболочку так, что образуется

холодная планетарная туманность с Белым карликом в её геометрическом центре. Фотографии планетарных туманностей напоминают колечки дыма, средняя масса туманности примерно равна $0,2M_{\odot}$. Они неограниченно расширяются со сравнительно небольшой скоростью и за несколько десятков тысяч лет рассеиваются в пространстве.

Нейтронные звезды

Звезды более массивные, чем Солнце, образуют Красные сверхгиганты. Для них открываются другие пути эволюции. Оценки, сделанные по идеализированной модели без учета вращения звезды и потери её массы на излучение, показали, что если масса звезды находится в интервале значений $1,2 M_{\odot} < M < 2,5 M_{\odot}$, то давление вырожденного электронного газа в протон-электронной плазме не сможет удержать гравитационное сжатие на «уровне» Белого карлика. Электроны будут «впрессованы» в протоны и появится нейтронный газ чрезвычайно высокой плотности. В этом случае формируется нейтронная звезда.

Радиус нейтронных звезд имеет порядок 10 км при плотности вещества порядка 10^{11} кг/см³.

Реакции

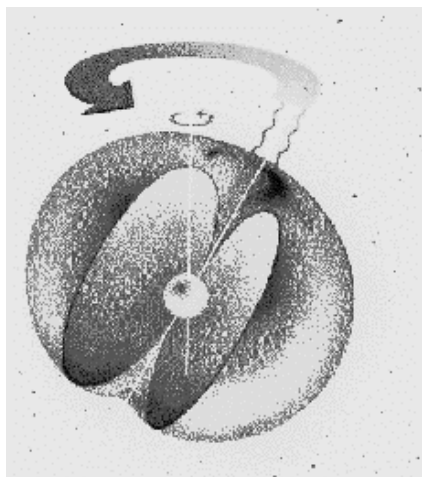


Рис. 4.19. Схема магнитосферы нейтронной звезды

начинаются «разом» при достижении критической плотности и сопровождаются выделением энергии, разогревающей нейтронный газ до температуры порядка 10^9 К. Это очень большая температура, даже для звезд, но она быстро падает. Дело в том, что образующиеся нейтрино эффективно уносят энергию из объема звезды. В отличие от электромагнитного излучения они слабо взаимодействуют с веществом и не поглощаются им. За один месяц температура понижается до 10^8 К. Как любое нагретое тело, нейтронная звезда излучает энергию, и максимум планковского спектра лежит в области рентгеновских лучей. Энергия квантов соответствует примерно 400 кэВ. Теоретики предсказывают слоистую

структуру нейтронных звезд. Нейтронный газ сконденсирован до состояния сверхтекучей жидкости, в центре же возможно выпадение адронной жидкости в виде коллективизированных кварков. Внешняя часть образована «корой» из концентрических слоев сначала тяжелых, затем легких ядер. Поскольку Красные гиганты и сверхгиганты обладают магнитным полем, его

индукция при сжатии нейтронной звезды возрастает на многие порядки величины, становясь в миллион раз больше индукции земного магнитного поля.

В свободном состоянии нейтроны нестабильны, мы об этом говорили ранее. При очень больших давлениях распад подавляется, энергетически более выгодно существование плотного газа нейтронов. Но на поверхности звезды распады происходят, «восстанавливая» электроны и протоны. Электроны движутся в сильном магнитном поле звезды по спирали и являются источником радиоволн. Магнитные полюса нейтронной звезды служат своеобразным прожектором радиоизлучения. Как и для Земли, положение магнитного полюса может не совпадать с положением географического. Тогда луч радиопрожектора описывает конус вокруг оси вращения звезды. Когда луч «задевает» Землю, мы можем зарегистрировать импульс радиоизлучения. Первые радиопульсары были открыты в 1968 году, самые быстрые из них имеют период порядка тысячных долей секунды. Это значит, что многие нейтронные звезды делают тысячи оборотов за 1 с.

Черные дыры

Для звезд с массой $M > 2,5 M_c$ гравитационный коллапс не могут остановить никакие из известных сил. Вся оставшаяся масса будет стянута в объект с размерами порядка его гравитационного радиуса, величина которого находится из равенства полной энергии частицы вещества или излучения потенциальной энергии её взаимодействия с черной дырой массы M

$$mc^2 = \frac{GmM}{R_g} \quad (4.11)$$

Отсюда получим для гравитационного радиуса:

$$R_g = \frac{2GM}{c^2} \quad (4.12)$$

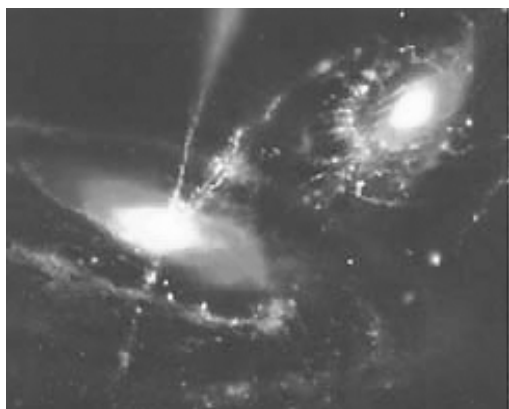


Рис. 4.20. Схема взаимодействия Черной дыры с соседней галактикой

В ходе образования Черной дыры гравитационное поле может быть сильно переменным, так что в это время происходит мощное излучение гравитационных волн (см. раздел 2.6). Однако очень быстро (за время порядка R_g / c) нестационарные процессы затухают, а гравитационные волны уносятся частично в возникающую Черную дыру, частично во Вселенную. После этого вокруг такого необычного объекта остается только симметричное стационарное поле тяготения. Если образование Черной дыры произошло в двойной звездной системе, ве-

щество звезды - компаньона будет по спирали стекать в «воронку» Черной дыры.

При аккреции на Черную дыру потоков ядер водорода, гелия, электронов возникает сплошной спектр электромагнитного излучения, от жесткого гамма-излучения до радиоволнового. По этим признакам можно опознать Черные дыры. Так, предполагают, что мощный источник с широким спектром излучения в окрестности В404 Лебеда является Черной дырой. Его масса оценивается в 6,3 солнечной массы. Ещё один кандидат на это звание обнаружен в двойной рентгеновской системе А0620-00, где компактный невидимый компонент имеет массу, превосходящую солнечную в 16 раз. Существует предположение о наличии сверхмассивных Черных дыр в центрах некоторых галактик.

Долгое время считали Черные дыры тупиками в эволюции звезд, куда безвозвратно «пропадает» вещество и излучения. Квантово-механический анализ проблемы был недавно проведен выдающимся физиком современности Стивеном Хокингом (будучи инвалидом, передвигающимся в особом кресле и говорящим с помощью синтезатора речи, он является профессором кафедры, на которой когда-то работал Ньютон). Теоретически была открыта возможность квантового испарения Черных дыр. Не вдаваясь во все детали расчетов, можно пояснить идею Хокинга с помощью рис. 4.21, на котором окружность изображает положение гравитационного радиуса Черной дыры.

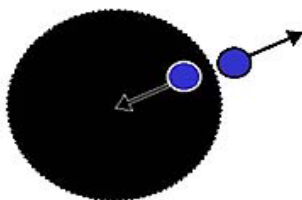


Рис. 4.21. Схема рождения пары «частица-античастица» вблизи границы Черной дыры

дальше границы, имеет шанс покинуть область Черной дыры.

Закон сохранения энергии выполняется: энергия поля Черной дыры обеспечивает поляризацию Физического вакуума, энергия последнего переходит в $2 mc^2$ пары и их кинетическую энергию. За счет последней одна из частиц пары и уходит от места рождения. Само существование границы разводит компоненты пары.

Теория показывает, что в принципе возможен поток частиц (равно как и античастиц) от Черной дыры. Термин «испарение» подчеркивает флуктуационный характер процесса и его постепенность. Хокинг считает, что Черная дыра как излучатель эквивалентна абсолютно черному телу с температурой

$$T_{\text{ч}} = \frac{\eta c}{4 \pi k R_{\text{с}}}, \quad (4.13)$$

где \hbar - постоянная Дирака ($\hbar = h / 2\pi$); c - скорость света; k - постоянная Больцмана.

Обратим внимание на одну особенность формулы (4.13). Температура Черной дыры обратно пропорциональна величине гравитационного радиуса. В свою очередь, он прямо пропорционален массе Черной дыры. Вывод: чем меньше масса Черной дыры, тем выше её эффективная температура. Это значит, что Черные дыры не являются «застывшими» объектами, они могут не только поглощать, но и излучать, теряя массу. Чем меньше будет масса, тем мощнее её тепловое излучение. При $M \approx M_{\text{с}}$ температура $T_{\text{ч}} \approx 10^{-8}$ К. Но мини-дыра с массой, примерно равной Эвересту будет иметь температуру порядка 10^{11} К! Можно полагать, что мини-дыры завершают свою эволюцию с бурным выделением энергии, близком к взрывному. Таким образом, энергия-масса Черных дыр снова возвращается и рассеивается во Вселенной.

Во многих случаях часть падающей в Черную Дыру материи выбрасывается из области «синхрокомптоновского котла» назад в виде джета - узконаправленного потока релятивистской плазмы.

В последнее время показано, что чем больше размеры галактики, тем больше масса Черных Дыр, которые «прячутся» в их центрах. Поэтому обсуждается новый вариант развития событий во Вселенной на этапе возникновения первых звезд и галактик. Возможный сценарий состоит из следующих основных «актов».

1. Из гигантских газовых облаков формируются первичные звезды - сверхгиганты, массы которых превосходят массу Солнца в миллионы раз. Огромные размеры и масса сверхзвезд является причиной их гравитационной неустойчивости. Прежде чем в их недрах зажгутся термоядерные реакции, сверхгиганты неудержимо «схлопываются», коллапсируют в Черную Дыру. Сверхзвезды порождают массивные Черные Дыры.

2. Мощное поле тяготения таких объектов притягивает вещество из космического пространства так, что вокруг Черной Дыры формируется газопылевой диск. При его уплотнении начинают образовываться миллиарды звезд, вызывая появление на свет спиральных галактик. В этом многие астрофизики видят организующую роль Черных Дыр во Вселенной.

3. Десять миллиардов лет назад Вселенная была примерно в восемь раз меньше ее современных размеров. Галактики находились гораздо ближе друг к другу и сталкивались намного чаще, чем теперь. Столкновения приводили к слиянию Черных Дыр и изменению формы галактик. Появлялись спиральные галактики с пересечениями и эллиптические галактики.

4. В настоящее время столкновения галактик происходят редко и их Черные Дыры находятся в спокойном состоянии, поглощая из аккреционных

дисков огромные потоки вещества и выбрасывая плазму в виде джетов. Выдержит ли эта гипотеза проверку временем - покажет будущее.

Сверхновые звезды

Возможность образования нейтронных звезд и черных дыр была показана теоретически ещё в 50-х годах текущего столетия, но лишь недавно была установлена их связь со вспышками сверхновых звезд. Когда в небе появляется «звезда – гостя», как одна из них была названа в 1054 году в китайской хронике, то выделяется просто невероятное количество энергии: больше, чем излучает её наше Солнце за 10 млрд. лет! Это самое мощное природное явление в мире звезд. Более грандиозными были только (согласно некоторым гипотезам) взрывы галактик.

Физической основой такого энерговыделения могут быть только термоядерные взрывы - цепные ветвящиеся реакции синтеза более тяжелых элементов из ядер легких.

Развитие теории ядерных реакций позволило понять, почему обычные звезды, состоящие в основном из водорода и гелия, не взрываются. Дело в том, что реакции протон-протонного цикла включают в себя β -распад (с вылетом электрона и антинейтрино или позитрона и нейтрино). Он является результатом слабых взаимодействий и не зависит от температуры. Нет возможности его ускорить. Другое дело реакции типа $3\ ^4\text{He} \Rightarrow\ ^{12}\text{C}$ или реакции углерод-азотного цикла (4.9), идущие по пути присоединения протонов к ядрам углерода, кислорода, азота, неона. Они резко ускоряются с ростом температуры, и накопление этих элементов в недрах звезд означает накопление «ядерной взрывчатки».

В Красных сверхгигантах, как показывают теоретические модели, создается слоевая структура (луковица) распределения элементов. Центр занимают ядра железа (водород и гелий здесь выгорели). Её облегают "мантия" с преобладанием указанных выше легких элементов, выше которой находится гелий-водородная оболочка. По расчетам одной из моделей масса центрального ядра составляет 3 солнечных массы, масса кислородно-углеродно-азотной мантии доходит до 15 масс Солнца, 12 солнечных масс приходится на долю внешней оболочки. Условия для взрыва создаются тогда, когда железное ядро начнет коллапсировать.

Когда вещество «мантии», то есть слой ядерной взрывчатки рухнет на поверхность нейтронной звезды, образуется ударная волна с высоким температурным фронтом. Она и вызывает детонацию «взрывчатки» и происходит вспышка сверхновой. В результате взрыва внешняя оболочка и мантия разгоняются до высоких скоростей и сбрасываются в космическое пространство. При этом «захватывается» и часть магнитного поля звезды. Релятивистские электроны даже в слабых магнитных полях испытывают большую силу Лоренца и при вращательном движении порождают электромагнитное излучение типа синхротронного. Оно характеризуется

ние типа синхротронного. Оно характеризуется широким спектром, а положение максимума в спектре частот прямо пропорционально величинам индукции магнитного поля и квадрату энергии электрона. В большинстве случаев положение максимума попадает в радиодиапазон частот. По изолиниям радиоизлучения удастся обнаружить даже слабые остатки оболочки, сброшенной при вспышке сверхновой.

Следует отметить два факта, связанных с рассматриваемым процессом. Во-первых, в процессе должны рождаться нейтрино и они выносят в окружающее пространство до 90% высвобожденной при сжатии энергии. Во-вторых, часть энергии взрыва, направленная в центр звезды, может «стимулировать» сжатие до образования Черной дыры.

24 февраля 1987 г. в соседней галактике - Большом Магеллановом облаке - вспыхнула сверхновая, её можно было видеть невооруженным глазом в южном полушарии. Используя современные методы наблюдений, удалось узнать, что масса взорвавшейся звезды была равна примерно 17 солнечным, а возраст её приближался к 20 млн лет.

В соответствии с теорией, качественно приведенной выше, вспышка сопровождалась всплеском нейтринного потока. Однако на месте вспышки не обнаружили пульсара. Возможно, что ориентация радиолуча такова, что он не захватывает Землю.

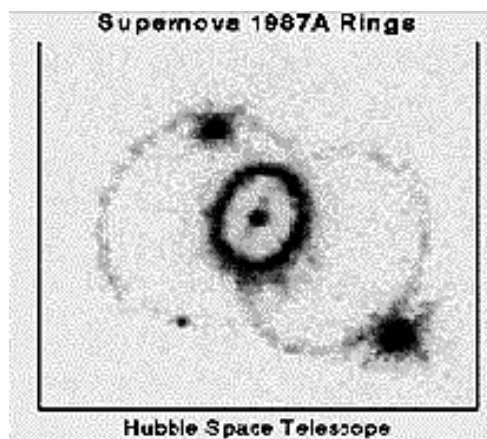


Рис. 4.22. Фотография оболочек вокруг сверхновой 1987 г.

В августе 1990 г. космический телескоп «Хаббл» передал на Землю результаты наблюдения этой сверхновой, точнее - её сброшенной оболочки. Анализ данных показал, что остатки от взрыва движутся со скоростью около 10 000 км/с (что составляет 0,1 от скорости света). Совершенно неожиданными были другие результаты. Оказывается остаток сверхновой окружает другая планетарная туманность, невидимая с Земли. Она представляет собою кольцо диаметром 1,4 св. года и была сброшена звездой за 1000 лет до взрыва. Теперь, за несколько десятков лет, кольцо будет разрушено и перемешается с остатками Сверхновой.

Этот пример показывает, что реальная природа всегда богаче наших научных теорий и упрощенных моделей, в том числе моделей эволюции звезд.

4.6. Нерешенные проблемы

Хотя в современном естествознании сложилась более или менее целостная концепция развития Вселенной и её структурных составляющих, не будем скрывать ряд нерешенных проблем.

1. В космологии это проблема сингулярности - области пространства с размерами порядка длины Планка, в которой известные для больших масштабов законы перестают действовать. «Как заниматься физикой, когда исчезает привычная связь в пространстве и времени, - не написано даже в занимательной физике», - говорит об этой ситуации американский астрофизик Д. Шремм. Намечаемый подход состоит в использовании комплексных переменных. До момента рождения Вселенной вводится мнимое время и тогда график зависимости $R(t)$ начинается не с «острия», а с "полусферы" в мнимой области комплексных переменных. По этой модели Вселенная рождается (переходит в область действительных переменных) с конечными геометрическими размерами и с конечным масштабом флуктуаций, что обеспечивает последующую дифференциацию вещества в крупные космические структуры.

2. Проблема скрытой массы. Открытым является вопрос о физической природе темного вещества в гало галактик и их скоплений. Это может быть неизвестное состояние вещества, о котором пока ничего неизвестно. Это могут быть массивные нейтрино, предсказываемые теорией объединенных взаимодействий. Либо необходим учет роли энергии-массы космических магнитных полей.

3. Проблема солнечных нейтрино. Их слишком мало, по современным измерениям, чтобы считать протон-протонный цикл единственным источником энергии Солнца. Либо в недрах нашей звезды работают и другие циклы, либо справедлива гипотеза «осциллирующих» нейтрино. Согласно последней электронные нейтрино могут превращаться в нейтрино мюонные, и наоборот, и таким образом «избегать» регистрации.

4. Проблема точного численного значения постоянной Хаббла. Сейчас она определена с большой погрешностью (почти $\pm 100\%$). Уточнение и ответ на вопрос о вариациях постоянной расширения Вселенной могут изменить наши оценки её будущего.

5. Дискуссионными являются вопросы о множественности вселенных и о реальности топологических пространственных связей между ними, так называемых «кротовых нор». Пока эта область интересов естествознания больше «осваивается» научной фантастикой, допускающей сверхсветовые скорости звездолетов, переходы в «субпространство», путешествия во времени и появление в нашем мире различного рода «терминаторов». В принципе это так и должно быть. Проблемы, стоящие на переднем крае науки, во все времена вызывали интерес в сопряженной естествознанию гуманитарной культуре, где большую роль играет интуиция, чем рациональные теории.

Хрестоматия к главе 4

Слабая и сильная формулировки Антропного Принципа (АП)



Этот принцип был сформулирован впервые американским физиком Р.Х. Дайком в 1961 г. Известны различные, отличающиеся своей полнотой, формулировки этого принципа.

В его слабой форме, по Клифтону, он гласит: *«Физическая Вселенная, которую мы наблюдаем, представляет собой структуру, допускающую наше присутствие как наблюдателей».*

Каков теоретически-познавательный статус Антропного Принципа? Во-первых, он напоминает о том, что при разработке теорий следует изначально учитывать наблюдателя. Каждая космологическая теория должна быть совместима с наличием наблюдателя. Применительно к космическим теориям это означает, что не следует создавать теорий, вообще не допускающих существования наблюдателя. АП играет, таким образом, роль «фильтра» для возможных теорий. ...

Во-вторых, АП обращает внимание на то, что возможности для жизни тесно связаны с законами природы и общекосмическим развитием и их не следует рассматривать и понимать независимо от последних. ...Существуют формулировки АП, которые говорят больше, чем Слабый Антропный Принцип.

Например: *«Законы и построение Вселенной должны быть таковы, что она непременно когда-нибудь должна породить наблюдателя».*

Эту и подобные формулировки называют Сильным Антропным Принципом. Они восходят к работам Б. Картера. Возникновение жизни декларируется здесь как необходимое свойство Вселенной.

- Сознание предполагает, что существует жизнь.
- Для своего возникновения жизнь нуждается в химических элементах и прежде всего в таких, которые тяжелее водорода и гелия.
- Тяжелые элементы возникают только в результате термоядерного сгорания легких элементов, то есть при слиянии ядер атомов.
- Слияние ядер происходит только в глубинах звезд и требует по крайней мере нескольких миллиардов лет для того, чтобы возникло значительное количество тяжелых элементов.
- Временные интервалы порядка нескольких миллиардов лет возможны лишь во вселенной, которая сама существует по крайней мере несколько миллиардов лет и имеет, таким образом, протяженность в несколько миллиардов световых лет.

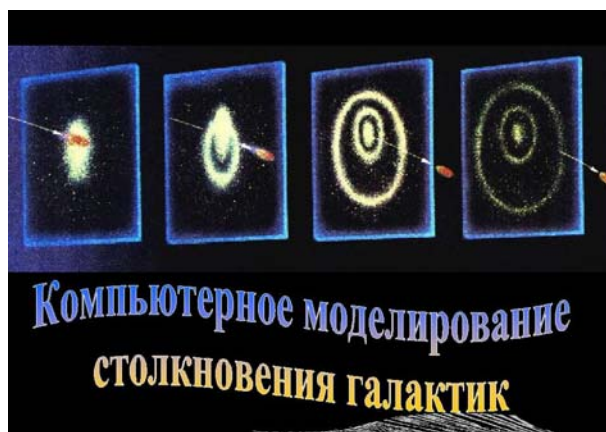
Поэтому ответ на вопрос - почему наблюдаемая нами Вселенная так стара и так велика - может только гласить: потому что в противном случае человечества вообще не было бы.

Питер К. Хегеле. Рассчитан ли космос на человека?// Поиск. - 2001.- №5 (611). - С. 12-13.

Столкновение галактик

Столкновение галактик - огромных космических объектов - происходит с немыслимой силой: высвобождается энергия и перемещаются массы в количествах, превосходящих любое воображение.

Очень мала вероятность того, что при этом будут сталкиваться, соударяться отдельные звезды, поскольку, как правило, они удалены друг от друга на расстояния, в сотни миллионов раз превышающие их диаметр, в то время как промежутки между галактиками превосходят размеры этих звездных островов лишь в десятки и сотни раз. Поэтому столкновение галактик во много раз вероятнее, чем отдельных звезд.



...Иногда карликовая галактика просто пронзает большую звездную спираль. Вторгшаяся галактика, проходя сквозь спираль, притягивает к себе ее отдельные звезды. В результате, когда карлик покидает большую спираль, часть ее звезд образует что-то вроде кольцевого коридора. В нем остаются газовые облака, которые служат материалом для зарождения новых светил. Самый знаменитый из

таких объектов - галактика под названием «Каретное колесо» в созвездии Скульптора.

Самая близкая к нам пара сталкивающихся звездных островов находится в созвездии Ворона на расстоянии 63 млн. световых лет. Это пара - NGC 4038 и NGC 4039, но больше они известны астрономам и любителям астрономии как «Антенные галактики». Такое название галактики заслужили потому, что тяготение вырвало из них длинные ленты, состоящие из газа и звезд и напоминающие по форме усики-антенны насекомых.

Что произойдет при столкновении галактик, зависит и от геометрии удара, и от скорости, с которой он совершается. При скорости сближения 200 км/с системы чаще всего сливаются, при 600 км/с они проходят сквозь друг друга, как два привидения (см. рис. 4.7). А если сближение идет со скоростью до 1000 км/с, галактики разлетаются в клочья...

Приливные силы не только искажают формы галактик, они приводят в движение облака газа и пыли, которые, например, в спиральных системах со-

ставляют до 20 % их видимой массы. Эти облака, уплотняясь во время действия приливных сил, дают жизнь новым звездам. Процесс рождения небесных тел идет очень быстро. Поэтому светимость галактики за немногие миллионы лет многократно усиливается.

Получается, что космические столкновения не ведут к уничтожению обитателей неба, а, наоборот, служат источником вечной юности космоса, омолаживают его.

Николаев Г. Столкновение галактик //Наука и Жизнь.-1999.-№1.-С.61-64.

5. ЭВОЛЮЦИЯ ЖИЗНИ

5.1. Концепция множества обитаемых миров



Рис. 5.1. Кадр из фильма
«Звездные войны»

В 1600 г. в Риме по решению церковного суда был заживо сожжен один из священнослужителей Джордано Бруно (1548 - 1600). Он был обвинен инквизицией в ереси, в которой не раскался и под пытками. Монах Д. Бруно был весьма образованным человеком и философом, его изданные труды назывались «О причине, начале и едином», «О героическом энтузиазме» и «О бесконечности, Вселенной и мирах». Именно последнее сочинение послужило поводом к обвинению со стороны

святой церкви. Как теософ Джордано Бруно проповедовал идею о едином начале всего сущего и о единой мировой душе. Как образованный человек он принял (одним из первых в своем времени) концепцию геоцентризма Коперника. Д. Бруно пошел дальше осторожного в своих высказываниях Н. Коперника и «с энтузиазмом» совместил идею единства мира с идеей множества обитаемых и разумных миров, подобных нашей солнечной системе.

В его воззрениях Мир бесконечен, во Вселенной вокруг бесчисленных звезд обращаются планеты, и космос оказывается населен огромным числом человеческих цивилизаций. Тем самым разрушается догмат о единственности и богоизбранности Земли и её населения. Сомнение в вере отцов церкви признавалось ересью, от которой следовало избавить душу «брата Джордано Бруно», отправив тело его в очистительный огонь. Таковы были «правила игры» той эпохи. Бруно приписывают слова «Санта симплисита!» (Святая простота), которые он произнес, увидев старушку с вязанкой хвороста, которую она принесла и усердно подкладывала в разгоравшийся костер «очищения». Поистине, это был великой души и разума человек!

Как бы то ни было, идея бесчисленных миров, подобных нашему и разделенных гигантскими расстояниями в тысячи световых лет, не была сожжена или забыта. Правда, в произведениях современных фантастов, наряду с гуманоидными расами, чужие миры населяют и более странные, и более разнообразны существа. В качестве примера достаточно вспомнить киносериал Джорджа Лукаса «Звездные войны», ставший классикой жанра, или более поздний сериал «Вавилон – 5». Здесь чувствуется влияние современного естествознания (принципа необходимой вариативности) в применении к допустимости не только различных вероисповеданий, культурных традиций, цивилизаций, но и различных путей эволюции в пространственно разделенных

мирах. У Р. Бредбери в «Марсианских хрониках» параллельные и разновременные миры совмещены в едином пространстве. У С. Лема разумным оказывается инопланетный Океан.

Можно утверждать, что концепция множественности разумных миров является элементом современной культуры, не оспариваемой более в явном виде даже христианской церковью. С философской точки зрения интуитивно кажется предпочтительнее, чтобы земное человечество не оказалось единственной населенной пылинкой в безбрежном пространстве косной материи. Однако логические и интуитивные построения и идеи должны соотноситься с фактами. Есть аргументы - за, есть альтернативные - против, но дело решают Факты.



Рис. 5.2. Кадр из фильма «Звездные войны»

Используя теорию вероятностей, биолог Н. Рашевский показал, что в принципе на углерод - водородной основе возможно существование порядка 100 млн. биологических видов. На Земле, за все время ее существования было реализовано около 4 млн. видов, так что еще 96 млн. - в резерве. Выбор видов может происходить случайным образом, но невозможно представить себе ситуацию, когда на другой планете будут развиваться только те виды, которых не было и нет на Земле. Вероятностные оценки показали, что на двух независимых планетах возможно совпадение до 160 000 видов. Это значит, что если мы когда-либо встретим на другой планете биологическую форму жизни, то около 160 000 представителей

биосферы для нас окажутся знакомыми. С этой точки зрения не следует преувеличивать роль принципа разнообразия биологических видов во вселенной и думать, что мы встретим в других мирах одних только чудовищ и химер!

5.2. Поиски планетарных систем

Где искать разумные миры? Если жизнь однажды возникла в Солнечной системе, то возможно её возникновение и в других планетарных системах. В 1983 г. на очередном астрофизическом конгрессе было принято следующее определение: «Планетарной системой следует считать звезду, у которой будет наблюдаться как минимум два маломассивных спутника». Здесь подчеркнута основная - два спутника центральной звезды и они – маломассивные, то есть не являющиеся звездами. Как искать? Планеты отражают свет центрального светила, но этого мало, чтобы их можно было бы увидеть в оптическом диапазоне. Температура фотосферы Солнца примерно 6000 К и максимум светимости в спектре приходится на длину волны 0.5 мкм. Если принять среднюю температуру поверхности планеты на порядок ниже, то максимум светимости сдвинется в область 5 мкм, а это диапазон инфракрас-

ного излучения. Оно слишком сильно поглощается атмосферой Земли, в особенности - парами воды. Поэтому большие надежды возлагались на спутниковые наблюдения в ИК-диапазоне. Одной из целей запуска космического аппарата IRAS в 1983 г. был поиск планетарных систем по избыточному ИК-излучению одиночных звезд.



Рис. 5.3. Фотография пылевого диска около звезды

Почему «не подходят» двойные звезды? Во-первых, потому что в таких системах движение маломассивного спутника должно происходить по траекториям в виде восьмерки, кольца которой охватывают звезды. Большинство двойных звезд имеют неравные массы компонент, поэтому траектория спутника должна проходить близко к более массивной звезде и удаляться на большое расстояние при движении вокруг меньшей звезды. В первом случае возможная планета будет перегреваться, во втором

- переохлаждаться, что не способствует органической жизни. Во-вторых, только некоторые траектории третьего тела устойчивы в двойной системе так, что сама возможность образования планетарной системы вызывает сомнения с точки зрения небесной механики. В нашей галактике примерно половина звезд - двойные, что уменьшает шансы формирования планетарных систем. С помощью IRAS были получены данные об избыточном потоке ИК-излучения из области Веги (созвездие Лирь). Это была маленькая научная сенсация. Однако более поздние измерения показали, что Вега окружена кольцевой зоной (диск) холодного газа, размеры которой много больше диаметра Веги, сравнительно «молодой» звезды. По оценкам её возраст в 15 раз меньше, чем у Солнца. В последующем наличие дисков, видимых по их ИК-излучению, было обнаружено у ряда других молодых звезд, в том числе у некоторых близких к нам. Среди них находится β Живописца (54 св. г. от нас). В 1984 г. наземные наблюдения в оптическом диапазоне с помощью специального телескопа подтвердили факт существования диска пылевых частиц около этой звезды. Радиус его составляет около 400 радиусов земной орбиты, и он удачно повернут под небольшим углом к лучу его наблюдения с Земли (подобно кольцу Сатурна). Отраженный от диска свет имеет такой же цвет, что и у центральной звезды, он поляризован, как это происходит при рассеянии света на частицах, размер которых много больше длины волны видимого света. Позднее удалось измерить доплеровское смещение в спектрах некоторых ионов из пылевого диска. Оно свидетельствовало о падении вещества диска на звезду со скоростью около 200 км/с. Запуск космического телескопа «Хаббл» позволил уточнить некоторые детали диска β Живописца, открыв временные вариации спектра центральной звезды по мере прохождения

по ней разных мест пылевого диска. Отсюда был сделан вывод о том, что диск имеет клочковатую структуру.

В 1994-1995 гг. были опубликованы результаты совместной многолетней работы астрофизиков России, Казахстана и Таджикистана из которых следовало, что целая группа звезд подкласса YX Ориона являются молодыми предшественниками β Живописца и имеют протопланетные диски, повернутые под небольшим углом к лучу зрения. Из-за большой удаленности звезд их диски не наблюдаемы в телескопы, но они косвенно проявляются в периодическом ослаблении блеска звезд, синхронном с изменениями поляризации света и его цветности. В настоящее время считают, что около 60% звезд с возрастом в интервале (3 - 5) млн. лет окружены подобными дисками.

В середине 60-х гг. нашего столетия большой общественный интерес вызвали статьи английского физика-теоретика Ф. Дайсона о возможности выхода гуманоидных или других типов разумных цивилизаций в околозвездный космос с образованием техногенной оболочки – «сферы Дайсона» вокруг материнской звезды. Более полно используя свет звезды и заменяя биосферу, искусственная оболочка должна переизлучать в окружающий космос энергию в виде ИК-излучения (накопление большой энергии приведет к перегреву «сферы Дайсона»). После получения данных со спутника IRAS были сделаны попытки выделить среди них «подозрительные» объекты со спектрами, похожими на гипотетический спектр сферы Дайсона. Однако во всех выделенных случаях более вероятной оказывается естественное происхождение источников излучения.

В настоящее время проектируются все более совершенные космические и наземные телескопы и поиски планетарных систем будут продолжены.

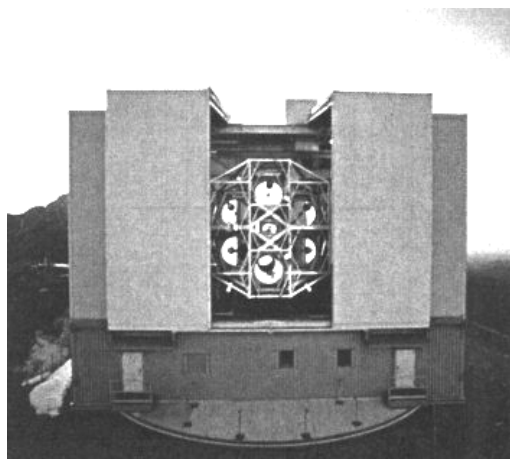


Рис. 5.4. Новый тип наземных телескопов

С помощью компьютерного анализа малых колебаний положений ряда звезд к настоящему времени обнаружено существование более 50 планет – гигантов типа Юпитера в солнечной системе, на орбитах около центральных звезд. Несколько сравнительно маломассивных планет обнаружено около нейтронной звезды, облучающей эти планеты мощным гамма – излучением (что несовместимо с органической жизнью). Поэтому первоначальный энтузиазм астрофизиков заметно убавился и на первый план выдвигается мнение о редкости планетарных систем типа нашей солнечной системы.

5.3. Гипотезы образования «колыбели жизни»

Факты свидетельствуют, что необходимым условием появления жизни является планетарная система с «подходящим» расположением одной из планет на околозвездной орбите. Как же возникла наша (может быть уникальная) солнечная система? Чтобы ответить на этот вопрос, рассмотрим сначала её строение. Границей солнечной системы считают Облако Оорта (шаровой слой кометоподобных тел), расположенное на расстоянии в один световой год от Солнца. Внутри облака Оорта, гораздо ближе к центральной части, на расстоянии 6 св. часов от Солнца, находится пояс Койпера. Это кольцо малых планетарных тел размерами 100 - 200 км в поперечнике. Мини-планеты (планетозимали), по-видимому, являются остатками того «строительного материала», из которого образованы более крупные планеты. Практически уже в поясе Койпера проходит орбита двойной планеты Плутон-Харон. Диаметр Плутона примерно в 2 раза превосходит диаметр Харона, и они находятся друг от друга на расстоянии всего в 20 000 км. По мере приближения к Солнцу следуют



Рис. 5.5. Схема строения солнечной системы

Нептун и Уран - гигантские планеты, состоящие из газа (водорода, гелия, метана) и имеющие очень узкие системы колец мелких спутников. Шестая от Солнца планета - Сатурн известна своей удивительной системой пяти концентрических колец, лежащих в одной плоскости. Из-за быстрого вращения (оборот за 10 часов) он сплюснут у полюсов и раздут по экватору.

Еще ближе к центру расположена орбита Юпитера, самой большой из планет солнечной системы. Так же как и Сатурн, Юпитер содержит в основном водород (85%), гелий (14%), аммиак, метан, водяные пары и ацетилен. Внутри планеты, под атмосферным газовым слоем, скрыт океан жидкого водорода глубиной около 17 000 км. Ниже давление возрастает настолько, что водород переходит в твердое состояние с металлическим типом проводимости. Электрический ток, протекающий в недрах планеты, создает сильное магнитное поле Юпитера. Измерения с космических зондов (Пионер-10 и 11, Вояджер-1 и 2) показали, что Юпитер излучает больше энергии, чем получает её от Солнца. Внутренними источниками служат энергия продолжающегося гравитационного сжатия планеты, тепловая энергия, запасенная на раннем этапе образования Юпитера, и энергия радиоактивного распада тяжелых ядер. Юпитер имеет 16 спутников и похож на миниатюрную солнечную сис-

тему. В последние годы необычно возрастает магнитное поле Юпитера и некоторые геофизики предрекают превращение Юпитера в маленькую звезду. Однако по современным теориям массы Юпитера явно недостаточно для начала термоядерных реакций. Марс, Земля, Венера и Меркурий имеют сходное внутреннее строение.

Разнообразие структур, которое мы наблюдаем в солнечной системе, говорит о действии различных механизмов в процессе образования планет из протопланетного диска. Общим во всех современных моделях является положение о совместной и одновременной эволюции центральной звезды Солнца и его спутников-планет. Информация о химическом и изотопном составе, о гетерогенности вещества на ранних этапах формирования планетарной системы сохранилась в метеоритах, выпадающих на землю. С учетом её и законов термодинамики в 1967 г. была предложена конденсационная модель образования солнечной системы. По модели Дж. У. Ларимера и Е. Андерса вещество протопланетного диска нагревалось до столь высокой температуры, что происходило испарение и образование атомарного газа. При высокой температуре происходила ускоренная диффузия и химический состав усреднялся по всему диску. Поэтому состав метеоритов, приходящих из различных мест солнечной системы, и Земли принципиально не отличается. По мере понижения температуры сначала должны конденсироваться и выпадать в твердый осадок в жидких каплях самые тугоплавкие элементы и их соединения, легкоплавкие конденсируются в последнюю очередь. Какие последствия это будет иметь?



Рис. 5.6. Схема строения микропылинок

Сначала в агрегаты будут слипаться выпавшие первыми тугоплавкие соединения (1), они будут обволакиваться легкоплавкими так, что образуются слоистые структуры с разными температурами плавления (2,3). Поэтому сначала образуется тугоплавкое ядро планеты, затем легкоплавкая мантия. Конденсационная модель дает лишь качественное согласие с фактами о строении планет земной группы. Количественные оценки интервалов образования различных метеоритов по ней дают слишком большой разброс значений.

При образовании планетозималей важное значение имеют взаимные столкновения фрагментов протопланетного облака. Реальные удары являются частично упругими, часть энергии удара тратится на нагрев соударяющихся тел. Результатами столкновений будут слипание (аккреция), дробление (фрагментация) и нагрев частиц. Аккреция вызывает турбулентную вязкость диска, дробление приводит к переносу момента количества движения на периферию диска. Поэтому однородность диска нарушается. Оказывают влияние физические и химические свойства частиц. Например, пластичные и на-

магнитные частицы железа будут слипаться, тогда как силикатные хрупкие частицы могут легко дробиться.

Считается, что планеты земной группы формировались из разнородных фрагментов. Сначала образовались ядра планет из железо-никелевых частиц, затем они «обволакивались» оксидами и силикатами. (Раньше считалось, что железное ядро Земли выплавилось из соединений железа с кислородом и другими элементами). Первичная мантия, которой обросло ядро, представляла собой смесь веществ в различных агрегатных состояниях.



Рис. 5.7. Схема строения недр Земли и Луны

Компоненты смеси формировались последовательно в различных температурных интервалах. На ранних стадиях появлялись слои кальций-алюминиевых конденсатов, затем собирались силикаты с содержанием магния, железа и других металлов. Верхняя мантия, самая легкоплавкая, была обогащена летучими компонентами, в том числе - углеводородами и во-

дой. Постепенно происходила дегазация мантии и из паров были созданы две важные оболочки Земли: атмосфера и гидросфера.

Темп эволюции центральной звезды выше, чем для протопланетного диска. Молодая звезда должна быстро вращаться, если даже начальное вращение газопылевого общего облака было незначительным. Это предписывает закон сохранения момента количества движения. Кроме того, звезда обладает сильным магнитным полем. Ультрафиолетовое и рентгеновское излучение звезды ионизирует частицы протопланетного диска. Взаимодействие заряженных частиц с магнитным полем хорошо известно: возникает сила Лоренца и частицы движутся по спиральным траекториям. Можно говорить, что магнитное поле удерживает попавшие в него заряженные частицы. Так как источник магнитного поля быстро вращается, то сила Лоренца меняет направление своего действия, играя роль своеобразной «мешалки» по отношению к веществу диска. В конечном счете магнитное поле передает вращательный момент звезды диску: центральное тело замедляется, а диск раскручивается. Расчеты показывают, что от центральной звезды к диску может переходить более 90% её момента количества движения. Его размеры при этом возрастают, возникшая турбулентность (вихри) приводит к сгущиванию вещества, при определенной скорости вихрей они разбиваются на более мелкие и таким образом могут формироваться вращающиеся тела различных размеров - планеты и их спутники.

Кроме того, лучевое давление электромагнитных излучений звезды и сильный солнечный ветер уносят легкие газообразные частицы из ближней разогретой зоны на периферию диска. Поэтому возле Солнца нет газосодержащих планет, они сосредоточены «на окраине» солнечной системы. Имитационные расчеты на компьютерах показали, что сначала при эволюции

ционные расчеты на компьютерах показали, что сначала при эволюции диска появляются пояса или кольца вокруг звезды, а потом приливные силы и резонансные колебания собирают кольца в более компактные образования - планеты.

Рассмотренная модель не учитывает изотопные аномалии, постепенно обнаруженные при исследовании изотопного состава метеоритов. В частности, в одном из метеоритов (упавшем вблизи поселка Старое Песьяное) содержание изотопа неон-20 в 14 раз больше, чем изотопа неон-22. В противоположность этому найдены метеориты, содержащие почти весь неон в форме изотопа неон-22. В составе атмосферы Земли содержание неона-20 на порядок больше, чем всех других изотопов неона, тогда как в космогенном неоне содержание всех изотопов примерно одинаково. Изотопный состав кислорода в метеоритах также неодинаков. Выше отмечалось, что химический и изотопный состав метеоритов отражает гетерогенность раннего вещества на стадии формирования планет. Поэтому возникает предположение, что при образовании Солнечной системы произошло смешивание вещества по крайней мере двух резервуаров, отличавшихся по изотопному составу. Оно подтверждается аномалиями в изотопном составе целого ряда элементов - Ва, Ti, Са, Si, Mn. Для объяснения причин и процессов смешивания предложены две модели - взрыва соседней сверхновой и столкновения двух газопылевых облаков еще до формирования протосолнца.



Рис. 5.8. Схема смешивания вещества при взрыве сверхновой звезды

По первой гипотезе в протосолнечную туманность было «впрыснуто» вещество из оболочки Сверхновой. Недостатком модели является критичность расстояния до Сверхновой: при близком взрыве протосолнечная туманность будет рассеяна, при далеком - взрыв не внесет «нужного» количества вещества. Да и статистика взрывов неблагоприятна для модели: 1 взрыв в «окрестностях» Солнца приходится на 100 млн. лет.

Более «мягкий» вариант смешивания был предложен в 1983 г. Л.К. Левским. По его сценарию при пересечении протосолнечным облаком одного из рукавов Млечного пути, где концентрация звезд и газопылевых молекулярных облаков гораздо выше, чем в пространстве между рукавами, произошло столкновение нормального и аномального по изотопному составу облаков. В результате возникла турбулентность протосолнечного облака и начался процесс образования протозвезды и протопланетного диска. Из основной массы нормального резервуара формируется Солнце, а из периферической области, «загрязненной» аномальным веществом, образуются астероиды, метеориты и частично - планеты. Поэтому в метеоритном веществе часто обнаруживается аномальный неон, а в Солнце содержится только нормальный.

Земля оказывается промежуточной по изотопному составу, в ней представлено вещество двух облаков. Длительность интервала образования солнечной планетарной системы по данной модели составляет примерно 200 млн. лет, хотя начало было положено гораздо раньше, около 4,5 или 5 млрд. лет назад столкновением облаков.

5.4. Гипотезы возникновения жизни

Как мы видим, сама по себе «отдельно взятая» Солнечная система не могла образоваться. Во-первых, химический состав показывает наличие в ней тяжелых радиоактивных элементов (уран-235 например), которые были ранее наработаны в космических циклах эволюции звезд первых поколений нашей Галактики. Более тонкий анализ изотопного состава (изотопы одного элемента обладают одинаковыми химическими свойствами) свидетельствует, что формирование Солнечной системы произошло с участием по меньшей мере двух галактических источников вещества.

В Солнечной системе имеется целая группа сходных по строению недр планет почти на круговых орбитах на различных расстояниях от Солнца; это обеспечивает закономерное изменение условий освещенности и теплового режима планет. И вот на одной из них, наиболее «подходящей», появляется принципиально новое для Вселенной вещество - живое. По химическому и изотопному составу оно использует те же элементы, что и неживое, но отличается по способам соединения атомов в молекулы.

Каким образом, в ходе каких процессов возникла Жизнь? Ответ на эти вопросы давали три концепции, последовательно сменявшие друг друга в естествознании. Это концепции самозарождения, панспермия и физико-химической эволюции. Первая из них главенствовала в течение почти двух тысячелетий, вторая появилась в классическом естествознании Нового времени, третья становится основной в современном естествознании.

5.4.1. Концепция самозарождения жизни

Согласно Библии, Корану или Талмуду живые существа созданы Всевышним, Аллахом или Яхве. В принципе это равнозначно однократному самозарождению жизни сразу во всех её видах и формах. Античные мыслители допускали постоянное возникновение жизни, по крайней мере, на уровне растений и низших животных, просто из грязи, росы или гниющего органического материала.

Религиозный христианский философ Тома Аквинский утверждал, что самозарождение жизни производят ангелы с помощью лучей солнечного света. В одной из книг XVI в. «Магия природы» приводили магические свойства базилика: если его пожевать и положить на солнце, то он превратится в червя, а если растереть и положить под камень, то появится скорпион....

В эпоху Возрождения подобные представления были отвергнуты, во многом благодаря Ф. Реди (1626-1697), который экспериментально доказал, что во всех случаях насекомые, земноводные и птицы рождаются из оплодотворенных яиц. Однако после изобретения микроскопа и открытия ранее невидимых организмов - микробов (в 1675 г.) - концепция самозарождения получила «второе дыхание». Утверждалось, что теперь ясно, на каком уровне происходит возникновение живой материи, что этот процесс происходит постоянно и повсеместно, и что самозарождение представляет собой ещё один способ, который природа использует для воспроизведения живых существ.

Только в 1862 г. Луи Пастер (1822-1895) своими экспериментами «закрыл вопрос». Он наливал в небольшие колбы дрожжевой экстракт с сахаром, затем в огне высокотемпературной горелки вытягивал горлышко колбы так, чтобы оно превратилось в тонкую изогнутую «лебединую шею». После кипячения раствора среда оставалась в течение неограниченного времени стерильной, несмотря на то, что контакт с окружающей средой был (отверстие горлышка не было запаяно). Пастер объяснил результаты тем, что воздушный слой в тонком и длинном горлышке колбы играет роль амортизатора

**Эксперименты
Луи Пастера
(1822 - 1895)**



*В мире микробов жизнь тоже
идет от родительской формы!*



Рис. 5.9. Форма колб в опытах Пастера

и препятствует быстрому движению воздуха, поэтому пыль с микробами оседает на стенки горлышка раньше, чем попадет в колбу. Стоило только укоротить горлышко до определенной длины - происходило «заражение» дрожжевого раствора и на питательном бульоне микробы интенсивно размножались. Так было показано, что в мире микробов жизнь тоже идет от "родительской" формы. Хотя результаты Пастера некоторое время оспаривались, концепция самозарождения была окончательно отвергнута.

Стоит отметить ту роль, которую играют концепции естествознания в других областях, поскольку речь зашла о микробах и инфицировании. Когда идея повсеместного самозарождения микроорганизмов была общепризнанной, попытки борьбы с ними казались бессмысленными и не предпринимались даже при операциях. Н. Хоровиц [7] приводит следующие потрясающие цифры. В ходе франко-прусской войны из 13 тыс. ампутаций, проведенных французскими хирургами, не менее 10 тыс. имели смертельный исход! Только после решающих опытов Пастера появились методы уничтожения микробов или подавления их активности с помощью растворов фенола (карболовой кислоты), спирта и других средств дезинфекции.

5.4.2. Концепция панспермия

Крушение концепции постоянного самозарождения жизни привело к появлению альтернативной идеи о вечности живого вещества и о его переносе в космосе между звездными мирами. Лучшее самих ученых трудно объяснить, как возникают их убеждения, поэтому процитируем У. Томсона (лорда Кельвина, 1824-1907) [7].

«Достаточно точными экспериментами, проведенными к настоящему времени, показано, что любой форме жизни всегда предшествует жизнь. Мертвая материя не способна превратиться в живую, не испытав предварительно воздействия живой материи. Мне это представляется такой же несомненной научной истиной, как закон всемирного тяготения. Я готов принять в качестве научного постулата, справедливого всегда и всюду, что жизнь порождается только жизнью и ничем, кроме жизни.»

По Томсону во Вселенной существуют многочисленные миры, несущие жизнь, которые временами разрушаются при столкновении с другими космическими телами, но рассеянные обломки несут с собой семена жизни. Идеи предшественников были развиты С. Аррениусом (1859-1927), шведским химиком, в его теории панспермия.

Он попытался конкретизировать возможные механизмы переноса жизни, предположив, что вирусы и бактериальные споры могут выноситься из атмосфер планет, где они существовали, под действием электростатических сил в космическое пространство. В космосе "зародыши" органической жизни могли бы перемещаться под действием светового давления или в потоках солнечного ветра звезд. Некоторой защитой от излучений могли бы быть встреченные на пути пылинки или метеориты. Согласно теории панспермия все живые существа во Вселенной должны быть в своей основе «родственниками», хотя и отдаленными, в прямом смысле этого слова. Появление жизни на Земле по концепции панспермия является случайным событием. Сравнительно недавно в произведениях писателей-фантастов и в статьях некоторых ученых появился обновленный вариант рассматриваемой концепции - направленной панспермии. В нем предполагается, что жизнь попала на Землю не случайно, а целенаправленно доставлена с помощью средств некой высоко развитой цивилизации из другого звездного мира.

Как можно видеть, концепция панспермия основана на трех предположениях. Во-первых, считается возможным существование множества миров, обладающих живым веществом. Фактически это миры Д. Бруно. Во-вторых, постулируется чрезвычайно высокая долговременная (на световые годы) устойчивость вирусов и (или) спор бактерий к действию факторов космического пространства: сверхвысокому (с технической точки зрения) вакууму, низким температурам (около 3 К), высокоэнергетичным космическим лучам, химически активному солнечному ветру. И, в-третьих, утверждается, что

жизнь такое же фундаментальное свойство мира, как материя, с которой она неразрывно связана.

Условия даже околоземного космического пространства весьма жестки, не все конструкционные материалы их выдерживают в течение нескольких лет. Прямые исследования показали, что лунный грунт совершенно стерилен. Попытки обнаружить вирусы или споры на микропылинках и микрометеоритах результата не дали, хотя сложные органические соединения на них обнаружены. Сомнительной представляется возможность длительного существования в открытом космосе каких-либо организмов, даже таких пограничных (между живым и неживым), как вирусы.

Наконец, современное естествознание показывает историчность жизни на Земле, её возникновение только на определенном этапе развития материальных форм Вселенной. Тем не менее концепция панспермия является значительным достижением, обратившим внимание ученых на возможное участие тех органических соединений, которые входят в состав молекулярных облаков, в процессах **самоорганизации** жизни на Земле.

5.4.3. Концепция физико-химической эволюции

В отличие от предыдущей концепции, основанной на логике качественного анализа ситуации и философских принципах, современная концепция исходит из результатов физико-химического моделирования процессов добиогенного синтеза все более сложных молекул. Она пытается подойти к тому моменту, когда накопление количественных изменений привело к появлению нового качества - самовоспроизводству. В какой-то мере эта концепция возвращает нас к идее самозарождения Жизни, описывая этот процесс как совокупное и синергетическое (взаимно усиливающее) действие нескольких факторов в течение длительного периода времени. Прежде всего следует отметить роль космической окружающей среды.

Выше мы уже отмечали многообразие соединений наиболее распространенных элементов - водорода, кислорода, углерода и азота в гигантских молекулярных облаках. К настоящему времени по линиям радиоизлучения в космическом пространстве обнаружено более 60 соединений. Наибольшее распространение имеют водород и монооксид углерода (CO). Гораздо реже, но встречаются, цианистый водород (HCN), формальдегид (HCHO), ацетальдегид (CH₃CHO), аммиак и вода. Те же и более сложные соединения встречаются на поверхности метеоритов и микрометеоритов. Например, тщательный анализ показал, что на поверхности и в составе углистого



Рис. 5.10. Источники добиогенного синтеза органических молекул

хондрита, выпавшего в 1969 г. в Австралии (Мерчисонский метеорит), имеются следы более 50 аминокислот, причем восемь из них входят в состав современных белков (глицин, аланин, валин, лейцин и другие). Здесь же обнаружено присутствие аденина, урацила и гуанина, являющихся азотистыми

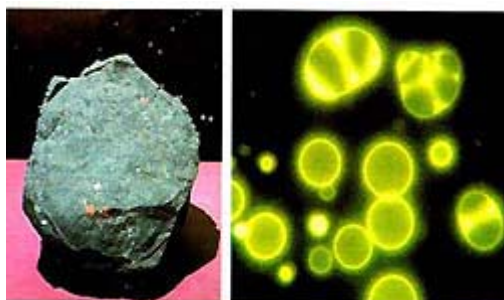


Рис. 5.11. Мембранные везикулы с поверхности метеорита

основаниями нуклеиновых кислот (рис. 5.11).

Многие среди 50 обнаруженных аминокислот не входят в состав живых организмов, ряд соединений встречается в виде двух оптических изомеров. Это доказывает, что все обнаруженные соединения не являются примесями или загрязнениями, попавшими на метеорит в земных условиях.

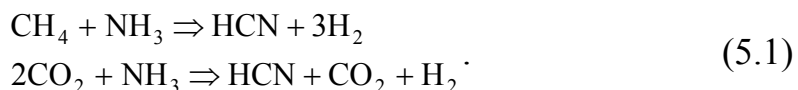
В работах Дж.М. Гринберга было экспериментально показано, что под действием ультрафиолетового излучения на поверхности микропылинок окись углерода, метан, аммиак, вода и кислород могут вступать в реакции между собой создавая своеобразные, иногда многослойные оболочки. В экспериментах замороженная при 10 К смесь молекул CH_4 , CO , H_2O , CO_2 , H_2 , N_2 и O_2 осаждалась на поверхность микропылинок при действии УФ-излучения и без него. При этом происходят процессы фотодиссоциации, фотовозбуждения и последующей радикал-радикальной рекомбинации. В результате общий состав многослойной оболочки приближается к составу аминокислот и даже простейших бактерий. Считается, что аналогичные процессы могут происходить и в открытом космическом пространстве, затем микропылинки входят в атмосферу Земли без всякого разогрева и вносят органическое вещество в гидросферу, где оно продолжает цепь реакций уже в виде растворов. По оценкам Дж.М. Гринберга за время пребывания Земли в типичном пылевом облаке (это от 100 тыс. до 1 млн. лет) с космической пылью на её поверхность могло бы выпасть около 10^9 т органического вещества. Если учесть то обстоятельство, что Солнце движется в зоне коротации и её скорость не слишком отличается от скорости волн плотности в пылевых скоплениях, то эта оценка выглядит завышенной.

Тем не менее этот источник органических веществ добиологического происхождения свою лепту вносит.

При извержении вулканов вместе с магмой извергается огромное количество газов: сероводорода, метана, аммиака, окислов азота и углерода. Жидкая среда более благоприятна для удержания рядом как простых реагентов, так и продуктов реакций - более сложных соединений.

Поэтому Л.М. Мухин выдвинул гипотезу о возможности добиологического синтеза в зоне подводных вулканов и гидротерм. К тому же повышенная температура и значительное гидростатическое давление способствуют

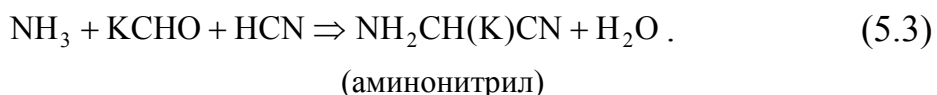
высокой эффективности химических реакций. По усредненным оценкам Л.М. Мухина гидротермальная система может дать за 1 млрд. лет 10^{12} - 10^{13} т органического вещества. Совместно извергаемые твердые минеральные частицы могут служить катализаторами и адсорбентами полученных продуктов. В частности показана возможность следующих реакций:



Образование цианистого водорода очень важно, так как он играет центральную роль в синтезе оснований нуклеиновых кислот. Суммарно можно записать, например, такую реакцию:



Аминокислоты также образуются с участием цианистого водорода, либо путем взаимодействия в растворе аммиака, альдегида и цианида, либо путем превращения самого HCN в аминокислоты - через последовательность реакций в водном растворе:



Газовая оболочка Земли не могла «остаться в стороне» от участия в процессах накопления первичного органического вещества. Выше мы отмечали, что молодая Земля образовалась из твердых материалов, которые содержали определенное количество поглощенных и адсорбированных газов. Под действием тепла, выделяющегося при гравитационном сжатии планеты и энергии распада радиоактивных изотопов, соединения разлагались с образованием газов различного химического состава. При извержении вулканов газы вырывались из земных недр и образовывали первичную атмосферу Земли. Она была преимущественно восстановительной, как и условия в протопланетном диске, и содержала в большом количестве углекислый газ, метан и аммиак, а также сероводород, пары воды. Выделение тектонической энергии,



СИНТЕЗ В ПЛАЗМЕ МОЛНИЙ

сопровожаемое мощными извержениями вулканов, приводило к ураганным ветрам и сильной электризации атмосферы. Гигантские молнии инициировали целый ряд реакций газо-плазменного синтеза. Попытки их воспроизведения в контролируемых лабораторных условиях были начаты в 1957 г., когда С. Миллер впервые получил некоторые биологически важные соединения с использованием электрических разрядов. Схема экспериментов была достаточно простой.

Моделируя условия первичной атмосферы, С. Миллер поместил в колбу немного воды и заполнил её смесью водорода, метана и аммиака. Затем в колбе создавались электрические разряды между электродами. Смесью подвергалась разрядам в течение недели, после чего химический анализ показал присутствие в воде небольших количеств аланина, глицина, аспарагиновой и глутаминовой кислот. Эти соединения входят в состав белков. На стенках колбы также образовывался налет, в составе которого были органические соединения. В дальнейшем состав газа изменялся (водород удалили, аммиак заменили азотом), что расширило список образующихся аминокислот до 12.

Поскольку в первичной атмосфере не было озона, эффективно поглощающего УФ-излучение Солнца, то оно пронизывало всю атмосферу до поверхности Земли. Ряд последующих экспериментов различные группы исследователей проводили, совмещая электрические разряды с УФ-освещением или используя только одну ультрафиолетовую радиацию. Всегда в восстановительных условиях получали положительный результат: происходил синтез органических соединений, входящих в состав белков и нуклеиновых кислот. Максимальный выход продуктов реакций получали при добавлении сероводорода (H_2S), который хорошо поглощает более длинноволновое излучение Солнца.

В настоящее время установлено образование аминокислот при возникновении ударных волн в смесях газов, порождающих всплески высокой температуры и давления. Такие волны вполне могли возникать в атмосфере под действием громовых раскатов или падающих метеоритов.

Одни только метеориты, микрочастицы, гидротермальные источники не могут привнести весь спектр биологически активных соединений, необходимых для создания сложной генетической системы живых организмов. Реакции в газовой фазе расширяют круг синтезируемых веществ. Сравнительно недавно было обнаружено, что четыре азотистых основания РНК (рибонуклеиновая кислота) образуются в последующих реакциях, в которые начинают вступать первичные продукты газоразрядного синтеза.



Рис. 5.12. Последовательность усложнения структуры органических соединений

Представляется очевидным, что в конечном счете созданные различными путями или привнесенные из космоса «строительные» материалы белков и нуклеиновых кислот смывались с поверхности Земли и из её атмосферы в океаны. В стерильных условиях (отсутствие микробов!) в течение миллионов лет происходит накопление необходимых элементов в «первичном бульоне».

При определенных условиях формальдегид конденсируется в водном растворе, образуя различные сахара. Одним из побочных продуктов этой реакции является рибо-

за - основной компонент РНК. Постепенно разрозненные молекулы будут собираться в молекулярные агрегаты, насчитывающие сотни тысяч и миллионы мономеров. Такие агрегаты получили название коацерватных капель, их особенностью является свойство «вытягивать» из окружающего их низкомолекулярного раствора некоторые вещества, что похоже на зачаток «обмена веществ». Академик А.И. Опарин (1894-1980) считал, что именно коацерватные капли послужили тем «микрососудами», в которых произошло формирование динамически устойчивых первичных микроорганизмов.

Таким образом, современная концепция не выясняет, какой из рассмотренных выше источников «на самом деле» является главным в зарождении жизни, а, наоборот, подчеркивает многообразие и различную физическую и химическую природу поставщиков биологически активных веществ, их совместное взаимно дополнительное действие. Хотя ещё не всё понятно в процессе перехода к синтезу самокопирующихся молекул и появления построенных на них примитивных организмов, основные положения концепции считаются экспериментально обоснованными.

Следует иметь в виду, что для построения простейшей генетической системы достаточно было коротких полимерных цепей РНК. Первым организмам не требовалось быть высокоэффективными, поскольку ещё не существовало «врагов» и проблемы добывания пищи в первичном бульоне. Достаточно было приобрести свойство воспроизведения своих копий быстрее, чем происходила химическая или физическая деструкция клетки.

Несколько лет назад удалось «в пробирке» воспроизвести простой вариант копирования и отбора на молекулярном уровне. В раствор хлороформа вводили молекулы эфира и амина, которые образовывали более сложные по составу и конфигурации молекулы амида.

Реакция оказалась автокаталитической: одна образовавшаяся молекула амида становилась центром сборки другой, этому способствует своеобразная форма молекулы амида. При повышении температуры раствора комплементарные пары молекул амида расходились и становились самостоятельными. При циклическом охлаждении - нагреве молекулы амида «размножались» — рис. 5.13.

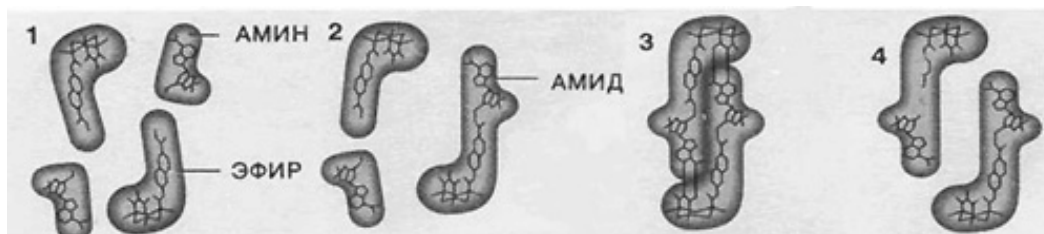


Рис. 5.13. Последовательность копирования молекул амида

Затем опыты были усложнены тремя различными аминами и эфиром. Если на смесь воздействовать УФ-лучами, то один из получающихся амидов

видоизменялся (мутировал) и накапливался в растворе с большей скоростью, чем другие.

Поэтому мы можем подчеркнуть ещё раз: Жизнь возникает как планетарное явление, только в совместном участии космической среды, недр Земли, её атмосферы и океанов появляется и реализуется самоорганизация жизни на молекулярном уровне, а затем и на уровне клетки. Простейшими организмами были одноклеточные и не имеющие ядра прокариоты, вступление в действие естественного отбора и мутаций привело к появлению эукариот и многоклеточных организмов, у которых генетическая информация находится в хромосомах.

5.5. Кодирование и воспроизводство биологической информации

Дать строгое и всеобъемлющее определение, что такое Жизнь, весьма трудно. Можно констатировать, что для живых организмов характерна устойчивая структура, наличие обмена веществ с окружающей средой, поддержание гомеостаза (постоянства внутренней среды), репликация (размножение), изменчивость и отбор. По Ф. Энгельсу жизнь - это способ существования белковых тел. Что верно с той точки зрения, что известные живые существа имеют в своем химическом составе больше белков, чем жирных кислот или углеводов. Формулировка «способ существования» - слишком философская, то есть предельно общая. С точки зрения информатики в более конкретном функциональном определении жизнь можно назвать структурно устойчивым состоянием белковых систем, использующих для поддержания гомеостаза не только обмен веществом и энергией, но и информацией, кодируемой формой и составом отдельных молекул. Последнее, по-видимому,

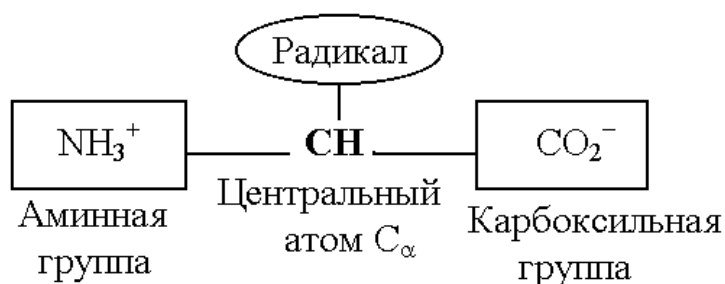


Рис. 5.14. Схема строения молекул аминокислот

принципиально отличает живое вещество от неживого. Нашей задачей будет описание тех способов и механизмов кодирования информации и её прочтения на молекулярном уровне, которые были отобраны в процессе эволюции жизни.

Но прежде необходимо краткое описание основного «химического материала» жизни: белков и нуклеиновых кислот.

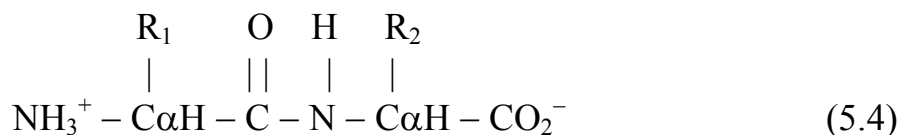
5.5.1. Состав и структура белков

Структурными единицами белков являются аминокислоты, их известно более 200. Только 60 из них входят в состав организма человека, и всего 20 аминокислот формируют все разнообразие его белков.

Общую химическую формулу аминокислот можно представить в следующем виде: центральный атом углерода, аминная группа, карбоксильная группа и радикал. Зарядовое состояние аминной и карбоксильной групп изменяется под действием окружающей среды: в неполярной среде аминная группа имеет состав NH_2 , а карбоксильная - COOH . Боковой радикал, присоединяющийся к центральному атому углерода, *определяет специфику данной аминокислоты*. Он может иметь совсем простой состав (как в глицине), цепочки углеводородных групп (как в лейцине) или содержать пяти - шестичленные циклы (как в триптофане).

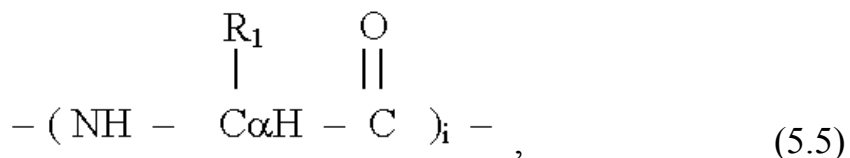
Химики определяют процесс образования белков как реакцию полимеризации - как реакцию последовательного присоединения отдельных аминокислот в общую цепь. Первый шаг на этом пути - образование димера (цепи из двух звеньев). При этом выделится молекула воды H_2O и будет образована пептидная связь (CO-NH). Будем обозначать боковые радикалы аминокислот буквами R с индексами (R_1 или R_2 , или R_i), а их центральные атомы C_α .

Тогда можно записать структурную формулу димера в виде



В ней атомы следуют в таком порядке: центральный углерод аминокислоты - пептидная связь. Это чередование сохраняется при дальнейшей полимеризации.

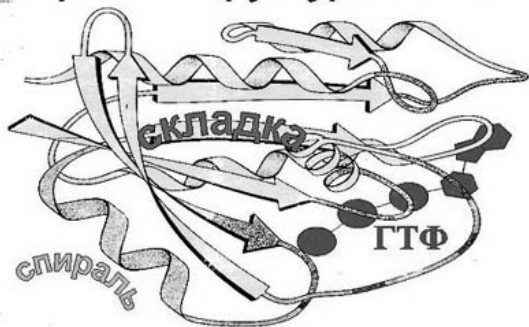
Общая формула белков может быть представлена записью



где индекс i может быть одним из интервала (1 - 20), в зависимости от конкретной аминокислоты.

Запись в виде (5.5) представляет первичную структуру белка. При больших значениях i , когда полимерная цепь становится весьма и весьма длинной, организуется вторичная структура в виде спиралей. Это повышает их устойчивость к случайным деформациям и препятствует спутыванию полимерных «нитек» в беспорядочный клубок.

Уровни структуры белка



Возможность изменения формы молекул связана с различной «эластичностью» химических связей в них. Отдельные части полимерной цепи могут легко поворачиваться вокруг осей σ -связей ($C_\alpha - C$) или ($C_\alpha - N$), вращение же во-

Рис. 5.15. Условное изображение элементов вторичной структуры белка

круг пептидной связи затруднено, поскольку она носит смешанный характер σ - и π -связей (пептидная связь частично двойная). Поэтому многие белки и ферменты имеют спиральную конфигурацию, которая теряется при денатурации в растворе спирта или при нагревании до относительно высокой температуры (всем знаком пример денатурации яичного белка при кипячении). Если взаимодействуют две близко расположенные полимерные цепи, то возможно образование «гармошки» - складчатой конфигурации, в которой две нити идут параллельными уступами, как лестница. При структурном анализе белков описанные участки называют α -спиральями и β - складками.

В природе ничего не происходит «просто так». Если есть возможность вращений отдельных частей молекулы - нити, то они будут происходить случайным образом под действием тепловых флуктуаций. Но стабильной конфигурации не получится до тех пор, пока не будет достигнут минимум потенциальной энергии. В чем-то конфигурация спирали должна быть энергетически выгоднее, чем просто линейная или зигзагообразная. По данным рентгеноструктурного анализа нашлось простое объяснение типичности спиралей в белках: минимум общей энергии достигается при таких поворотах, которые позволяют установление дополнительных водородных связей между амминной и карбоксильной группами. Как правило в α -спирали каждая NH-группа одной пептидной связи образует «сшивку» с четвертой от неё CO-группой другой пептидной связи, что задает размер витка спирали. Образование химической связи, даже такой слабой, как водородная, сопровождается выделением энергии так, что полная энергия системы при этом понижается.

Физические и химические свойства органических полимеров определяются не только элементным составом, но и конформацией - пространственным расположением атомов. Мало знать только химический состав, он определит лишь первичную структуру белка или фермента. Для понимания «деятельности» белков и их свойств необходимы данные о вторичной, третичной и надмолекулярной структуре.



Рис. 5.16. Схема строения волоса человека

Например, волосы человека (рис. 5.16) состоят из α -кератина. Полипептидная цепь этого белка построена в основном из глицина, лейцина, цистеина и пяти других аминокислот. Первичной структурой цепи здесь является правая α -спираль. Три таких правых спирали скручиваются затем в общую левую спираль, где удерживаются водородными связями и дисульфидными «мостиками». Далее 9 таких левых спиралей образуют длин-

ный цилиндр, по оси которого проходят 2 внутренние левые спирали - так образуется микрофибрилла. Это уровень домена. Сотни доменов входят в макрофибриллы (уровень глобул), сочетание многих макрофибрилл дают клетку, из последних образуется нить волоса. Отсюда понятна большая эластичность столь «высокоспирализованного» материала. При нагрузке спирали разных масштабных уровней раскручиваются вплоть до разрыва более слабых водородных связей. После снятия напряжения первоначальная форма восстанавливается, поскольку более прочные связи дисульфидных мостиков не разрушаются и способствуют регенерации α -спиралей.

Шелк (натуральный) является β -кератином. В его составе больше аланина и глицина, меньше аминокислот, содержащих серу. Поэтому здесь реализуется другая пространственная структура, в которой β -складки образуют более плоские «листовые» домены. Шелк менее эластичен, чем волосы или шерсть, но он очень гибок, так как один «лист» (слой) сравнительно легко может скользить по другому.

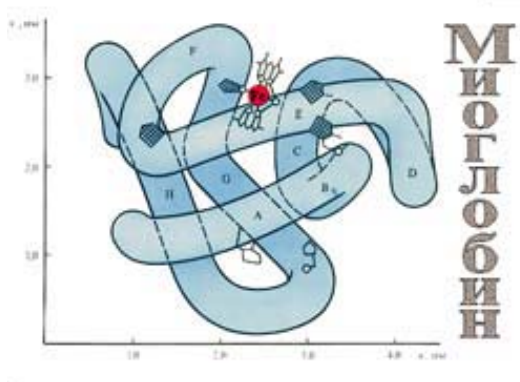


Рис. 5.17. Схема строения миоглобина

В 1960 г. была установлена пространственная структура молекулы миоглобина – белка, выделенного из мышц кашалота. В её составе имеется 153 аминокислотных звена, они формируют общую спираль, которая причудливо изогнута в виде жгута, охватывающего гем железа. Затем была расшифрована структура гемоглобина.

Молекула гемоглобина более сложная, она состоит из 4 субъединиц, похожих на молекулу миоглобина. Как переносчик кислорода, гемоглобин более эффективен,

чем миоглобин.

5.5.2. Нуклеиновые кислоты

В классическом естествознании ещё в конце прошлого века было установлено, что наследственность растений и животных определяется наличием определенного числа хромосом в ядрах клетки. Химический состав хромосом отвечает смеси дезоксирибонуклеиновых кислот (ДНК), с последними и стали отождествлять наследственный аппарат живого вещества. Судя по молекулярной массе, ДНК содержат от 10^3 до 10^8 отдельных звеньев-нуклеотидов в общей цепи. Меньшее число (от 80 до 200000) нуклеотидов содержат цепи рибонуклеиновых кислот (РНК), с помощью которых происходит синтез белка в клетке.

Азотистых оснований в составе нуклеиновых кислот немного, всего пять. Термин пентоза является общим названием для рибозы и дезоксирибозы. Отличие между ними всего лишь в одной детали: если гидроксил OH заменить на водород H, то вместо рибозы получится дезоксирибоза. В зависимости

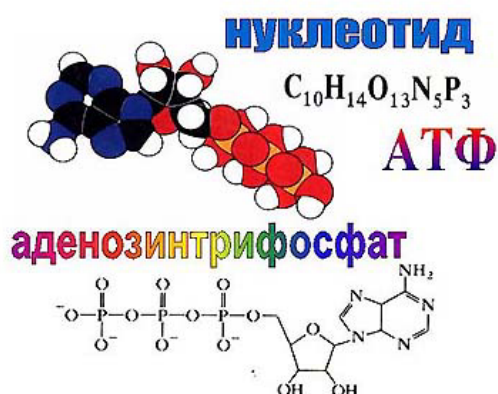


Рис. 5.18. Структурная формула и пространственная модель строения АТФ

линии химических связей и особенные группы атомов. Отметим, что формула АТФ, записанная в плоскости, не дает точного объемного расположения атомов. Модель в виде вдавленных друг в друга шаров разного размера и цвета (рис. 5.18) дает более точную пространственную конфигурацию.

Если специфику аминокислот определяет боковой радикал, то индивидуальность нуклеотидов определяется азотистым основанием («головой» молекулы). Как отмечалось выше их всего пять, по четыре они входят в состав ДНК и РНК.

ДНК: Аденин (А), Гуанин (Г), Цитозин (Ц), **Тимин (Т)**

РНК: Аденин (А), Гуанин (Г), Цитозин (Ц), **Урацил (У)**

Принцип полимеризации нуклеотидов в цепи ДНК или РНК следующий: фосфатный «хвост» одного звена присоединяется к углу пентозы, соседнему с тем, где «отрастает» фосфатная цепь другого нуклеотида, и получается цепь платформ, каждая из которых несет свое азотистое основание. Этот процесс определяет формирование первичной структуры нуклеиновых кислот.

Вторичная структура стабилизируется водородными связями, как и в структуре белков. Но в данном случае между «подходящими» азотистыми основаниями сразу образуется по две или по три водородных связи, что, конечно, упрочняет вторичную структуру. И самая главная особенность таких соединений - каждый конкретный нуклеотид может образовать «зацепление» только с единственным из трех других (в его группе). Если назвать один нуклеотид «замком», то другой будет «ключом», подходящим только к этому

замку. Зацепления могут возникать как между азотистыми основаниями одной цепи, так и между основаниями соседних цепей.

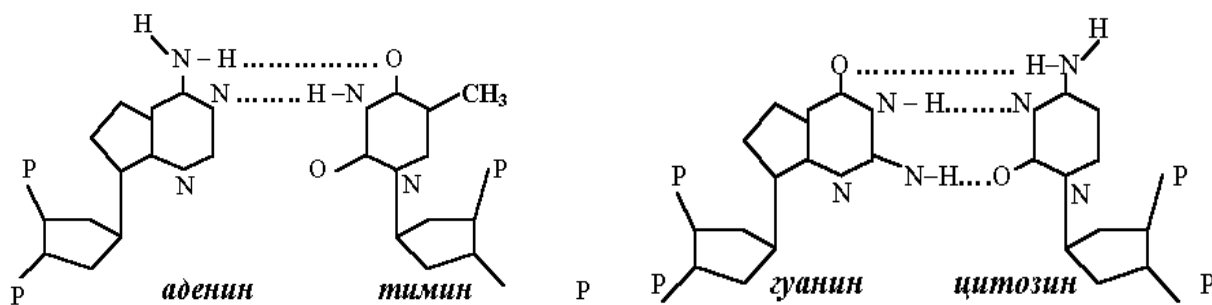
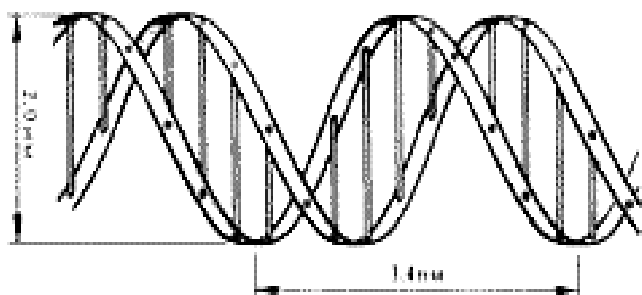


Рис. 5.19. Варианты соединения аденина с тимином и гуанина с цитозином

Говорят, что пары нуклеотидов отвечают принципу комплементарности, цитозин комплементарен гуанину, аденин - тимину и урацилу (последний отличается от тимина только отсутствием группы CH_3). Принцип комплементарности позволяет объяснить механизм «молекулярного узнавания». Водородные связи (с одной стороны - доноры, с другой - акцепторы электрона) являются своеобразной системой поиска комплементарного участка, принадлежащего своей или другой цепи.

Вторичная структура РНК в самом простом случае может быть представлена в виде испорченной застежки-молнии. Там, где подряд располагаются соответствующие друг другу комплементарные звенья, «молния» застегнута, где нет соответствия - появляется петля. В общей цепи могут образоваться несколько петель различного размера. Например, транспортные РНК (тРНК) в большинстве случаев имеют форму клеверного листа, изогнутого наподобие австралийского бумеранга.

Вторичная структура ДНК более сложная. При химическом анализе этих кислот было установлено эмпирическое правило Чаргаффа: какой бы длины ни была нуклеотидная цепь, всегда количество оснований аденина равнялось количеству оснований тимина, а количество цитозида равнялось количеству гуанина. Причины этого установили Д. Уотстон и Ф. Крик, введя принцип комплементарности. Они экспериментально показали, что ДНК представляет собой двойную спираль, составленную из полностью комплементарных цепей нуклеотидов. Начало одной цепи комплементарно окончанию другой.



Пояснить ситуацию можно схемой двух лент, закрученных вокруг общей для них оси (рис. 5.20). Шаг спирали $b = 3,4$ нм, на одном обороте спирали имеется 10 комплементарных пар нуклеотидов, так что межцепные водородные

Рис. 5.20. Схема вторичной структуры ДНК

«разъемы» располагаются в среднем на расстоянии $a = 0,34$ нм.

Если поискать аналог спирали ДНК, то наиболее подходящим образом будет винтовая вертикальная лестница, ступеньками которой будут водородные связи, причем каждая последующая ступенька повернута относительно предыдущей на 36° . Как и для белков, нуклеиновые кислоты могут иметь третичную структуру.

Во многих случаях шнуры ДНК наматываются на белковые глобулы,



Рис. 5.21. Схема строения нуклеосомы

образуя нуклеосомы. В чем «польза» дополнительной спирализации в шнуры и упорядоченные клубки? Вся польза - в компактности, которая позволяет достичь очень высокой объемной плотности генетической информации. Для примера приведем несколько цифр. В одной клетке человека, содержащей 46 хромосом, помещаются цепи ДНК длиной 2 м при величине самой клетки около 25 мкм и размере ядра клетки (где находятся хромосомы) примерно 5 мкм. Подсчитано, что если раскрутить все молекулы ДНК в организме человека в прямую ленту, то она

была бы в 80 раз больше расстояния от Земли до Солнца!

5.5.3. Принцип кодирования аминокислотных последовательностей

Для развития организма и стабильности его клеток в первую очередь необходим непрерывный синтез белков, то есть определенной последовательности аминокислот. Какой способ нашла природа для кодирования, то есть для информационно значимой записи порядка следования аминокислот в белках? Путем тонких биохимических экспериментов на молекулярном уровне за последние десятилетия удалось выяснить, что последовательность



Рис. 5.22. Каждому кодону соответствует одна аминокислота

синтеза белков зафиксирована в цепях ДНК (в некоторых случаях и РНК) в виде кодонов. Кодоном является тройка последовательно расположенных азотистых оснований.

Каждый отдельный белок кодируется своим геном - вполне определенной последовательностью кодонов. Сколько аминокислот в данном белке - столько и кодонов. Между собой гены разделены интронами - участками цепи ДНК, в которой нуклеотиды располагаются на первый взгляд беспорядочно, так, что

кодонов не выделяется. По современным представлениям интроны выполняют служебную роль меток и участвуют в процессах «выбора» тех конкретных участков-генов, которые должны в тот или иной момент транскрибироваться. Дело в том, что, хотя почти все клетки организма содержат в своих хромосомах одну и ту же генетическую информацию, в разных клетках синтезируется только ограниченный, определенный специализацией клетки, набор белков.

Как ни удивительно, но к подобному же принципу расположения информационных файлов или музыкальных программ пришли в технологии компакт-дисков. Выбором определенной команды на управление Вы можете активировать (считывать, прослушивать) интересующий Вас в данный момент фрагмент записи.

Таким образом, генетическая информация, содержащаяся в ДНК и РНК, заключена в последовательности расположения нуклеотидов в этих молекулах. Каким же образом ДНК кодирует (шифрует) первичную структуру белков? Суть кода заключается в том, что последовательность расположения нуклеотидов в ДНК определяет последовательность расположения аминокислот в белках. Этот код называется генетическим, его расшифровка - одно из величайших достижений современного естествознания [8].

В состав ДНК входят по 4 нуклеотида. Если в алфавите жизни всего 4 буквы, то как из них строятся слова? Этот вопрос одним из первых поставил Г.А. Гамов. Двухбуквенный код позволил бы зашифровать всего лишь 16 аминокислот, так как из 4-х нуклеотидов можно составить только 16 различных комбинаций, в каждую из которых входит по 2 нуклеотида. Этого мало для 20 аминокислот, используемых в природе для синтеза белков. Гамов сделал предположение, что в каждом слове должно быть три буквы. С помощью триплетного кода можно создать из 4-х нуклеотидов 64 различные комбинации: 4 в степени 3 равно 64 . Это уже заметно больше числа аминокислот.

Как быть? Считать, что слова не обязательно состоят из трех букв? Или среди 64 слов есть синонимы? Гамов остановился на второй возможности: некоторые слова (кодоны) могут обозначать одну и ту же аминокислоту. Экспериментальные исследования подтвердили гипотезу Гамова - почти каждая аминокислота шифруется более чем одним кодоном. Например, аргинин, серин и лейцин могут кодироваться шестью вариантами кодонов. Тем не менее, генетический код однозначен. Каждый триплет - кодон - шифрует только одну из аминокислот. В генетическом коде существуют три специальные триплета УГА, УАГ и УАА, каждый из которых обозначает прекращение синтеза цепи белка. Внутри гена не должно быть знаков препинания. Это очень важно. Например, мы можем легко прочитать и понять фразу, составленную триплетными обычными буквами алфавита: **«жил был кот тих был сер мил мне тот кот»**. Если убрать фиксированное начало, одну букву (или один нуклеотид в гене), то новые тройки букв (мы должны читать по тройным со-

четаниям - кодонам) станут такими: «илб ылк отг ихо ылс ерм илм нет отк». У всех здоровых людей в гене, несущем информацию об одной из цепей гемоглобина, триплет ГАА или ГАГ, стоящий на шестом месте, кодирует глутаминовую кислоту. Если второй нуклеотид в этих триплетах будет заменен на У, то в этом случае вместо глутаминовой кислоты будет встраиваться валин. Последствия будут тяжелыми - все эритроциты у такого человека будут иметь «испорченный» гемоглобин, что вызовет болезнь - серповидноклеточную анемию.

Одна их форм шизофрении - кататония - связана с заменой всего одной аминокислоты на другую в белке WKL1. Его код содержится в одном из генов хромосомы 22 человека. Единственная «опечатка» в генетическом коде приводит к развитию тяжелого психического заболевания.

5.5.4. Механизм биосинтеза белков

Процесс биосинтеза многостадийный. Сначала необходимо получить доступ к информации, спрятанной в двойной спирали ДНК. Для этого должен существовать механизм расплетения нитей ДНК и образования копии требуемой информации. Первый этап - этап транскрипции - завершается образованием информационной РНК (иРНК) и её выходом из ядра клетки, где находятся хромосомы, в цитоплазму. Так информация физически переносится в новую среду. В цитоплазме клетки происходит процесс сборки белка из растворенных в цитоплазме аминокислот, эту стадию синтеза принято называть трансляцией. Между этими основными стадиями существует промежуточный этап, на котором РНК, несущая полную копию определенного участка ДНК, подвергается процессингу - таково общее название различных модификаций иРНК, в которых к её концам могут добавляться различные структуры, из неё могут вырезаться и вставляться интроны и так далее. Ясно, что процессинг играет регуляторную роль, но его действие изучено пока не в полном объеме.



Рис. 5.23. Расплетение цепей ДНК полимеразой

Первая стадия - расплетение ДНК и получение копии - контролируется ферментом полимеразой. В неактивном состоянии цепи ДНК накручены на белок гистон и защищены от внешнего воздействия. Молекулы РНК-полимеразы вытесняют гистон, и двойная цепь раскручивается, расходясь на расстояние около 10 нм в диаметре. Фермент способен образовывать связи не только с цепями ДНК, вызывая их расхождение, но и с отдельными нуклеотидами. Он служит катали-

затвором присоединения нуклеотидов к кодонам РНК. При этом действует принцип комплементарности и растущая цепь РНК оказывается построенной из антикодонов.

Близкое соседство антикодонов друг к другу приводит к соединению свободных «хвостов» остатков фосфорных кислот с атомами углерода соседних «платформ» (рибозами) и формируется цепь иРНК. Вдали от РНК-полимеразы её стабилизирующая роль уменьшается и цепь антикодонов постепенно отделяется от цепи ДНК. Образно говоря, РНК-полимераза выполняет роль зажима, удерживающего нуклеотиды в нужном положении на время, необходимое для переключения химических связей.

Следует отметить, что в клетках эукариот (то есть имеющих ядра) имеется три типа РНК-полимераз: одна из них производит иРНК, две другие образуют рибосомные рРНК и транспортные тРНК. Через поры в оболочке ядра все три типа РНК поступают в цитоплазму. Здесь происходит процессинг (см. выше) и информационная РНК превращается в необходимую для данной клетки полноценную матричную мРНК. Наступает второй этап синтеза, в котором главным действующим лицом является другой фермент - рибосома.

Рибосома состоит из двух субчастиц - большой и малой. Они имеют различные молярные массы и поэтому различаются по скорости осаждения на центрифуге. Большую субчастицу обозначают как 60S, малую - как 40S. Субчастицы находятся в цитоплазме раздельно и собираются вместе на цепи матричной РНК. Каждая из субчастиц состоит из белкового каркаса и внутренней рРНК, в малой частице 40S рРНК имеет спирализацию, в большой субчастице рРНК имеет зигзагообразную форму без вторичной структуры. На одной цепи мРНК, как правило, рядом собираются несколько рибосом, образуя комплекс полирибосомы. Каждая рибосома служит станком для сборки своей цепи белка, так что при согласованном передвижении полирибосомы вдоль цепи мРНК сразу синтезируется несколько одинаковых молекул данного вида белка.

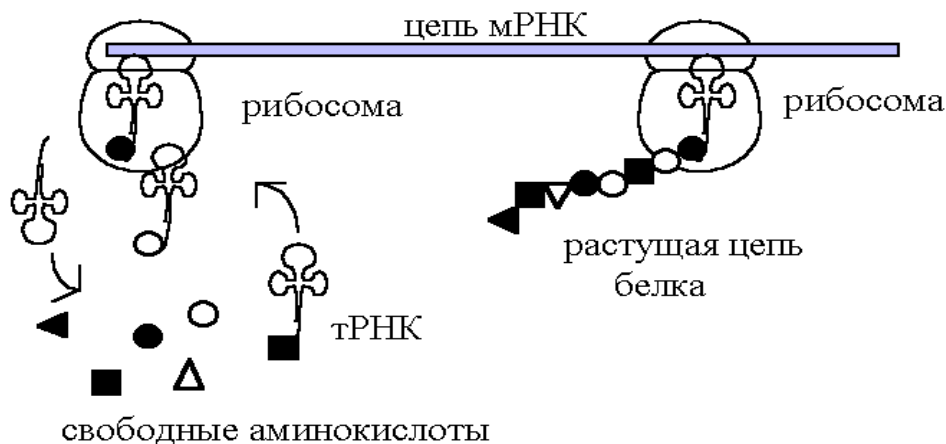


Рис. 5.24. Схема процесса сборки полипептидной цепи

В процессе сборки полипептидной цепи транспортные тРНК переносят к рибосоме каждая свою аминокислоту; для 20 аминокислот имеется 20 типов транспортных РНК.

Цепи тРНК - самые короткие (около 80 нуклеотидов), в центральной части большой петли встроены кодон одной из аминокислот, которая способна соединиться со свободным концом тРНК. По правилу комплементарности кодон может подойти (как ключ к замку) только к своему антикодону, поэтому цепь белка строится в точном соответствии с расположением кодонов в ДНК.

Информация проходит в последовательности кодон - антикодон - и снова кодон. Энергия, необходимая для передвижения рибосомы вдоль цепи мРНК, поступает в результате гидролиза на большой субчастице гуанозинтрифосфата ГТФ: ГТФ «теряет» группу PO_4 и превращается в гуанозиндифосфат ГДФ. Рибосома присоединяется малой субчастицей к цепи матричной РНК, транспортная РНК доставляет очередную аминокислоту, которая сначала закрепляется на большой субчастице, а затем соединяется с растущей полипептидной цепью. Процесс сшивания в полимерную цепь (по крайней мере в некоторых случаях) происходит при участии соответствующих ферментов. После этого тРНК освобождается и возвращается в цитоплазму за очередным «грузом». Следует отметить высокую эффективность процесса синтеза белков, он происходит с выходом продукта, соответствующим подходу тысяч тРНК к рибосоме за одну секунду.

5.5.5. Механизм клеточной стабильности

При рассмотрении процессов в клетке невольно возникает ассоциация с фабрикой или химическим заводом. Есть участок копировальный, есть производство конечного продукта для собственных нужд и на экспорт в другие клетки. Что произойдет, если синтез белков на существующих рибосомах вдруг будет заблокирован?

В экспериментах сбой в синтезе (его остановка) производился путем введения конкурента для ГТФ, который занимает его место на рибосоме, но

не выделяет при этом энергии, достаточной для сдвига рибосомы на следующий кодон. Оказывается, что на фабрике - клетке производятся и белоксинтезирующие «станки»- рибосомы. Это производство организовано в пределах ядра клетки. Между ядром и цитоплазмой существуют встречные потоки веществ. Рибосомные белки, произведенные по вышеописан-

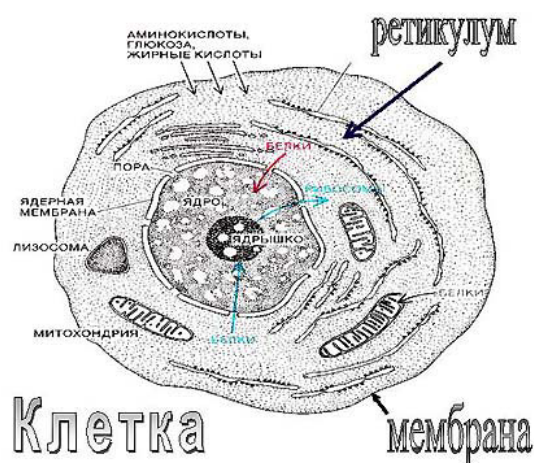


Рис. 5.25. Схема строения клетки животного

санной «технологии», поступают в ядро, где идет процесс транскрипции генов рРНК в виде общей длинной цепи. В результате процессинга (обработки) из длинной цепи выделяются короткие участки двух видов - рРНК 18S и рРНК 28S. На эти рибосомы осаждаются поступившие рибосомные белки и образуются 40S и 60S субчастицы рибосомы. Эти «полуфабрикаты» выходят через поры ядра в цитоплазму (размеры рибосомы велики для «проходной»). В цитоплазме растворены свободные рибосомы, но они также группируются на мембране так называемых эндоплазматического ретикулума в полирибосомы. По макроскопической аналогии - это целая станочная линия, проходя по которой (движение относительно, рибосомы «протягивают» мРНК) матричная РНК, вместо спирали стружки, производит спирали белков.

При блокировке процесса синтеза в клетке ускоряется транспорт питательных веществ (аминокислот, липидов, глюкозы) из кровяного русла и активируется внутриклеточный кругооборот веществ. В первую очередь ускоряется поток белков в ядро клетки, с ними поступают ферменты, активирующие транскрипцию и процесс создания субчастиц рибосом. Последние в большем количестве поступают в цитоплазму, где собираются в резервный «станочный парк», заменяющий испорченный. Таким путем восстанавливается работоспособность клетки и экспорт вырабатываемых ею веществ в кровяное русло.

В многоклеточных организмах на любое нарушение гомеостаза клетка реагирует интегральным повышением мощности работы всего белоксинтезирующего конвейера и сопряженным с ним увеличением белковой массы, то есть ростом. Это повышает защитный и энергетический потенциал клеток и позволяет им преодолеть вредоносное действие нагрузочного фактора (или стресса), если его сила не окажется чрезмерной (несовместимой с жизнью клетки).

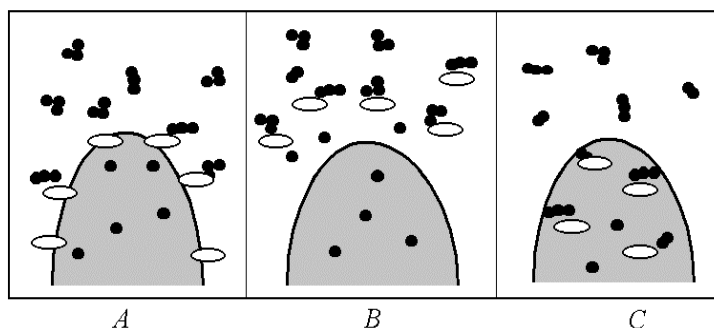
Из этого следуют два вывода. Во-первых, умеренные нагрузки на клетки (через нагружение, иногда через стрессы всего организма) сопровождаются повышенным энерговыделением и ростом отдельных клеток, а с ними и организма в целом. В этом объяснение эмпирически известного факта повышения физических возможностей людей, занимающихся спортом или тяжелой работой. Во-вторых, при частых и значительных химических нагрузках на клетки (будь то последствия эмоций или приема алкоголя, или радиационно-химических воздействий) адаптационный механизм «сбоит» и создает лишь дополнительные «машины трансляции», осуществляющие плохо контролируемый рост клеток. Что приводит к избыточной массе организма, а по некоторым данным - приводит к росту канцерогенных опухолей.

5.5.6. Межклеточный обмен веществами

В настоящее время ещё не все детали поразительного по совершенству механизма воспроизводства генетической информации и молекулярного био-

логического синтеза установлены. Понято хотя бы главное, в том числе то, что каждая клетка в организме не создает всех нужных ей веществ, хотя генетической информацией обладает. Более эффективным оказывается путь специализации функций клеток, это приводит к совершенствованию организма в целом. Следовательно, между «элементалями» организма (клетками) должен непрерывно поддерживаться обмен, клетки и поставщики, и потребители потоков веществ. У простейших одноклеточных организмов процесс обмена веществами между клеткой и окружающей средой является процессом пищеварения, в результате которого происходит ассимиляция полезных веществ и удаление шлаков, остающихся после утилизации продуктов питания.

За последние 10 - 15 лет удалось установить, что все разнообразие процессов ассимиляции полезных для клетки продуктов, свойственных живым организмам (от одноклеточных бактерий до млекопитающих), сводится к



трем основным типам: внеклеточному, внутриклеточному и мембранному. Схема соответствующих процессов приведена на рис. 5.26.

Рис. 5.26. Схема процессов ассимиляции:
А - мембранный; В - внеклеточный; С – внутриклеточный

При внутриклеточной ассимиляции ферменты цитоплазмы гидролизуют (разлагают) небольшие молекулы питательных веществ (главным образом димеры - дисахариды, дипептиды и т.д.), проникшие в клетку путем диффузии или путем специального транспорта (эндоцитоза). Внеклеточное пищеварение осуществляется ферментами, которые выходят из цитоплазмы наружу. Здесь ферменты, как говорят биохимики, атакуют поглощенные организмом субстраты (крупные молекулярные комплексы), разрушают их до димерных или мономерных форм, которые уже способны затем проникать в клетку. У высших животных и человека этот процесс начинается в ротовой полости и продолжается в полости желудка, сочетаясь с внутриклеточным. Мембранная деполимеризация субстрата происходит на границе и имеет черты как внеклеточного, так и внутриклеточного

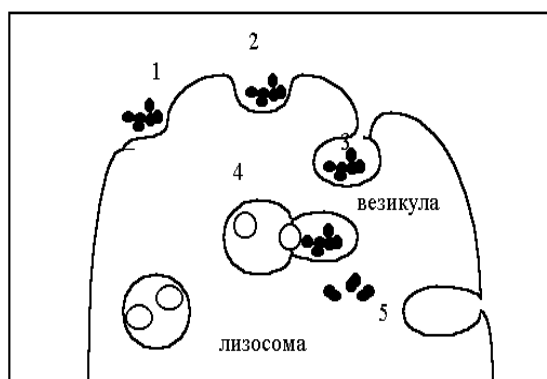


Рис. 5 27. Схема процесса эндоцитоза

процессов. Оно малоэффективно в отношении крупных надмолекулярных комплексов. Поэтому для таких «лакомых кусочков» многие клетки используют цикл эндоцитоза.

Эндоцитоз начинается с того, что макромолекула питательного вещества прикрепляется к специальному мембранному белку, называемому рецептором. Рецепторы могут перемещаться по плазматической (полужидкой) мембране клетки, перенося с собой лиганды - прикрепленные к ним большие молекулы. Такой перенос оказывается более эффективным, чем случайная диффузия субстрата по мембране. За одну минуту циркулирующий белок может пройти расстояние около 10 мкм, что сравнимо с размерами некоторых клеток. Когда в одном месте собираются до тысячи рецепторов с лигандами, такой участок мембраны начинает впячиваться внутрь клетки и образует сначала ямку, а затем пузырек (везикулу).

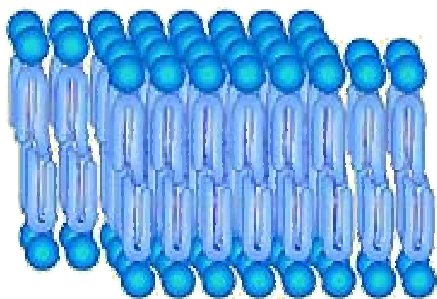


Рис. 5.28. Схема строения мембраны клеток

Везикула отпочковывается от мембраны и перемещается в цитоплазму, где с ней соединяется лизосома с ферментами. Оболочка лизосомы предохраняет содержимое цитоплазмы от химического действия ферментов. Когда две оболочки входят в контакт и объединяются, ферменты переходят в везикулу и расщепляют пищевой субстрат, который поступает в цитоплазму, а белки оболочки везикулы возвращаются в мембрану клетки. Весь этот цикл происходит довольно быстро, за одну – две минуты.

Клетки различных организмов используют тот или другой тип ассимиляции, в зависимости от их эволюционного пути. Эндоцитоз и внутреннее пищеварение характерно для низших организмов, у высших животных и человека основные роли играют процессы полостного гидролиза и мембранного всасывания. Между ними существует функциональная связь, поскольку конечные продукты полостной деполимеризации служат исходным сырьем для мембранных процессов. В любом случае именно через мембрану клетки проходят встречные потоки веществ.

Оценка роли мембран возросла в последние годы, когда были начаты исследования механизма гормонального управления межклеточным обменом веществ. Например, известно, что клетки печени вырабатывают глюкозу в ответ на появление в крови гормона адреналина. Каким образом внешнее (по отношению к клетке) химическое воздействие запускает процесс выработки глюкозы?

Было предложено несколько моделей строения плазматической мембраны клеток, наиболее полной является твердокаркасная жидкокристаллическая модель. По ней основу всякой клеточной мембраны составляет двойной слой липидов (жирных кислот). Головные части молекул липидов гид-

рофильны, то есть хорошо смачиваются водой и водными растворами. Хвостовые цепи, наоборот - водоотталкивающие, гидрофобны, энергия их взаимодействия между собой превосходит энергию их взаимодействия с молекулами воды. Головные части формируют внешние поверхности мембран, а гидрофобные концы обращены внутрь.

Бислой весьма стабилен и в то же время имеет свойства жидкости. В одну или сразу в обе поверхности бислоя встраиваются крупные молекулы белков различного назначения: циркулирующие (переносчики лигандов), коммутационные, рецепторы и эффекторы. С внутренней стороны мембраны имеется ажурный каркас с элементами дальнего порядка (свойственного кристаллам), он построен из микронитей (микрофиламент) спектрина, которые закреплены за некоторые коммутационные белки, встроенные в бислой мембраны.

Такая жидко-твердая структура допускает локальные и общие перестройки с различной степенью кооперативности. При этом структурное возмущение, распространяющееся по мембране после посадки гормона или медиатора (химического передатчика сигнала) на соответствующий только ему рецептор, приводит к изменению координации и каталитической активности других мембранно-связанных ферментов. По такому механизму передаются межрецепторные сигналы (взаимодействия). Например, инсулин через свой рецептор изменяет свойства совершенно другой белковой молекулы - β -адренорецептора.

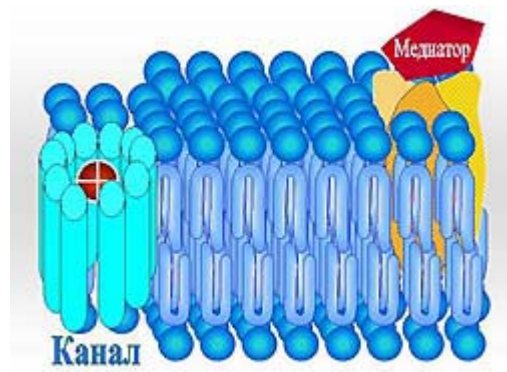


Рис. 5.29. Схема ионного канала в мембране клетки

В мембране имеются каналы различного диаметра, стенками которых служат молекулы белков. Через эти каналы свободно могут проходить в обе стороны молекулы воды, некоторые ионы (натрия и калия) и некоторые кислотные остатки (фосфорных кислот, аминокислоты). Часть каналов открыта постоянно, другие открываются только тогда, когда связанные с ними ферменты расщепляют молекулы субстрата (при мембранном пищеварении).

В результате реакции конформация фермента заметно изменяется так, что канал открывается и отщепленные частицы могут войти в цитоплазму клетки (пример конформационного перехода). Сигнал на фермент натриевого канала может быть передан также от конформационного перехода на соседнем рецепторе.

Более сложные процессы передачи информации на уровне клетки происходят с участием мессенджеров (белков-посланников). В середине 80-х гг. выяснилось, что центральное место в передаче межклеточных управляющих сигналов занимают *G*-белки, такое название они получили из-за приспособленности для связи с гуаниновыми нуклеотидами (гуанин-пентоза-

фосфатными молекулами). *G*-белки прикреплены к внутреннему слою мембраны и могут передвигаться по нему от рецептора к эффектору.

Процесс начинается с того, что адреналин (или другой гормон) прикрепляется к наружному концу своего рецептора. Выделяющаяся энергия связи передается на другом конце рецептора *G*-белку, это стимулирует обмен белка с присоединенным к нему гуаниндифосфатом. Обмен происходит с выделением энергии и *G*-белок диссоциирует, от него отделяется его компонент β -субчастица (она несет ГТФ) и быстро мигрирует к белку - эффектору. Это первый этап процесса.

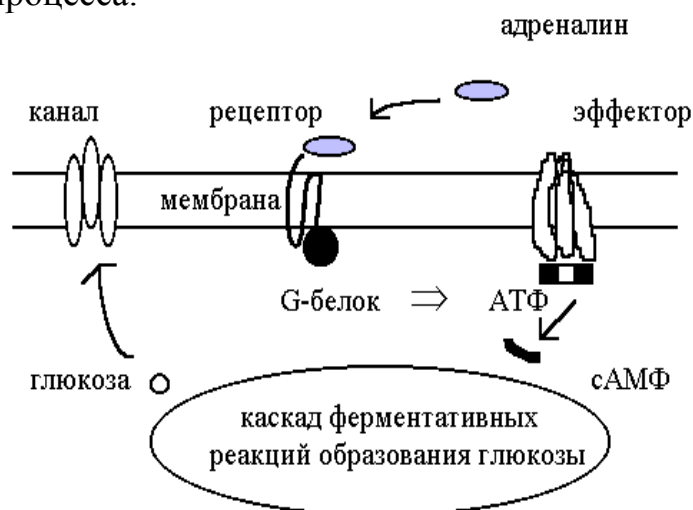
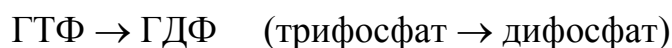


Рис. 5.30. Схеме процессов с участием *G*-белка

Второй этап начинается после того, как связывание β -субчастицы с эффектором переводит в возбужденное состояние его электронную оболочку. В возбужденном состоянии химическая активность молекул повышается и становятся возможными новые реакции, в обычных условиях не протекающие. В рассматриваемом случае эффектор становится катализатором превращения аденозинтрифосфата (АТФ) в циклический аденозинметафосфат (сАМФ).

Активное состояние сохраняется до тех пор, пока в альфа-субчастице не произойдет гидролиз (отщепление одной фосфатной группы):



Тогда β -субчастица возвращается назад, возбужденное состояние эффектора снимается, и он прекращает создавать сАМФ. Таким образом, время «включенного» состояния эффектора задается временем протекания реакции гидролиза фосфатной цепи гуанинового нуклеотида в составе субчастицы *G*-белка. Можно говорить о том, что обнаружен механизм таймера или своеобразного реле времени на молекулярном клеточном уровне.

Наработанные за время активного состояния эффектора молекулы сАМФ запускают каскад ферментативных реакций образования глюкозы из животного крахмала - гликогена. Такие реакции давно и хорошо воспроизво-

дятся в лабораторных условиях. Образованная глюкоза выходит через мембранные каналы в межклеточное пространство или в кровяное русло. Это ответ клетки на внешнее «послание» о необходимости для организма некоторого количества глюкозы

Зачем природе потребовался такой (на первый взгляд усложненный) вариант передачи информации? Дело в том, что при таком механизме действия происходит большое усиление начального сигнала. Будучи в возбужденном состоянии эффектор преобразует сотни молекул АТФ на одну молекулу первичного, внешнего для клетки, мессенджера (в данном случае - адреналина), появляются сотни мессенджеров вторичных (до 500 в нашем случае) в цитоплазме клетки. За сопоставимое время через открытый канал мембраны успели бы пройти всего одна - две молекулы, и эффективность управления была бы низкой.

Процессы передачи межклеточного взаимодействия с участием *G*-белков имеют большое распространение в живых организмах, считают что они играют роль в различении запахов, когда количество воспринимаемых первичных ароматических молекул чрезвычайно мало. Эти белки могут регулировать работу ионных каналов в мембранах. Например, циклический сГМФ поддерживает в открытом состоянии натриевый канал. *Gm*-белок включает эффектор, который превращает сГМФ в нециклический ГМФ. После этого канал для ионов натрия закрывается и клетка в целом приобретает электрический заряд.



Рис. 5.31. Молекула белка родопсина в мембране фоточувствительной клетки

Мы можем теперь дополнить описание механизма зрения человека. В молекуле родопсина присутствует *Gm*-белок трансдуцин. Он контролирует белок-эффектор фосфодиэстеразу, которая превращает сГМФ в ГМФ. Процесс идет с усилением начального сигнала (конформационного фотовозбуждения одной молекулы ретиналя) в 500 раз!

Человек «чувствует» время потому, что в его клетках имеется такое важное соединение, как гуанинтрифосфат!

Кроме того *G*-белки служат своеобразными часовыми механизмами в организмах, время гидролиза

ГТФ → ГДФ достигает нескольких секунд, то есть на уровне интервалов хорошо различаемых человеком.

5.6. Физические способы ускорения обмена веществ

В процессе эволюции из простейших одноклеточных организмов образовались многоклеточные. При этом размеры клеток остались в пределах одного порядка величин. Почему размеры клеток так малы (1 - 20 мкм)? В чем выгода деления клеток вместо роста их размеров? Во многом причины чисто физические, обусловленные объективным действием физических законов.

Все живые организмы стремятся ускорить обмен веществ, это способствует быстрому росту, достижению половой зрелости и воспроизводству, то есть выживанию вида в целом. Обмен веществ зависит от двух факторов: от

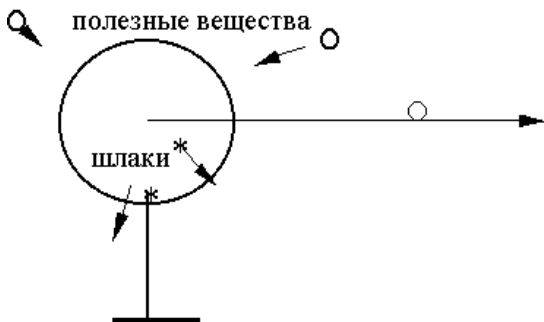


Рис. 5.32. Схема встречной диффузии веществ

скорости подхода питательных веществ к клетке и от скорости химических реакций в клетке. Эксперимент показывает, что скорость реакций внутри клетки обычно выше скорости подхода питательных веществ. Каким образом одноклеточные организмы могут увеличить скорость подхода необходимых продуктов питания?

Рассмотрим простую модель неподвижного одноклеточного организма в виде закрепленной сферы. Если клетка неподвижна, то основным процессом транспорта является диффузия.

По определению это направленный поток молекул данного сорта, вызванный градиентом их концентрации. В отличие от упорядоченного механического перемещения, диффузия поддерживается тепловым хаотическим движением всех молекул окружающей среды. Пока есть различие концентраций внутри организма и вне его, диффузионный транспорт питательного вещества (например сахара) к клетке происходит. В результате частичного усвоения образуются отходы (шлаки), это может быть просто вода и углекислый газ (как при окислении сахара или глюкозы), аммиак, мочевины, угольная кислота H_2CO_3 , продукты распада гемоглобина (урохран) и других белков. В окружающей клетку среде концентрация таких веществ мала и возникает встречная диффузия шлаков из объема клетки.

Что будет происходить вокруг неподвижной клетки? Во-первых, обеднение слоя питательных веществ, во-вторых - накопление в приповерхностном (наружном) слое молекул отходов. Это приводит к уменьшению соответствующих градиентов концентраций, и потоки веществ уменьшаются. Клетка начинает голодать и отравляться шлаками. Простейший способ избежать подобной ситуации - это использование механического перемещения. Движение относительно, поэтому некоторые простейшие организмы «предпочли» двигаться сами в окружающей их среде, другие выработали приспособления для активного влияния на среду: реснички, ворсинки, жгутики. С их

помощью создается движение среды в приповерхностном слое, вызывающее приток питательных и рассеяние отработанных веществ. У многих простейших организмов имеются жгутики, окончания которых вращаются с угловой скоростью 50 оборотов за секунду. Эта величина сопоставима со скоростью вращения валов макроскопических моторов - 3000 оборотов в минуту! Так как масса клетки мала, жгутик может создавать значительное ускорение при небольшой силе тяги.



Рис. 5.33. Фотография бактерии, имеющей жгутик

Парадоксально, но факт - в век атомных подводных лодок мы не знаем точно как работает элементарный двигатель клетки, как возникает вращательно-волновое движение жгутика. Имеются данные о том, что более простое механическое движение - переползание одноклеточных организмов в поисках «где лучше» происходит подобно процессу эндоцитоза, за счет пластичности жидко-кристаллической мембраны.

Бактериальные жгутики представляют собой тонкие полые нити длиной 15-20 нм, стенки которых образованы молекулами белка флагелина, жгутик прикреплен к базальному тельцу в мембране клетки. Считают, что оно приводит жгутик во вращение за счет разности потенциалов на поверхности мембраны. Если диффузию можно назвать пассивным видом транспорта веществ, то механическое движение создает транспорт активный. Необходимость движения диктуется ещё одним обстоятельством - энерговыделением клетки.

Оно может быть значительным, если сравнивать удельные величины. Подсчитано, что на единицу объема бактерия выделяет больше энергии, чем Солнце! Этот результат получается просто потому, что объем бактерии очень мал, при делении на малую величину результат получается значительным, даже от выделения небольшой энергии химических реакций.

Законы термодинамики едины для неживых и живых устройств, и коэффициент полезного действия биологической машины не может достигать единицы. Часть энергии обязательно преобразуется в тепловыделение, без достаточного теплообмена с внешней средой клетка будет перегреваться до такой степени, что это будет несовместимо с её жизнью (из-за денатурации белков, например). Механическое движение в среде усиливает теплообмен и снижает температуру одноклеточных организмов.

Однако для процессов теплообмена критическим параметром является отношение объема (в котором находятся источники тепла) к поверхности теплообмена. Мы приняли сферическую модель простейшего организма, для неё это отношение равно максимально возможному (наибольший объем в

наименьшей поверхности). С точки зрения теплообмена - это самый плохой вариант (из-за малости площади обмена). Для цилиндра ситуация становится лучше: при равных объемах поверхность цилиндра в 1,6 раз больше. Поэтому форма клеток ближе к цилиндрической, чем к сферической. Например, клетки эритроцитов (красных кровяных телец) имеют форму круглой «лепешечки», несколько вдавленной в средней её части.

При любой геометрической форме тел их объемы растут пропорционально кубу характеристического размера, а поверхность растет пропорционально его квадрату. Можно сказать, что поверхность «не успевает» за ростом объема, когда с течением времени масса одноклеточного организма возрастает (особенно при хорошем питании). К чему это приводит?

Как теплообмен, так и обмен потоками веществ происходит через поверхность клетки, если величина поверхности отстает от оптимального размера, то клетка начинает голодать. Кроме того, будет затруднен вывод шлаков, некоторые из них в большом количестве действуют как отравляющие вещества (к примеру аммиак). Выход из кризисного состояния подсказывают законы природы: чтобы продолжался процесс накопления массы живого вещества, клетка должна радикально изменить форму, то есть разделиться. Простые арифметические расчеты покажут Вам, что при условии $M = M_1 + M_2$ отношение суммарной площади двух капель к суммарному их объему будет больше, чем для одной большой капли.

Так что можно сказать: ограничение характеристических размеров клеток микронным уровнем является объективным требованием законов физики, химии и геометрии. В качестве иллюстрации к сказанному на рис. 5.34 показана форма простейших бактерий. Сначала это сферы - коки, затем происходит удвоение до диплококов, потом появляются стафилококки и далее - цилиндрические палочки.

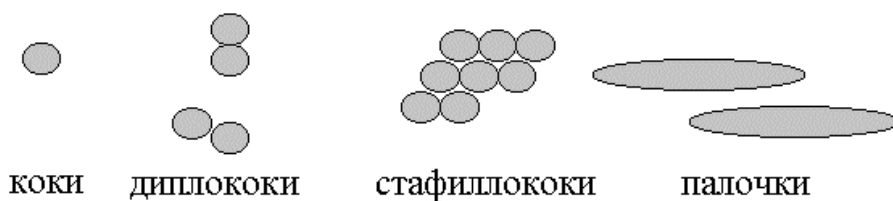


Рис. 5.34. Форма простейших организмов – бактерий

Хрестоматия к главе 5

Была ли жизнь на Марсе?

На этот вопрос дан ответ исследовательской группой НАСА. Они сопоставили комбинации минералов, входящих в метеорит ALH 84001, с тем, что в свое время доставил с Марса космический зонд «Викинг», собравший

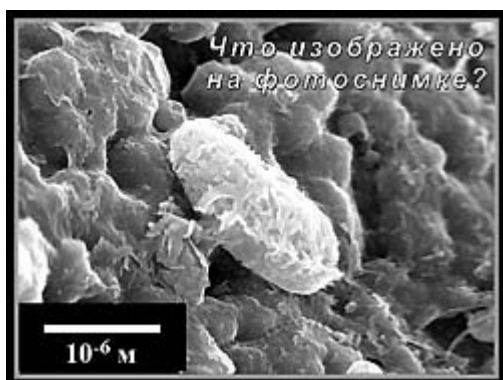


Рис.5.34. Фотография необычного объекта в марсианском метеорите

там образцы горных пород. Сравнение убедило: во льдах Антарктики был найден камень действительно марсианского происхождения. (Кстати, это исследование проводилось под большим секретом). Оповещая об открытии, ученые показали приглашенным специалистам снимки, сделанные с помощью электронного микроскопа. Увеличение достигало 10000 раз.

Изображение на экране выглядело как горный ландшафт - с расщелинами, бороздами и скалами. Но в этой картине были и малопонятные элементы, похожие на удлиненные яйца некоторых насекомых или гофрированные трубы. На другом кадре всю половину экрана заняла проекция сечения марсианской окаменелости (она в 100 раз меньше, чем сечение человеческого волоса). Выстроились шарообразные коричневые включения, которые оторочены черными и белыми минералами. Ученые обстреляли эти включения инфракрасным лазером. Они расплавились и выделили облачка – полициклические ароматические углеводороды. Эти же вещества выделяются при горении органических материалов, например свечей, но также и при сжигании останков бактерий.

То, что эти органические включения произошли не на Земле, а на Марсе, доказывает их местоположение: они внедрены в сердцевину марсианского камня. Современные земные бактерии могли бы попасть только на поверхность камня.

Белая и черная оторочка оказалась собранием сульфитов железа и кристаллов магнетита. Эти соединения, как бы окантовывающие бактерии, так незначительны, что на кончике иглы поместятся окантовки, собранные с миллиарда бактерий. Земные бактерии, как уже говорилось, окружают такие же выделения.

После этих удивительных открытий ученые НАСА просветили марсианский камень трансмиссионным электронным микроскопом. Этот прибор показал некоторые включения, которые свойственны примитивным земным бактериям. Таким образом, исследователи выделяют три основных признака:

1. Крошечные структуры, обнаруженные в марсианском камне, напоминают окаменевшие бактерии, находимые в земных горных породах. Возраст этих обитателей Земли - более трех миллиардов лет.

2. Окружают марсианские «бактерии» включения - магнетиты и сульфиты железа; точно так же окантованы и земные древние бактерии.

3. С помощью масс-спектрометра удалось распознать наличие в марсианских существах так называемых полиароматических углеводородов, которые присутствуют в скоплениях земных примитивных ископаемых.

«Каждое из этих доказательств, взятое в отдельности, может быть объяснено небιологическими причинами,- говорят авторы открытия в одной из публикаций, - но, рассматривая три факта вместе, мы получаем надежное доказательство того, что на молодом Марсе была жизнь».

Однако на этой сенсационной пресс-конференции раздавались не только восторженные слова сторонников жизни на Марсе, но и критические голоса. Одно из основных возражений: стенки клеток марсианских бактерий неразличимы. Другое замечание: включение углеродистых соединений возможно только при температуре не ниже 450°. Но при таком нагреве жизнь невозможна. Дебаты по этим и другим вопросам продлятся, наверное, долго. По крайней мере, НАСА планирует отправить космический аппарат на поверхность Марса. Он будет оснащен специально для поисков минувшей на Марсе жизни.

Николаев Г. Есть ли жизнь на Марсе? - Да. Была ...//Наука и жизнь.- 1996.-№12.-С.22-30.

Иммунная система клетки

Иммунология изучает иммунную систему живого организма и те субстанции биоорганического мира, которые нас окружают и на которые она реагирует, защищаясь. Совокупно все эти субстанции, будь то макромолекулы, вирусы, бактерии, клетки других организмов, называют единым понятием - антигены. Самая замечательная способность иммунной системы человека - способность распознавать бесчисленное множество даже минимально отличающихся друг от друга антигенов, запоминать хоть раз попавшую в организм чужеродную структуру и синтезировать против каждого из антигенов сугубо специфические молекулы - антитела, узнающие и нейтрализующие их.

Основные «действующие лица» иммунной системы - это костный мозг, тимус (вилочковая железа), селезенка, лимфатические узлы и циркулирующие по всему телу особые клетки. Главные из них - это *T*-лимфоциты тимуса и *B*-лимфоциты костного мозга, которые, в зависимости от фазы активности, имеют гладкую или ворсинчатую поверхность.

Цитоскопические *T*-лимфоциты, получившие название киллерных клеток, являются главным действующим агентом клеточной иммунной системы. Их основной мишенью являются клетки, зараженные вирусами. Гуморальная система защищает весь организм прежде всего от бактерий и токсичных веществ. Ее оружие - это антитела или иммуноглобулины, которые вырабатывают клетки *B*-лимфоциты. Каждая *B*-клетка синтезирует антитела одного определенного типа, распознающие определенный антиген. В организме человека имеются миллионы различных *B*-клеток.

На поверхности *T*-клеток расположены специфические рецепторы, очень похожие на антитела *B*-клеток. Эти рецепторы «распознают» антитела на поверхности чужих клеток - мишеней. Узнав свою мишень, киллерная

клетка прочно к ней прикрепляется. Этот тесный контакт активирует механизм уничтожения, но остается безопасным для оказавшихся рядом нормальных клеток.



Рис. 5.35. Схема процесса образования пор в мембране чужой клетки

Сравнительно недавно был выявлен сам механизм «убийства» клетки-мишени. Оказалось, что при связывании рецепторов T-лимфоцита с поверхностью мишени вызывает увеличение концентрации ионов кальция в цитоплазме лимфоцита и это активирует процесс экзоцитоза - к поверхности лимфоцита подходят везикулы (гранулы) с белком перфорином и опорожняют содержимое в небольшое пространство между клетками. В присутствии ионов кальция одиночные молекулы перфорины изменяют свою конфигурацию и проникают в мембрану клетки-мишени. Затем молекулы перфорины полимеризуются и образуют поры или мембранные каналы, которые могут пропускать воду и соли в клетку-мишень. В результате клетка разбухает и в конце концов разрывается.

Впоследствии установлено, что и гумморальная система защиты использует сходный механизм.

Что же защищает киллерную клетку от нее самой? Предполагается, что в мембране киллерного лимфоцита имеется специфический белок протектин, который похож на перфорины и избирательно связывается с молекулами перфорины, нарушая процесс полимеризации и предупреждая образование пор.

Джон Дин-Е Юн, Жанвиль А. Кон. Как клетки-убийцы убивают // В мире науки.-1988.-№3.-С.14-21.

Старение организма человека

В 1971 г. А. Орловский обратил внимание на роль так называемых теломер в хромосомах человека. Это концевые повторы нуклеотидов, обеспечивающие стабильность хромосом. Синтез теломер осуществляет специфический белок теломеразы, открытый в 1986 г. Большое количество теломеразы содержится в эмбриональных тканях. Это вполне понятно, ведь на эмбриональной стадии развития организма человека необходимо обеспечить повышенную стабильность хромосом! По теории А. Орловского о репликативном старении человека, с возрастом в клетках человека остается все меньше теломеразы и это приводит к нарушению стабильности хромосом. Следствием последующих процессов и является старение организма челове-

ка. Наоборот, стимулируя синтез теломеразы, возможно значительно увеличить период нормального гомеостаза клеток и всего организма в целом.

Горюнов И. Ключи от клетки //Поиск.-№12 (618).-30 марта 2001.-С.6.

Роль ферментов в синтезе белков

В последние годы установлено, что на рибосоме имеется два посадочных места - участок «узнавания» и участок «сброса груза». Участок узнавания доступен только тем тРНК (из множества подходящих в случайном тепловом движении), антикодон которых соответствует очередному кодону в цепи иРНК. После связывания совпавших «ключика» и «замочка» весь комплекс передвигается на участок освобождения от груза. Здесь энергетически выгодным становится освобождение доставленной аминокислоты от тРНК и переключение ее на рибосому. Освобожденная тРНК возвращается в цитоплазму, а в дело вступает белок-фермент синтетаза. Он ускоряет реакцию полимеризации - встраивание аминокислоты в цепь белка (пептида). Когда на иРНК появляется очередной «знак препинания» (он не является кодоном, хотя и представлен тройкой нуклеотидов), к такому «замку» не находится подходящих «ключей» и синтез белка завершается. Последняя доставленная к месту разгрузки аминокислота присоединяется с участием синтетазы к белку, и полипептидная цепь «отчаливает» от рибосомы.

Недавно установлено, что ген, получивший название *CHIP*, кодирует процесс фолдинга (укладки) некоторых белков в клетках организма человека. В присутствии гормонов стресса процесс укладки белковых цепей и образования ими вторичной структуры нарушается, они начинают закручиваться неправильно. При нарушении укладки отдельные участки протеинов склеиваются, от нарушения структуры меняется и функция белка, и накопление "неправильных" протеинов приводит к отравлению клеток организма человека.

Следует отметить, что и процесс «загрузки» транспортных тРНК аминокислотами ускоряется ферментами, называемыми кодазами. Число их типов равно числу типов тРНК.

Вирусы и лечение вирусных инфекций

Вирусы - паразиты клеток, вне клетки размножение вирусов не происходит. Вирусы бактерий называют бактериофагами, или просто фагами. Открыты в 1892 г. русским ученым Д.И. Ивановским.

Высказанное в 1945 г. Л.А. Зильбером (СССР) предположение о том, что превращение нормальных клеток в опухолевые обусловлено включением в геном клетки генетического материала вируса многие годы не принималось. Основным препятствием для такого включения считалось то обстоятельство, что геном многих онкогенных вирусов закодирован не в ДНК, как в

клетках человека, а в РНК. Было неясно: как же передается информация от РНК, если обычно в клетках она передается по схеме ДНК ⇒ РНК ⇒ белок, и как же РНК вируса может встраиваться в ДНК клетки?

В 1970 г. Темин и Балтимор (США) нашли внутри РНК-содержащих вирусов фермент «обратную транскриптазу» (в СССР академик Энгельгарт назвал ее «ревертазой»). Они показали, что с помощью этого фермента генетическая информация переписывается на промежуточную ДНК (называемую ДНК-транскрипт), которая затем и встраивается в нормальную ДНК клетки. За это открытие Темин и Балтимор получили Нобелевскую премию. Группа РНК-содержащих вирусов, имеющих тип превращений своего генома РНК ⇒ ДНК ⇒ РНК ⇒ белок, получила название ретровирусов.

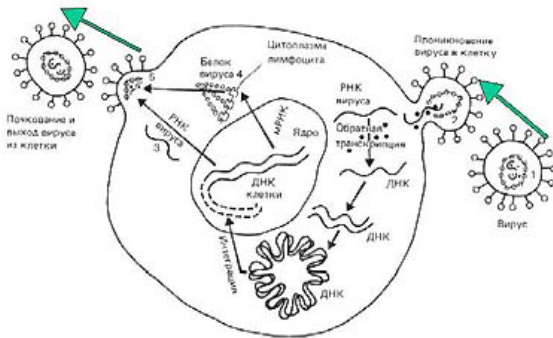


Рис. 5.36. Схема цикла размножения ретровируса

В 1980 г. в США был открыт первый ретровирус человека Т-клеточного лейкоза (Гало с коллегами назвали его *HTLV-1*). Позднее, в 1983 г., во Франции Монтанье, Шерман и Барре-Синуси открыли вирус СПИД (AIDS). Оба вируса относятся к семейству ретровирусов, но к разным подсемействам, вирус СПИД - к лентивирусам («ленти» - медленный).

Цикл размножения ретровирусов в клетке человека представлен на рисунке. Оболочка вируса прикрепляется к мембране клетки, своими белками образует канал в мембране и впрыскивает в цитоплазму клетки вирусную РНК и ревертазу. Здесь с помощью ревертазы синтезируется (копируется с заменой Урацил - Тимидин) ДНК-транскрипт. После нескольких стадий новая ДНК встраивается в ядре клетки в ДНК клетки-хозяина. На зараженной ДНК начинают синтезироваться РНК вируса (3) и матричные РНК, необходимые для синтеза белков сердцевины и оболочки вирусной частицы (4). По мере накопления в цитоплазме необходимых компонентов, происходит сборка вируса, его почкование и отрыв от клетки (5). Строе-

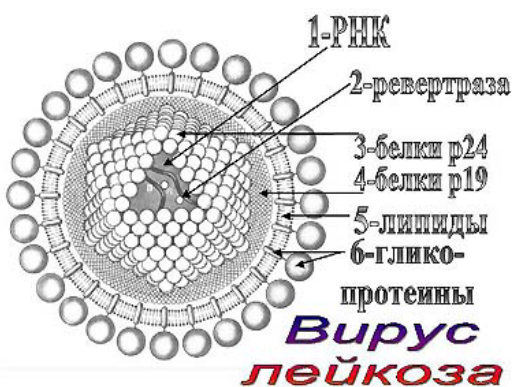


Рис. 5.37. Схеме строения вируса лейкоза

Рис. 5.37. Структура вируса лейкоза

Оболочка частицы (капсид) образована двойным слоем липидов, которые пронизаны гликопротеинами, состоящими из двух субъединиц разной молекулярной массы. Сердцевина содержит вирусную РНК и молекулы обратной

транскриптазы, окруженные слоями белков р24 и р19 (их молекулярная масса равна 24 и 19 килодальтон).

К настоящему времени с помощью рентгеноструктурного анализа построены компьютерные модели многих вирусных частиц (построение модели вируса полиомиелита заняло около пяти лет исследований).

Геометрическая форма вирусов близка к сферической или же проявляется многогранная поверхность, совмещающая в себе черты додекаэдра (грани - пятигранники, аналог - футбольный мяч) и икосаэдра (треугольные грани соединены в пятиреберные вершины). Стоит отметить, что симметрия пятого порядка не встречается в мире неживой природы. Изучение циклов воспроизводства вируса и его взаимодействия с клеткой-хозяином помогает выявить уязвимые места для лекарственного воздействия на вирусную инфекцию. В частности, таким местом может быть процесс репликации вирусной ДНК. Конечно, без знания структуры ДНК, химического состава и геометрической конфигурации ее элементов (нуклеотидов) прогресс в лечении вирусных заболеваний был бы невозможен.

В качестве прерывателей синтеза вирусной ДНК в последние годы были предложены вещества, являющиеся аналогами нуклеозидов (нуклеозиды-предшественники ДНК: нуклеотидом называют нуклеозиды с присоединенной к ним фосфатом). Подчеркнем отличия. В азидотимидине группа ОН заменена на группу из трех атомов азота, в других аналогах добавлен «лишний» гидроксил (рибавирин, видарабин) или его нет в обычном для нуклеозида месте (дидезоксицитидин).

При нормальном росте цепи ДНК 3'-ОН группа дезоксирибозы концевой нуклеотида цепи соединяется с помощью ДНК-полимеразы с фосфатным «хвостом» следующего нуклеотида. В присутствии аналогов процесс может пойти и по другому пути. А именно: ДНК-полимераза «ошибается» и связывает концевой нуклеотид с аналогом. Аналоги (как и ацикловир) не имеют ОН группы и поэтому к нему не может присоединиться следующий нуклеотид. Процесс роста цепи блокируется. Кроме того, вирусная ДНК-полимераза необратимо связывается с ацикловиром (или с аналогами) и не способна отцепиться и принять участие в синтезе вирусной ДНК в другом месте. Так что аналоги имеют двойное действие в эффекте подавления процесса размножения вируса в клетке.

Парфанович М.И., Тодд Ф. Еще один губительный вирус // Наука и человечество . - М.: Знание, 1990.- С. 247-253.

Хогл Дж.М., Чау М., Филмен Д.Дж. Структура вируса полиомиелита // В мире науки.-1987.-№5.-С.14-23.

Хириш М.С., Каплан Д.К. Лечение вирусных заболеваний// В мире науки.-1987.-№6.-С. 40-51.

Геном человека-сенсации 2001 года

В специальном выпуске Nature от 12 февраля 2001 г. и в специальном номере Science от 16 февраля 2001 г. содержатся результаты работ двух групп исследователей (руководители Крэг Вентер и Френсис Коллинз) по расшифровке генома человека.

Сюрприз первый:

Число генов в организме человека составляет около 30-35 тыс. (ранее считали его близким к 80 тыс.). Для сравнения - в геноме мухи дрозофилы имеется 13600 генов, у круглого червя нематоды - 19100 генов. Следовательно, по числу генов мы ушли не так уж далеко от простейших организмов, хотя считаем себя «царями природы» и «венцом эволюции». Подтверждено, что гены человека устроены таким образом, что не менее трети из них умеют кодировать в своей структуре не один белок, а несколько. Достигается это за счет того, что подавляющее большинство генов высших организмов, включая человека, состоят из мозаики кодирующих областей (их называют экзонами) и некодирующих вставок (интронов). Благодаря такому строению генов возникают огромные комбинаторные возможности, когда разные белки кодируются разными сочетаниями экзонов одного и того же гена. Поэтому старая классическая догма «один ген - один белок» справедлива только для определенной группы генов, а многие (возможно, большинство) гены кодируют семейство родственных, но существенно различных по свойствам белков, то есть действует принцип «Один ген - группа белков».

Сюрприз второй:

В геноме человека обнаружены свыше 200 генов, заимствованных нами у бактерий. Конечно, давно известно, что в нашем кишечнике живет много разных видов неболезнетворных бактерий, которые не только для нас не вредны, но, наоборот, полезны. Например, они служат поставщиками некоторых витаминов, которые наш организм не умеет синтезировать. По-видимому, наше длительное сожительство с бактериями привело к тому, что при некоторых случайных заболеваниях гены бактерий попали в геном человека и там закрепились. Такого рода перенос генов «по горизонтали» был известен для бактерий. То, что он столь масштабно выражен между геномом человека и геномом бактерий, безусловно, новость и неожиданность.

Сюрприз третий:

Геном человека оказался «молекулярным кладбищем». Давно известны так называемые интегративные инфекции, при которых геном вируса встраивается в геном хозяина и там остается навсегда. ... Такой же процесс интеграции геномов вируса и клетки происходит у человека при гепатите В, при некоторых видах папиллом и рака шейки матки.

Следы внутригеномных (эндогенных) вирусов находили в геномах высших организмов давно, но у человека на их долю приходится заметная

доля всего генома! Это следы вирусных заболеваний, которыми болели наши пращуры миллионы лет назад. На геномном кладбище большинство вирусных генов «молчит», не функционирует, однако при некоторых воздействиях на геном они могут «ожить» и внести неразбериху в стройные генные ансамбли, то есть представляют потенциальную опасность. С другой стороны, от этих молекулярных останков может быть и потенциальная польза как от неких «заготовок», которые можно привлечь в случае необходимости при лечении «ран», которые может получить геном, и для использования в ходе эволюции.

Сюрприз четвертый:

Те примерно 32 000 генов, которые удалось на сегодняшний день идентифицировать в геноме, составляют только 5% по объему, а 95% приходится на то, что называют (пока) «мусором» - повторы разных типов, испорченные гены (псевдогены), молекулярные останки вирусов, перемещающиеся геномные элементы и т.п. Полученную цифру - 19/20 от всего генома - можно считать определенным сюрпризом. Такого геномного мусора нет ни у бактерий, ни у дрожжей. Что это значит? Или мы должны признать, что наш геном, в отличие от геномов примитивных организмов, не умеет выводить «мусор», или что это совсем не «мусор», а ценное эволюционное приобретение, которое дало человеку некие преимущества. Поэтому и эволюция от такого «мусора» не спешит избавиться.

Теперь изучение генов и генома получило прочную молекулярную основу, химический базис. Поэтому можно ожидать очень быстрого прогресса в этой области, которую специалисты называют функциональной геномикой. На ближайшие 20 лет это будет основной путь развития новой биологии, которая будет бесспорным лидером в естествознании первой четверти нового века.

Киселев Л. Приступить к опознанию. Расшифровка генома человека преподносит сюрпризы // Поиск. - 2001. - №8 (614). 23 февраля.

Сталь Ф.У. Генетическая рекомбинация// В мире науки.- 1987.-№4.- С.30-42.

6. ЭВОЛЮЦИЯ БИОСФЕРЫ

6.1. Неизбежность развития



Рис. 6.1. Цепь эволюции млекопитающих

В гл. 2 мы говорили о многозначности понятия движения (объектов и состояний, частиц и полей). Применительно к живому веществу планеты – биосфере – движение принимает форму развития, то есть последовательного, закономерного и необратимого взаимодействия, приводящего к появлению организмов с более сложным химическим составом и структурой, с новыми функциональными возможностями. Развитие от существующего к возникающему является основой эволюции, хотя по-

следняя включает в себя также возвратные формы и тупиковые ответвления.

Что является движущей силой развития биосферы? Мы можем сделать эмпирическое обобщение: развитие определяется стремлением живых организмов к ускорению обмена веществ для более быстрого роста и воспроизводства себе подобных (хотя слово «стремление» в данном контексте выглядит несколько «очеловеченным», по отношению к простейшим организмам). У подвижных одноклеточных организмов обмен идет интенсивнее, чем у неподвижных, поэтому неизбежно появление механически активных одноклеточных организмов. Точно также неизбежно деление клеток, а это уже принципиальное изменение - появление многоклеточных организмов. Следующим шагом в повышении эффективности обмена веществ является образование органов обмена веществ.

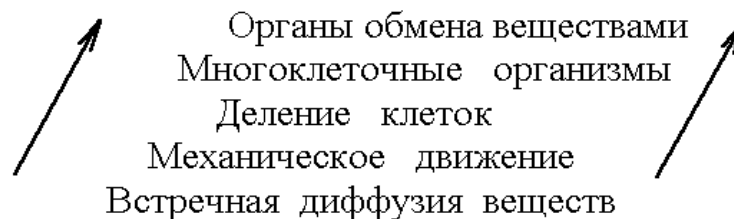


Рис. 6.2. Схема этапов усложнения процессов обмена веществами

Каждая более высокая ступень организации процессов обмена веществами имеет объективные предпосылки в предшествующей, каждый этап становления объективно неизбежен.

У растений органами обмена веществами являются корни и листья, в последних идет процесс фотосинтеза биомассы. У насекомых нет необходи-

мости в органах фотосинтеза, зато у них появляются органы пищеварения растений, органы поиска и различения растений, органы ориентации в пространстве и другие. В царстве животных главным для эволюции становятся органы, которые напрямую не связаны с обменом веществ (питанием). Это органы восприятия и переработки информации. Можно говорить об изменении приоритетов в филогенезе (развитии живых организмов): ведущим фактором становится развитие нервной системы и ее центра - мозга. В конечном счете развитие мозга, совершенствование его, зарождение интеллекта дает большую эффективность в эволюции, чем простой поиск пищевых и других ресурсов для живых организмов.

Таким образом, если на планете возникла Жизнь, то её развитие неизбежно приводит к возникновению многоклеточных организмов с развитой нервной системой, на этой базе возникает Разум в конкретном воплощении Человека разумного - *Homo sapiens*.

Проблема возникновения популяции (популяций) *Homo sapiens* как биологического вида сложна и не имеет однозначного объяснения или простой схемы перехода от человека-животного к тому, что мы сейчас понимаем под человеком разумным. С достаточной долей уверенности мы можем назвать ряд факторов, которые способствовали становлению человека, его выделению в царстве животных.

1. Разнообразное питание, как растительной, так и животной пищей (без «привязки» к конкретным источникам пищи) и развитие соответствующих органов пищеварения.

2. Разнообразная среда обитания, в которой нужно многое предвидеть и на многое реагировать нестандартно, нагружая клетки мозга, что вызывает их развитие (см. выше о реакции клеток на стресс).

3. Изменение репродуктивной стратегии вида - от сезонного брачного периода к его продлению на весь год, к увеличению периода вынашивания плода и его последующего обучения (до четверти жизни!).

4. Жизнь в сложно построенной группе: формирование первобытной стаи, в рамках которой возникает иерархия (соподчинение) особей, появление зачатков социально значимых ролей в стае, развитие инстинкта до защиты рода и сохранения вида.

5. Использование инструментов, совершенствование моторного, двигательного интеллекта, изобретение необходимых приспособлений, обработка материалов и приготовление пищи на огне. Разделение трудовых обязанностей и функций в стае (собирачество, охота, строительство, поддержание огня, знахарство и так далее).

6. Развитие знаковых и звуковых систем обмена информацией: от позы животного к жесту и мимике, к становлению речи как средства общения, передачи информации и обучения.

Речь позволила много эффективнее обучать, накапливать устную информацию и передавать её из поколения в поколение во все возрастающем

объеме. Язык речевых символов оказался гораздо удобнее для мозга, чем внеречевое мышление, общее с животными. Постепенно ценность накопленной речевой информации стала важнее информации, передаваемой генетически. В результате успех особи, группы, популяции у человека стал зависеть не столько от совершенствования генов, сколько от уровня и характера знаний людей. На этом принципиально важном этапе человек стал выходить из-под контроля естественного стихийного отбора.

Для понимания долгого, извилистого и во многом случайного пути, который выделил одну из линий человекообразных существ над остальными, необходим учет всего комплекса вышеприведенных факторов. Среди них, с точки зрения важной роли информации в развитии человека главным является становление речи. Она сделала человека умелого человеком разумным.

Следует отметить, что биологическая эволюция от обезьяны к человеку была исключительно быстрой и далеко не прямой. Естественный отбор «решал» множество задач и не все решения были удачными. При этом в самый разгар биологической эволюции человек в значительной мере вышел из-под влияния естественного отбора, можно думать, что не вполне сформированным, со многими чертами, оставшимися от животного, такими, как агрессивность, стремление доминировать над более слабыми, и другими инстинктами. Так что быстрый прогресс имел и негативные последствия.

Современный человек во многом вышел из-под контроля естественного отбора, отбор теперь частично проявляется через возникновение таких болезней, которые затрагивают не отдельные органы, а целые системы управ-



Рис. 6.3. Возможный результат эволюции Homo Sapiens

ления здоровьем (например - иммунную). Не исключаются действие долговременных факторов внешней среды на генетическую память, передача биологических "изобретений" (белков, ферментов, фрагментов генного аппарата) в трофических цепях и влияние кризисных ситуаций в биосфере на образование новых эволюционных ветвей.

Учитывая это, можно (вслед за В. Дольником [9]) сказать: «Человек - непослушное дитя биосферы!»

6.2. Концепции эволюции

Обычным стереотипом является связывание концепции эволюции только с именем Ч. Дарвина, благодаря запоминающемуся выводу о близости биологических «корней» человека и человекообразных обезьян. В вульгарном толковании общность ветви приматов (существовавшая около 45 млн. лет назад) и её разделение на группы и виды (разделение гориллы, шимпанзе

и человека датируется 10 млн. лет тому назад) сводится к прямому генетическому происхождению «человека от обезьяны». Неверны оба стереотипа.

6.2.1. Концепция Ламарка

Первая научная классификация в зоологии была предложена К. Линнеем (1707-1778), на её базе Ж.-Б. Ламарк разработал свою концепцию эволюции, основанную на двух принципиальных положениях. Во-первых, все существа в течение их жизни *приспосабливаются* к среде обитания. В ходе этого процесса изменяются его поведение, физические параметры и организм приобретает новые признаки фенотипа. Во-вторых, приобретенные признаки и свойства (поведение) *передаются по наследству* потомкам. Оба фактора, по мнению Ламарка, действуют как проявление всеобщего внутренне присущего «*стремления к усовершенствованию*». По данной концепции движущие силы развития заложены «внутри» живых организмов, и это можно было совместить с христианской версией сотворения мира: стремление к самоусовершенствованию есть проявление части «святого духа» Творца.



Ж.-Б. Ламарк
(1744-1829)

Если первое положение основано на данных палеонтологии и является обобщением «опытов» природы, то второе сформулировано, скорее, как интуитивно очевидное и в экспериментах не подтверждено. Хотя и были попытки не только акклиматизации растений по Мичурину или Лысенко, но и в опытах по отрезанию хвостов у 20 поколений лабораторных белых мышей. Подтверждения факту передачи информации от фенотипа к генотипу не было получено, тогда как обратная передача (с учетом мутаций) является экспериментальным фактом и возведена в центральную догму, подобно тому, как ещё лет 20 назад центральной догмой молекулярной биологии было признание передачи наследственной информации только в одном направ-

лении - от ДНК к РНК. Открытие обратной транскрипции эту догму разрушило.

Что касается внутреннего стремления к усовершенствованию, то в современном философском течении номогенеза также постулируется универсальное стремление к высшему состоянию, по терминологии Т. де Шардена - это «точка Омега» (по названию последней буквы греческого алфавита). «Точка Омега» выступает в качестве некоего мегааттрактора развития биосферы и человека, подобно тому, как поток галактик направлен к Великому аттрактору (природа которого пока не выяснена). В какой-то мере коммунизм К. Маркса тоже считался «точкой Омега» социального развития человеческого общества.

6.2.2. Концепция Дарвина

Отличительными чертами концепции эволюции по Дарвину являются другие положения. Первое: отсутствие конечной цели, специальной предназначенности или финала развития биосферы и развития вообще как атрибута движения материи. Отсутствие направленности к определенной (изнутри или извне) цели не означает отсутствие проявлений изменчивости, сходных феноменологически с направленностью, создающих впечатление направленности эволюции от низших форм к высшим. Второе и основное в концепции: в создание генетической информации (которая будет закреплена в потомстве) дают вклады два процесса.



Ч. Дарвин
(1809-1882)

1. Процесс случайных, хаотических, непредвиденных мутаций (в том числе рекомбинаций и горизонтального переноса генов между различными организмами) на уровне молекул ДНК и (или) РНК. Этот процесс «внутренний» для организма.

2. Естественный отбор на уровне организмов и их популяций как «внешний» процесс адаптации биологического вида к изменяющейся внешней среде.

3. Приобретенные в результате онтогенеза индивидуальные макросвойства и признаки на молекулярный уровень ДНК или РНК данного организма не передаются.

4. По классической теории Ч. Дарвина эволюционный процесс идет от микроуровня к макроуровню: мутации генетического кода, изменчивость отдельных многочисленных особей - выживание наиболее приспособленных, постепенное изменение видов и, наконец, постепенное изменение сообществ и всей биосферы без каких-либо катастрофических скачков или «взрывов» новообразований.

Иначе говоря, по Дарвину эволюция - это постепенность и первичными являются внутренние причины, внешние воздействия если и сказываются, то через вещества - мутагенты химической или физической (радиация) природы. На современном этапе развития естествознания концепция Ч. Дарвина не считается исчерпывающей. Вызывают возражение несколько моментов, которые мы рассмотрим ниже.

6.2.3. Случайна ли эволюция?

Генотип по определению содержит информацию о структуре и врожденном поведении организма, записанную в молекулах ДНК (или РНК - у вирусов) с помощью «четырёхбуквенного алфавита». Исходя из того, что любой осмысленный генетический текст возник в конечном счете в результате серий случайных перестановок азотистых оснований - букв генетического алфавита, можно оценить вероятность возникновения смысла в тексте.

Слово, представленное всего лишь одним геном, содержит, по порядку величины, 1000 букв. ДНК хромосомы, состоящей из тысяч генов, содержит уже 10^6 букв. Число случайных комбинаций из 4 букв составляет для гена 41000, для одной хромосомы это будет уже 101000000, примерно столько проб надо сделать чисто механически, чтобы реализовать нужную комбинацию [10]. Это число настолько велико, что времени существования Вселенной недостаточно даже при очень большой скорости испытаний. Фактически это означает нулевую вероятность случайного возникновения хромосом, то есть генетической информации. Из неслучайного характера возникновения воспроизводимой жизни проповедники христианства делают вывод, что «наука доказала» необходимость Творца. Автор сам вынимал из почтового ящика письменные призывы к Вере с такими утверждениями и ссылками на подобные расчеты.

Однако приведенные оценки не учитывают один существенный феномен природы, исследование которого проводятся последние годы. Речь идет о явлениях самоорганизации даже в неорганических, неживых системах химических веществ, когда они находятся вдали от равновесия. При определенных условиях в таких системах спонтанно, самопроизвольно устанавливаются элементы достаточно высокого порядка вместо хаоса. В качестве примера можно привести эффект Бенара - возникновение гексагональных ячеек в плоском слое при градиенте температуры на его границах. Тем более процессы появления самопроизвольного порядка (самоусовершенствования) возможны в биологических веществах, способных поддерживать гомеостаз при общем термодинамическом стремлении к разупорядочению.

6.2.4. Геобиологические циклы

Другое возражение связано с постулатом о плавном течении эволюции и неприятием концепцией эволюции по Дарвину возможности приема потока информации генетическим аппаратом организмов с уровня макромира (сверху вниз).

Одна из новых гипотез эволюции [11] допускает такую возможность. В этом варианте процессы могут протекать по схеме: изменение формы Земли (сопровожаемое движениями земной коры, неустойчивостью магнитного и электромагнитного полей, а также климата), реконструкция биосферы (сопровожаемая упрощением структуры биологических сообществ-биоценозов, вымиранием части организмов и видов), развитие новых приспособительных механизмов на основе резких смещений в развитии органов, заполнение вакантных экологических ниш, использование мутаций, видообразование, закрепление информации о сдвигах в генетической памяти.

Периодические вариации скорости вращения Земли, изменения наклона плоскости орбиты и так далее не могут не влиять на магнитное поле и фигуру Земли, кора которой приспособляется к новой форме подвижками

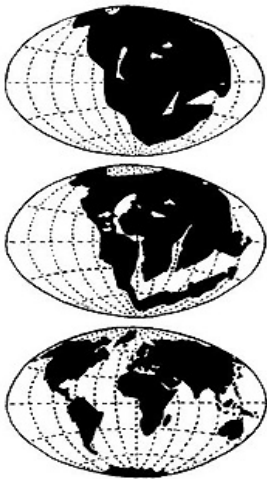


Рис. 6.4. Изменение формы континентов

литосферных плит. Совместное действие космических и геологических сил вызывает изменение климата. То, что происходило 100 млн. лет назад (опускание континентов, теплый климат, рост биомассы и разнообразия организмов) и 65 млн. лет назад (поднятие континентов, похолодание, падение продуктивности живой массы и сокращение разнообразия организмов) можно считать циклическими изменениями, происходящими многократно с момента образования континентов.

Но эта цикличность сложная, на нее влияют

галактический год (180 млн. лет) и самые короткие циклы от полумиллиона лет до 20 тыс. лет - циклы прецессии земной оси. Может быть циклически и эволюция биосферы?

В периоды заметно переменных геоклиматических условий биосфера приходит в состояние, далекое от равновесия, когда вымирают многие виды. Вымирание ослабляет конкуренцию, борьба за место под солнцем отступает на второй план, в целом для биосферы важно ускорить развитие новых видов и приступить к их размножению. В такие периоды возникают необычные признаки и свойства, носители которых в спокойном периоде были бы нежизнеспособными «уродами». Но теперь некоторые отклонения от нормы должны быть подхвачены естественным отбором, это даст шанс формам, потенциально способным дать начало новым эволюционным ветвям. Циклические изменения в геобиологической системе стимулируют ход эволюции.

Если сделать предположение о том, что с некоторой конечной вероятностью фенотип влияет на генотип (информация передается с макроуровня на микроуровень), то можно сделать оценки времени генерации одного гена от достигнутого сейчас генофонда. Разделим время существования биосферы на число генов человека: у человека примерно 10^6 генов, созданных всеми его предшественниками для него, время существования биосферы 10^9 лет. Грубая прикидка порядков величин приводит к оценке, равной одному гену за 1000 лет для организма типа человека, как бы живущего все это время. Если же учесть различные расы (то есть примерно 10 версий каждого гена) и что в течение всего периода существования биосферы гены производили по оценкам 10^9 различных организмов от клетки до человека, то величина скорости генерации генов будет порядка 10^{11} ген/организм/год. Средний период производства нового гена одним организмом средней сложности (между человеком и одноклеточной бактерией) будет равен 10^{11} лет, что больше времени существования биосферы.

Ясно, что данная оценка завышена. Но даже заниженная оценка в 1000 лет показывает, что экспериментально, наблюдательно проследить процесс

ввода информации от фенотипа к генотипу практически очень трудно, слишком велик период передачи воздействий. По-видимому, так и должно быть, генетическая память обязана быть консервативной. Только долговременно действующие внешние условия могут найти в ней отражение, но не сиюминутные. *За время геобиологических циклов такое становится возможным.*

6.2.5. Трофический перенос информации

Еще один путь в буквальном смысле усвоения некоторой части информации с пищей обсуждается в литературе [12]. Если некоторая информация записана на какой-то молекулярной структуре, то может ли эта структура быть усвоена без диссимиляции, целиком? Или быть частично сохраненной после некоторого разрушения в органах пищеварения?

По-видимому, принципиального запрета нет. Известно, что РНК вирусов может проникать с пищей в организм с сохранением своей активности. Есть случаи так называемого клептогенеза, когда животное целиком использует целые органы от других животных, послуживших ему пищей. Например, стрекальные капсулы - оружие ресничных червей - происходят не из клеток их тела, а целиком "крадутся" у гидроидов, которыми ресничные черви питаются.

Во время работы в Конакрийском университете (Республика Гвинея) автору пришлось услышать от одного из студентов сожаление о невозможности «съесть Ваш мозг, месье». Зачем? «Чтоб стать таким же умным, как Вы, месье». Тогда это показалось диким суеверием...

Если бы знания передавались так просто!

6.3. Составляющие биосферы

Можно выделить три оболочки Земли: атмосферу, гидросферу и литосферу. Они определяют три сферы жизни, три среды обитания разнообразных организмов. В зависимости от среды обитания (или нескольких сред) в процессе эволюции организмами была выработана специфичная форма тела, органы передвижения, газообмена, способы размножения и так далее. Живые организмы приспособились к оболочкам Земли, но они их значительно изменили.

Достаточно сравнить составы первичной и современной атмосфер по кислороду, например. В первичной атмосфере кислород почти отсутствовал, теперь же его относительное содержание достигает 23%. Весь имеющийся в настоящее время атмосферный кислород появился в результате жизнедеятельности растений. Они же поглотили громадное количество углекислого газа. Вся почва обязана своим происхождением живым организмам, ряд месторождений полезных ископаемых (меловые отложения, уголь, нефть и другие) появились при участии растений, бактерий и простейших организмов. Коралловые рифы в океане созданы морскими губками и кораллами. Поэто-

му современная геобиосфера - это и среда жизни, и результат жизнедеятельности. Появление Жизни начинает менять эволюцию планеты.

Специфической особенностью биосферы является биогенный, то есть связанный с жизнедеятельностью живых организмов, круговорот веществ, в котором они (организмы) связаны в трофические сети (цепи потребления пищи). Здесь каждый вид использует определенные источники питания и вместе с тем сам служит пищевым объектом. Источники питания, количество, свойства и доступность пищи в значительной мере лимитируют распределение и численность любой популяции и во многом определяют её эволюционную судьбу.

По оценкам ряда ученых, ежегодно в биосфере образуется примерно 230 млрд. т органического вещества. В большинстве случаев в каждом следующем звене трофической цепи биомасса организмов уменьшается на один порядок величины. Пока организм живет, он поддерживает гомеостаз "вопреки" законам неорганического мира. Погасла жизнь организма (от примитивной амобы до млекопитающего), и начинаются неотвратимые физико-химические процессы распада. Чтобы быть устойчивым явлением планетарного масштаба, Жизнь объективно требует разнообразия видов организмов, разнообразия форм и уровней живой природы. На это обращал особое внимание геохимик В.И. Вернадский.

В чем биологическая роль разнообразия? Представим себе, что вся жизнь представлена единственным видом, нашедшим себе подходящий источник полезных для его жизни и поддерживающих её каких-то веществ. Поскольку ресурсы планеты физически ограничены, рано или поздно этот вид извлечет, исчерпает свой источник питания, а в окружающую среду выделит горы отходов жизнедеятельности. На чем всё и закончится. Поэтому равновесие между синтезом и распадом живого вещества является необходимым условием устойчивой жизни как биосферы Земли.



Рис. 6.5. Три компонента биосферы

Три экологических категории организмов должны быть представлены в устойчивой биосфере.

Продуценты, как правило, *аутотрофы*, то есть сами себя обеспечивают пищей. Это в первую очередь водоросли и растения, они используют внешние источники энергии (солнечную, геотермальную) и минеральных веществ для построения

своих организмов. Процессы их жизни идут с накоплением рассеянного вещества и концентрацией превращенной энергии солнца или тепла Земли в химическую энергию биомассы.

Консументы - потребители, они используют по большей части уже произведенную органику, то есть растения, насекомых, животных. В своих

клетках они преобразуют старые и создают новые органические вещества (белки, липиды, ферменты и другие), а в окружающую среду выделяют шлаки.

Редуценты необходимы для обратного процесса - деполимеризации белков и других сложных по структуре и составу органических соединений в более простые формы, которые могут быть использованы продуцентами наряду с неорганическими материалами.

Несколько отвлекаясь, можно сказать, что приведенная триада Продуценты- Консументы - Редуценты фактически соответствует триадам богов Созидания - Существования - Разрушения.

Иногда экологи говорят, что в живой природе утилизируется всё, что экологические системы безотходны. Это явное преувеличение, при "стопроцентной" утилизации не сформировались бы почвы, не отлагались бы трофы. Мелы, известняки, мраморы, сланцы, уголь и нефть - это вещества, вышедшие из циклов обмена за предыдущие эпохи существования биосферы. По-видимому, главное не в том, чтобы не было вообще отходов, а в том, чтобы они были в такой форме введены в природу, в которой они оказывают наименьшее действие на составляющие биосферы. Реальными зонами, в которых происходит биогенный круговорот веществ, являются биоценозы или экосистемы.

Биоценозом называют совокупность (набор) разных видов организмов, которые сосуществуют в данных географических и климатических условиях.

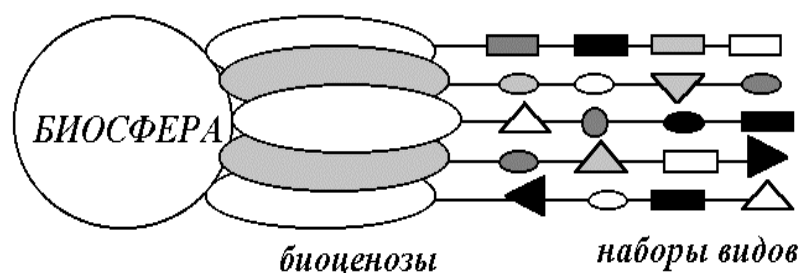


Рис. 6.6. Структурные составляющие биосферы

Разнообразию географических условий Земли соответствуют различные биоценозы, с различными или похожими видовыми составами организмов. В каждом из биоценозов существуют вариации видов в пределах биологических родов, в процессах конкуренции за пищевые ресурсы это обеспечивает как внутривидовой естественный отбор, так и межвидовой. Одновременно это обеспечивает устойчивость биоценоза: если что-то случится с одним из видов и он исчезнет, его место займет близкородственный.

Множество биоценозов - тоже гарантия устойчивости на уровне всей биосферы. Геологические или климатические катастрофические изменения могут вывести из строя один или несколько из миллионов биоценозов, но биофонд будет сохранен в других, это поддержит круговорот органических веществ и поможет восстановить со временем равновесие. Вообще, в послед-

ние годы все большее число естественников приходит к признанию *принципа минимально необходимого разнообразия* в каждой из экосистем (на уровне биоценозов и на уровне всей биосферы). Если число видов в биоценозе становится меньше минимально необходимого, то природное равновесие нарушится с далеко идущими последствиями.

Каждая экосистема представляет из себя весьма сложную по взаимосвязям организмов систему. Оценка сложности по количеству информации, необходимой для её описания, дает примерно следующие цифры: для простейшего вида и его среды обитания требуется 10^{60} бит информации, сложность человеческого организма оценивается как 10^{1000} бит информации!

Считать, что мы уже разобрались с вопросом о «вредных» и «полезных» организмах в биоценозах, которые нас окружают в природе, нет достаточных оснований. По-видимому, нет абсолютно вредных, как и абсолютно полезных, животных, птиц, насекомых и бактерий. Все определяется количественной соразмерностью составляющих элементов, то есть оптимальностью экосистемы, которая поддерживается в биосфере естественным путем. Замена биосферы подобной искусственной средой, управляемой техническими средствами, представляется утопией: просто слишком велик тот объем информации, который потребуется перерабатывать одновременно.

Важно ещё отметить вот что: любая система развивается за счет окружающей её среды. Выше отмечалось, что в основе биосферы находятся продуценты - растения. Они используют энергию, источником которой является космическая среда - солнечная система. Генофонд растений является бесценным достоянием не отдельной республики или союза государств, а всего настоящего и будущего человечества. Поэтому сохранение эндемиков растительного мира - не прихоть ботаников, это забота о сохранении генофонда базиса биоценозов и биосферы.

6.4. Адаптация популяций в биоценозах

Популяцией называют совокупность особей данного вида, занимающих вполне определенную территорию. Взаимоотношения видов в биоценозах идут на уровне популяций, то есть с большим количеством участников. В результате многолетней совместной эволюции продуценты-консументы-редуценты «притерлись» друг к другу.

6.4.1. Адаптация на молекулярном уровне

Парадоксально, но факт: любой вид приспособливается как к определенному источнику питания, так и к тому, чтобы самому быть съеденным. Первая часть утверждения очевидна, вторая же может показаться невероятной. Приспособливаться к тому, чтобы обладать трофичностью, способностью быть ассимилированным многими другими организмами? Зачем!?

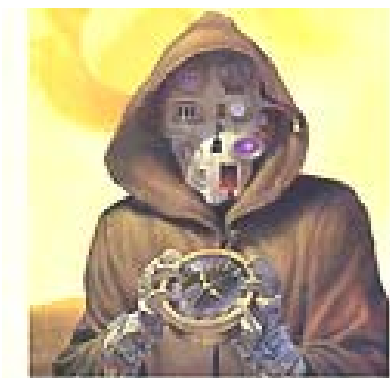


Рис. 6.7. Аллегория
Смерти

Здесь мы касаемся биологической роли смерти. Короткоживущие организмы быстрее эволюционируют, за то же время у них происходит смена многих поколений, чем у долголетних видов. Поэтому роль смерти - роль косца на лугу, не зря её изображают с косой; она освобождает место под Солнцем для новых вариантов, появляющихся с новыми поколениями даже устоявшихся видов. Если Смерть в природе необходима, так она должна сопровождаться наибольшей пользой для всех составляющих.

Чтобы не быть голословным, приведем один «пищеварительный» эффект, обнаруженный более 20 лет назад [12]. Речь идет о переваривании жертвы-животного своими же клеточными ферментами, о самопереваривании, индуцированном влиянием желудочных соков животного-хищника. Как удав переваривает так эффективно целиком заглощенного кролика, ведь поверхность контакта жертвы с ферментами желудка змеи сравнительно мала?

Оказалось, что главная роль в данном случае принадлежит клеточным лизосомам самого кролика. Индуцирующее воздействие создает соляная кислота желудка удава. Она проникает в клетки и разрушает оболочку лизосом, выпуская на свободу в цитоплазму ферменты – гидролазы (энзимы), разрушающие белковые структуры клетки. Фактически жертва переваривается собственными ферментами и затем усваивается организмом хищника. В клетках не только животных, но и растений содержатся вещества, опасные для их жизни! Такова приспособленность к трофической цепи на молекулярном уровне.

6.4.2. Адаптация «хищник – жертва»

На организменном уровне так же проявляются определенные закономерности. Образно говоря, жертва не должна убегать всегда слишком быстро от хищника, а он не должен слишком легко добывать жертву. В этом случае возможна определенная средняя стабильность численности популяции за счет того, что хищники будут питаться преимущественно больными, дефектными и постаревшими особями популяции. Завышенное совершенствование жертвы может привести к вымиранию хищников и к ухудшению качества популяции из-за отсутствия контроля со стороны хищника. С другой стороны, совершенствование хищника не должно приводить к полному исчезновению популяции жертвы, иначе популяция хищников сама себя обречет на вымирание. Обычно уровень плодовитости (воспроизводства) видов-жертв эволюционно подстраивается так, чтобы «учитывался» фактор гибели части популяции от хищников. В итоге адаптационных взаимоотношений устанавливается некоторый цикл количественных изменений как жертв, так и хищников.

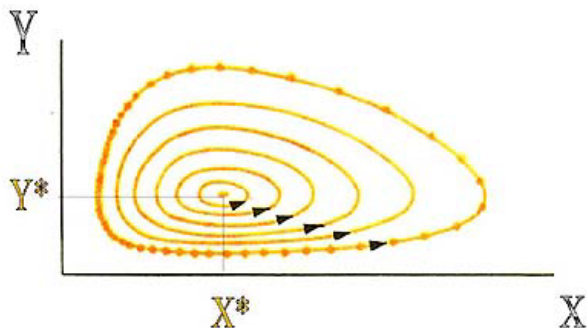


Рис. 6.8. Фазовый портрет динамики популяций волков и зайцев

С математической точки зрения описание системы «хищник – жертва» аналогично описанию химических реакций с участием двух реагентов. В 1931 г. В. Вольтерра рассмотрел следующую модель популяций волков и зайцев. Пусть в замкнутом районе (биоценозе) живут зайцы и волки. Зайцы питаются растениями, и их кормовая база всегда достаточная. Кормовой базой волков являются исклю-

чительно зайцы, без них волки вымирают. Зайцы воспроизводятся со скоростью, пропорциональной их числу (или половине их числа, что роли не играет); убыль численности зайцев пропорциональна произведению их численности на численность врагов-волков.

Рост количества волков определяется убылью зайцев и тоже пропорционален произведению численностей двух популяций, а убыль пропорциональна общей численности популяции волков: чем она выше, тем хуже для отдельного волка (ему меньше достанется или при встрече конкурентов одному из них будет нанесен урон: по условию волки друг друга не едят!). При таких граничных условиях получается следующая система дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned} dX / dt &= X(C_x - \gamma Y) \\ dY / dt &= Y(\gamma X - C_y), \end{aligned} \tag{6.1}$$

где X и Y - количество зайцев и волков, соответственно; C_x - константа рождаемости зайцев; C_y - константа смертности волков; γ - константа взаимодействия (встреч) волков и зайцев.

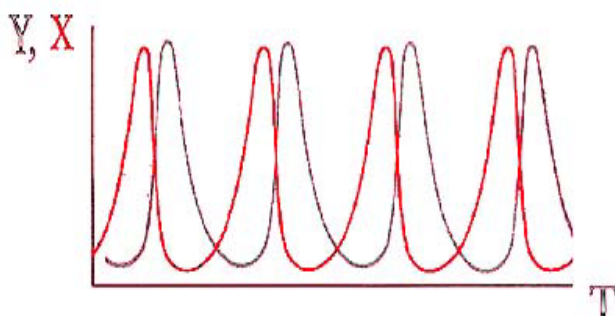


Рис. 6.9. Периодические изменения численности популяций

Точного аналитического решения система (6.1) не имеет, разработаны методы качественного математического анализа уравнений Вольтерра. Прежде всего, просто найти стационарные значения численности популяций, когда производные в левых частях уравнений равны нулю: $X^* = C_y / \gamma$; $Y^* = C_x / \gamma$. Так как все параметры положительны, особая точка стационарного состояния лежит в пра-

вом квадранте фазовой плоскости популяций, то есть плоскости с осями координат: X - численность популяции зайцев, Y - численность популяции волков.

Численность как волков, так и зайцев будет периодически изменяться. Фазовые портреты периодических процессов Вы будете изучать в компьютерном лабораторном практикуме, поэтому здесь мы отметим только, что для гармонических колебаний фазовые портреты представляют собой концентрические окружности или концентрические эллипсы, если же колебания каких-либо величин негармонические, то и форма фазового портрета будет более сложной и менее симметричной. В данном случае фазовые траектории колебательных изменений численности популяций оказываются более или менее симметричными в окрестностях особой точки, а вдали от неё фазовые траектории остаются замкнутыми, но форма их отличается от эллипсоидальной.

Это значит, что графики изменения во времени численности популяций будут заметно отличаться от привычных синусоид, хотя и оставаться периодическими. Обе кривые имеют примерно одинаковый период изменения, и, что характерно, максимум численности жертв всегда опережает максимум численности хищников. Это понятно и качественно: когда жертв много, численность хищников начинает расти с высокой производной, то есть с высокой крутизной кривой численности хищников. Последние некоторое время продолжают интенсивно размножаться, пока падение «кормовой базы» не ограничит кривую численности хищников. При малом количестве хищников кривая жертв начинает быстро расти, и цикл повторяется.

Конечно, реальные статистические данные по заготовке шкурок зайца и рыси в Канаде, например, показывают наличие случайных отклонений, но в целом приведенная модель взаимоотношений в популяциях подтверждается достаточно достоверно.

В условиях кризисов начинают действовать такие механизмы адаптации к изменившимся внезапно условиям, которые в спокойных условиях не проявляются, скрыты.

6.4.3. Адаптация к условиям кризисов

Для любой популяции периоды затяжных минимумов численности, равно как и периоды перенаселения, являются кризисными. Если популяция на грани уничтожения, то включаются клеточные механизмы выработки повышенного количества половых гормонов, резко возрастает плодовитость самок, выше обычного для данного вида. Это направлено на скорейшее восстановление популяции.

Наоборот, в условиях перепроизводства и тесноты на освоенной территории возникает ситуация стресса. В таких экстремальных условиях, как правило, возрастает агрессивность и увеличивается гибель от особей своего вида: от ран например, полученных при конфликтах. Во-вторых, в условиях кризиса резко снижается коэффициент воспроизводства вида, так как уменьшается плодовитость самок и потомство появляется с отклонениями от нор-

мы. В опытах на животных (лабораторные мыши) установлено, что в условиях стресса замедляется половое созревание и многие особи сохраняют тип поведения, характерный для детского периода, то есть они не устраивают гнезда, у них не наступает брачный период и так далее. Обычно в условиях кризиса перенаселения снижается устойчивость к болезням, иногда возникают случаи массовой миграции, самый яркий пример тому - миграция северных полевых мышей - леммингов. Биологическая цель таких механизмов - освободить место для следующего поколения за счет повышенной смертности старшего поколения и меньшего вызревания младшего.

Биологическая роль «притертости» взаимоотношений «жертва – хищник» состоит в недопущении или смягчении кризисных ситуаций.

В опытах было также показано, что не всякий кризис преодолит для популяции. Когда численность популяции превосходит некоторый предел - уровень необратимости, то в конечном счете популяция от максимума приходит к полному вымиранию, и причиной являются устойчиво нарушенные взаимоотношения между особями в популяции. Хотя эти данные получены для популяции мышей (кстати тоже млекопитающих), но невольно сравниваешь ситуации и конечные результаты с историей человеческого общества и параллели иногда вырисовываются...

Адаптационные механизмы стремятся вернуть популяции в устойчивое состояние или к устойчивому колебательному циклу. Потеря устойчивости циклов является частным случаем более общих процессов в динамических системах, когда при превышении определенного уровня «управляющего параметра» в системе происходят структурные перестройки или перестройки режима её функционирования. В механике (гидродинамике) - это переход от ламинарного (слоевого) течения жидкости к турбулентному (вихревому): внезапно появляются большие вихри, при продолжении воздействия на поток они распадаются на вихри меньшего масштаба, затем - еще большее дробление и поток становится хаотическим. Одна биологическая модель служит отличным примером подобных процессов установления динамического хаоса и показывает полезность межпредметных связей в современном естествознании.

6.5. Динамический хаос в изолированной популяции

Будем рассматривать какую-нибудь изолированную популяцию, например популяцию насекомых на удаленном острове в открытом океане. Как известно, многие насекомые выводятся весной, лето живут, а осенью откладывают оплодотворенные яйца. При таком цикле воспроизводства поколения не перекрываются, все особи одного возраста. Говорят, что состояние популяции меняется дискретно во времени, поэтапно, одно за другим. Обозначим начальное состояние популяции через X_0 , а X_n - её численность через n лет. Коэффициентом прироста R будем называть относительную величину изменения численности популяции за год:

$R = (X_{n+1} - X_n)/X_n$. Если считать $R = const$, то рост популяции будет определяться зависимостью (6.2)

$$X_{n+1} = (1 + R) X_n. \quad (6.2)$$

Через n лет численность популяции будет равна

$$X_n = (1 + R)^n X_0. \quad (6.3)$$

Формула (6.3) предсказывает неограниченный рост популяции, что не реально. Чтобы быть ближе к действительной ситуации в биоценозах, П.Ф. Ферхюльст ещё в 1845 г. постулировал, что коэффициент прироста R меняется в зависимости от достигнутой численности. Считая, что для данной экологической ниши имеется конкретный предел численности популяции, равный X_{max} , Ферхюльст положил $R = r(X_{max} - X_n)$. С математической точки зрения удобнее выражать численность популяции в относительных единицах и положить $R = r(1 - X_n)$. Коэффициент пропорциональности r мы будем называть управляющим параметром, или параметром роста. Когда $r < 1$, численность популяции растет, пока не достигнет $X_{max} = 1$, при котором рост прекращается.

Формула, описывающая изменения численности популяции, теперь будет следующий вид:

$$X_{n+1} = (1 + R) X_n - r X_n^2. \quad (6.4)$$

Будем следить за эволюцией популяции на последующих шагах, то есть при увеличении n . На первый взгляд уравнение (6.4) достаточно простое и не предвещает резких перемен. Но все дело в нелинейности, она приводит к сложным циклическим зависимостям, представленным на рис. 6.10.

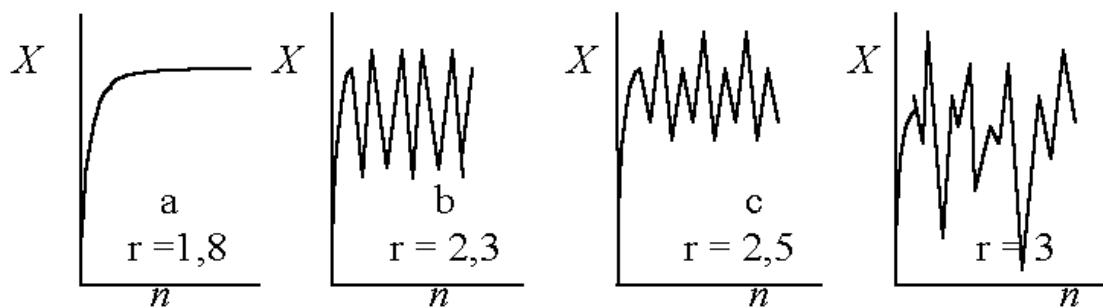


Рис. 6.10. Варианты изменений численности популяции

Для области значений параметра воспроизводства от 0 до 1 численность популяции при любых начальных значениях все равно стремится к нулевому конечному уровню, физически это означает вымирание популяции.

Когда параметр воспроизводства $1 < r < 2$, кривые роста плавно достигают стационарного уровня, после чего каждый год появляется новая популяция, точно замещающая предыдущую.

При условии $r = 2$ происходит первая бифуркация, становятся возможными два варианта: численность популяции попеременно осциллирует между двумя уровнями. Прогноз развития достаточно определенный: после многих лет размножения мы встретим на острове либо высокий уровень численности насекомых, либо низкий. Объяснение можно дать простое: когда насекомых очень много, они истощают имеющиеся пищевые ресурсы и потомство оказывается в кризисных условиях перенаселения (по сравнению с малыми ресурсами). Наоборот, для малой численности при неистощенных ресурсах создаются благоприятные условия жизни и откладывается большое количество яиц, на будущий год потомство будет многочисленным.

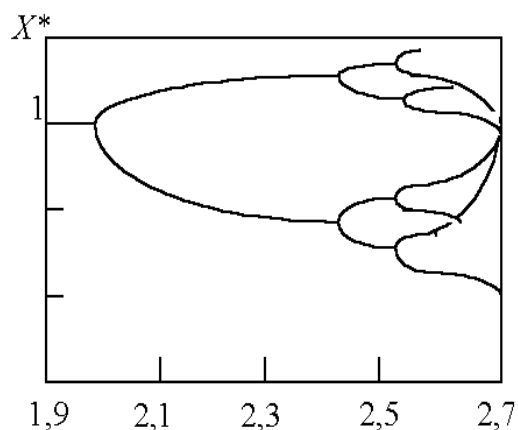


Рис. 6.11. Диаграмма Фейгенбаума для бифуркационного процесса

Когда значения параметра воспроизводства задаются (исследователем) большими чем 2,449, появляется вторая бифуркация и теперь численность популяции колеблется между четырьмя уровнями значений. Критические значения параметра воспроизводства на числовой оси лежат все ближе друг к другу, и при каждом из них происходит разбиение на два уровня. В итоге прогноз развития популяции становится неопределенным, так как становятся возможными самые разные значения для любого года: от минимального до максимального. В таких случаях говорят, что в системе, описываемой уравнениями типа (6.4), устанавливается динамический хаос.

Более подробно этот вопрос будет разбираться при выполнении компьютерных работ, поэтому здесь отметим лишь, что общее представление о поведении многих физических, химических и биологических нелинейных систем, подобных рассмотренной нами, может дать диаграмма Фейгенбаума. Конечно, для многих животных коэффициент прироста популяции равный 230% или 250% не реален, однако для насекомых это не предел.

В 1963 г. Э.Н. Лоренц обнаружил, что бифуркационное поведение свойственно турбулентному потоку. Затем оно было выявлено в исследованиях по лазерной физике и в кинетике химических реакций. В настоящее время признано, что сценарий удвоения численности элементов нелинейных систем, их энергетических и структурных состояний является универсальным законом природы. Достаточно сказать, что данная закономерность проявляется и в нелинейных колебаниях в электрических сетях (в них могут появляться черты детерминированного хаоса), и в переходе нормального ритма сердца в угрожающую жизни человека фибрилляцию.

Существуют и другие пути, приводящие к появлению динамического хаоса. В 1980 г. Б.Б. Мандельброт обнаружил, что существует более общий

принцип перехода от порядка к хаосу, если от действительных значений некоторых управляющих параметров перейти в плоскость комплексных чисел. Процесс Мандельброта для дискретных изменений в принципе эквивалентен процессу Ферхюльста [13] :

$$X_{n+1} = X_n^2 + C,$$

где C - некоторая константа, могущая быть комплексным числом.

Выберем произвольное число X_0 , возведем его в квадрат и прибавим константу C ; полученное значение нанесем на комплексную плоскость. Затем повторим процесс - сделаем итерацию и отметим новое положение.



Рис. 6.12. Форма бассейна для аттрактора в точке 0



Рис. 6.13. Форма части множества Жюлиа

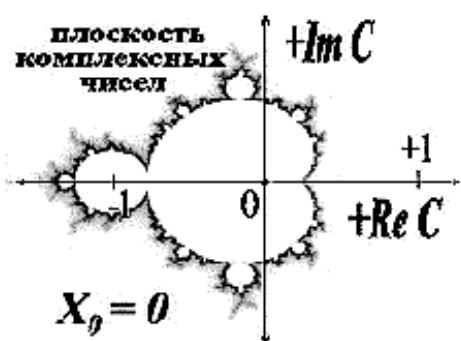


Рис. 6.14. Форма множества Мандельброта

При $C = 0$ имеются три типа траекторий точки в зависимости от начального значения X_0 . Если оно не превосходит единицу, то последующие квадраты будут все меньше и меньше и точка стремится к нулю. Говорят, что ноль является аттрактором для итерационного процесса. Все точки, находящиеся на расстоянии меньше 1 от этого аттрактора движутся к нему. Наоборот, все точки находящиеся на расстоянии больше 1 от нуля будут уходить на бесконечность, так как значения квадратов будут только возрастать. Наконец точки, находящиеся на расстоянии 1 от нуля будут оставаться неподвижными. Окружность единичного радиуса является границей между сферами влияния двух аттракторов - нуля и бесконечности.

Когда константой C является комплексное число, то границы между несколькими (или очень многими) аттракторами перестают быть гладкими. Линия границы выглядит непрерывно изломанной, причем при увеличении масштаба графика во сколько угодно раз ее форма остается подобной себе. Такое свойство границ Мандельброт назвал фрактальной структурой. Здесь физические процессы хаотичны до предела, так как совершается переход из сферы влияния одних закономерностей к сфере влияния другой. Отражая хаос, сама линия (множество точек которой носит название множеств Жюлиа) оказывается эстетически очень красивой.

Существует правило, указывающее, какой вид имеет множество Жюлиа для всех возмож-

ных значений параметра C . Графически оно выражается множеством Мандельброта [13].

Компьютерное моделирование множеств Жюлиа позволило сравнить их форму с формой многих естественных образований - морского берега, морозного узора на стекле, фигур электрических разрядов, формы ракушек, атмосферных вихрей и других форм движения или результатов физико-химических процессов.

Как оказалось, наблюдается поразительное сходство типов фигур, несмотря на различие конкретных процессов и их масштабов. Очевидно, что единственная общая черта столь широкого круга процессов - их нелинейная динамика. Нелинейные процессы имеют фрактальные свойства.

6.6. Ресурсы и численность населения Земли

В 1650 г., году условного начала промышленной революции, на Земле, по оценкам, было примерно 500 млн. человек. Более достоверные статистические данные о населении Земли можно найти примерно с 1800 г., они показывают, что за последние почти два столетия население возросло с ускорением.

Рост населения земного шара

Годы	1880	1924	1960	1976	1985	1995
Население, млрд.чел.	1	2	3	4	5	5,75

Как видно, увеличение от одного миллиарда человек до двух миллиардов произошло за 104 года, прирост следующего миллиарда жителей Земли произошел за 36 лет, последующего - за 16 лет, от 4 до 5 млрд. человек народонаселение всех стран увеличилось за 9 лет.

Современный период - это продолжающийся экспоненциальный рост населения земного шара в основном за счет развивающихся стран Африки, Юго-Восточной Азии и Латинской Америки. В 2000 г. численность населения Земли достигла 6,1 млрд. человек, в 2010 может быть 7,1 млрд. человек, в 2025 г. население Земли возрастет до 8,3 млрд. человек, еще через 50 лет можно ожидать 11 млрд. человек, почти в два раза больше, чем сейчас. Как долго еще будет продолжаться рост населения?

В принципе можно рассмотреть следующие варианты (рис. 6.15). Рост населения будет продолжен, но с меньшей скоростью (1), будет достигнут стационарный уровень (2), возможно постепенное уменьшение (3), нежелательный вариант (4) - резкое падение численности человечества в результате всепланетарной катастрофы. Если исключить вариант катастрофического развития событий (ядерной мировой или достаточно локальной войны, приводящей к невозможным изменениям климата Земли - ядерной зиме,

население

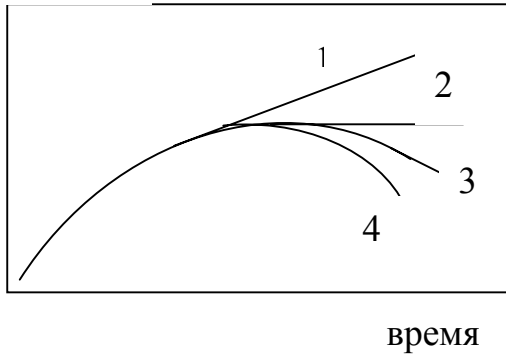


Рис. 6.15. Варианты изменения численности населения Земли

столкновение с астероидом), то вероятность оставшихся вариантов непосредственно связана с экономическим развитием как отдельных стран, так и человечества в целом.

В ранние периоды формирования человеческого общества рождаемость составляла, по оценкам демографов, примерно 5%. Глобальный уровень населения колебался, но поддерживался примерно постоянным, это значит, что и смертность была на уровне 5%. В таких условиях средняя продолжительность

жизни отдельной особи в популяции немногим превосходит 20 лет.

В настоящее время наибольшая продолжительность жизни достигнута в Японии: 75,9 лет для мужчин и 81,6 года для женщин. Несколько меньше значения для развитых стран Европы и для США: 73 - 74 года и 79 - 80 лет соответственно для мужчин и женщин. Демографические данные для России выглядят на этом фоне удручающими: в 1995 г. средняя продолжительность жизни мужчин составляла 57,6 лет, для женщин - 71,2 года. Сравнение цифр показывает, что наши женщины живут на 8 лет меньше, мужчины - на 16 лет меньше, чем в высокоразвитых странах. Прогнозы Госкомстандарта (1995 г.) предвидят по "мягкому" варианту снижение населения России к 2006 г. до 143 млн. человек (убыль на 5,5 млн.), по "осторожно-пессимистическому" варианту убыль может достигнуть 12,3 млн. человек при снижении средней продолжительности жизни мужчин до 55 лет (для женщин прогноз более благоприятный - 72 года).

Хотя человек как существо социальное во многом вышел из-под контроля естественного отбора, он не может отменить наиболее общие физические законы природы, главным из которых является закон сохранения энергии. Очевидно, что без затрат энергии невозможны производство материальных благ, высокое качество жизни и его поддержание для части населения пожилого возраста. Между уровнем жизни и уровнем производства энергии в стране должна иметься корреляция (производство и потребление энергии и энергоносителей могут различаться из-за их экспорта или импорта, но это не принципиально). Действительно, в статистических отчетах ООН за разные периоды можно найти соответствующие графики зависимости валового национального дохода на душу населения, в зависимости от потребления энергии, тоже на душу населения данной страны. Как принято, потребление энергии выражается в тоннах условного топлива (т.у.т) с фиксированной тепловой сторания, доход - в тысячах долларов США.

По тем данным, которые были доступны автору, в 80-е гг. корреляционная связь при усреднении по всем странам выражалась следующим обра-

зом: валовой душевой доход в размере 4000 \$ требовал затрат 10 т.у.т на душу населения. В США тогда производилось около 12 т.у.т./чел.

Конечно, есть объективные различия в климатических и других географических условиях для стран мира, но определяющим фактором все же является производство и потребление энергии. По уровню потребления электроэнергии США опережают громадное большинство стран не менее чем в 2 раза, и этим всё сказано.

Расчеты экономистов показывают, что в условиях роста населения страны для создания материальных благ на одного нового человека требуется работа 4 - 6 человек в течение года (необходимо обеспечить ему посевные площади, жильё, транспорт и т.д.). Поэтому прирост населения на 1% в год поглощает около 4% национального дохода. Какие выводы отсюда следуют? Пусть все время сохраняется прирост валового дохода в 4%. Если население стабилизировалось по численности, то можно инвестировать в хозяйство 1% и на 3% повышать уровень (качество) жизни. Но если есть прирост населения в 1%, то весь доход идет на него (без инвестиций на будущее и без роста качества жизни).

Развитие по графику (1) рис. 6.15 объективно требует темпа прироста национальных доходов стран не меньше 4% в год, а это требует роста энергопотребления. Очевидна неизбежность ограничения населения Земли вследствие конечной величины её ресурсов, как пищевых, так и энергетических. Наиболее предпочтительным выглядит вариант стабилизации народонаселения на некотором уровне. Насколько большим современного? Проблема требует анализа доступных ресурсов и учета научно-технического прогресса.

Сколько человек могут жить на Земле? Поскольку все основано на деятельности продуцентов, сделаем грубый расчет: оценим среднюю энергетическую ценность всех 230 млрд. тонн ежегодно производимой растительной

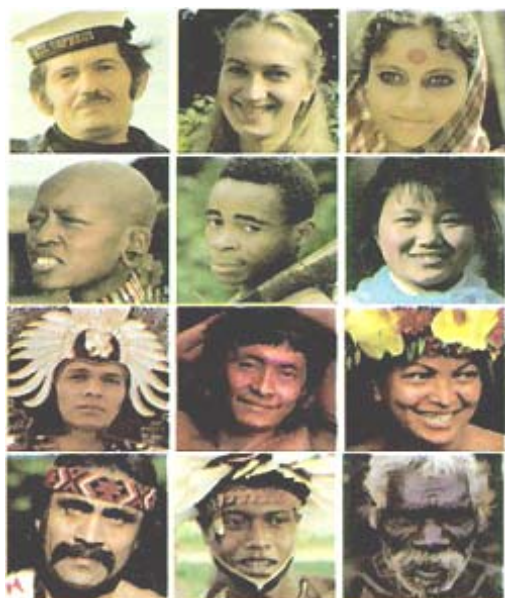


Рис. 6.16. Представители различных рас населения Земли

биомассы, разделим на 365 дней и на 2500 ккал/сутки (уровень питания, необходимый для поддержания жизни человеческого организма по минимуму). Тогда получим число, равное примерно 75 млрд. человек. Расчет не учитывает конкурентов человеку в питании растениями - насекомых, животных, птиц, и рассчитан на чисто вегетарианское питание.

Во всяком случае десятки миллиардов человек могли бы существовать на нашей планете на уровне прозябания. Вопрос в том, следует ли к этому стремиться или нас прельщает уровень «всеобщего благоденствия»? Тогда рост населения должен закончиться гораздо раньше.

Иногда высказываются оптимистические надежды на научно-технический прогресс, который якобы может «обогатить» сельскохозяйственные угодья, повысить урожайность растений, создать оазисы в пустынях и так далее. Расчеты специалистов, проведенные в 1990 году, показали, что в лучшем случае объем пищевых ресурсов Земли можно удвоить, но не более того. Все определяется количеством солнечной энергии, попадающей на земную поверхность.

Помимо пищевых ресурсов, развитие человечества определяется также ресурсами энергетическими и общим КПД используемых технологий (насколько они энергосберегающие). Различают возобновляемые ежегодно ресурсы энергии и невозобновляемые, их количественная оценка приведена ниже.

Мировые запасы энергии

А. Возобновляемые ресурсы:	в квт-час. за год
Гидроэнергия	$1,8 \cdot 10^{13}$
Ветровая энергия	$1,7 \cdot 10^{15}$
Энергия приливов	$7 \cdot 10^{16}$
Солнечная (на поверхности Земли)	$5,8 \cdot 10^{17}$
Б. Невозобновляемые ресурсы:	в квт-часах
Внутреннее тепло Земли	$1,3 \cdot 10^{14}$
Органическое топливо	$5,5 \cdot 10^{16}$
Ядерное горючее	$5,5 \cdot 10^{17}$
Термоядерное горючее	приблизительно 10^{20}

Если немножко преувеличить, то можно сказать, что мы не только «дети Солнца», но и звезд: энергия Солнца, превращенная в ископаемые ресурсы горючих материалов, и радиоактивные изотопы урана, созданные в недрах звезд, обеспечивает энергетическую основу существования человечества.

Сравнение данных показывает, что среди воспроизводимых ресурсов самым большим является солнечная энергия. На верхней границе атмосферы солнечная постоянная равна 1358 Вт/м^2 , по мере прохождения к поверхности Земли поглощение молекулами углекислого газа, озоном и парами воды снижает плотность солнечной энергии примерно до 1000 Вт/м^2 .

При этом две трети энергии поглощается океаном, лишь одна треть - континентами. Тем не менее всего 0,1% солнечной энергии на поверхности Земли достаточно для синтеза более 200 млрд. т растительной биомассы, это уровень естественной утилизации энергии Солнца нашей планетой. Если уровень поступающей от него энергии снизится на 5%, начнется новый ледниковый период.

Лет 10-15 назад казалось, что нетрадиционные источники энергии, экологически чистые - ветровая и солнечная энергия - могут внести заметный вклад в энергетику стран, их развивающих. Были построены ветроэлектростанции для местных нужд и довольно скоро выявились их недостатки: помимо высокой стоимости (за счет буферных накопителей энергии для смягчения эффектов неравномерной скорости вращения), они создают сильный низкочастотный гул, днем и ночью раздражающий население в округе. В настоящее время промышленного применения ветровая энергия (кроме традиционных мельниц) практически не имеет. Солнечной энергии «повезло» больше, построено более десятка тепловых гелиоэлектростанций башенного типа (где нагреватель освещается «зайчиками» сотен зеркал, отслеживающих движение Солнца). Во Франции действует «чистая» солнечная печь для беспримесной плавки металлов и других экспериментов. Однако основной прогресс был достигнут в прямом преобразовании световой энергии в электрическую с помощью полупроводниковых фотобатарей на основе кристаллического и аморфного кремния, аморфного карбида кремния, аморфных сплавов кремний-германий, арсенида галлия и других материалов. Коэффициент полезного действия коммерческих батарей в настоящее время находится на уровне 9-10%, считают возможным его повышение до 15 % в ближайшие годы.



Рис. 6.17. Керамическое покрытие, вырабатывающее электроэнергию

Фотоэлектрические источники энергии не имеют движущихся частей и не требуют постоянного внимания обслуживающего персонала, они нашли применение не только на космических аппаратах, но и для питания маяков, автоматических метеостанций, ретрансляторов связи, приема радио и телепередач в глубинных районах развивающихся стран. В Японии имеется более 20 фотоэлектростанций (ФЭС) с мощностью порядка 1 МВт, в США построена ФЭС мощностью 7,5 МВт (в Калифорнии), общая мировая выработка электроэнергии с помощью фотопре-

образователей в начале 90-х годов достигла уровня 10^{13} кВт.час за год. Однако считать ФЭС совершенно бесплатным и совершенно чистым источником энергии было бы неверным.

Во-первых, приходится занимать определенную территорию, порядка 1 км^2 на 10 МВт мощности. Хорошо поглощая солнечную энергию, ФЭС меняют тепловой баланс поверхности Земли, что может повлиять на климат. При распространении ФЭС придется устанавливать между фотобатареями зеркальные экраны для сохранения среднего альбедо территории, и площадь ФЭС еще больше возрастет. При изготовлении полупроводниковых материалов приходится работать с токсичными веществами (особенно при получе-

нии арсенида галлия) и отходы производства отнюдь не безобидны, как и в большинстве химических производств.

Недостатком ФЭС являются неравномерность вырабатываемой энергии в течение суток, поэтому их рассматривают в качестве резервных. На далекую перспективу рассматриваются инженерные проекты выноса ФЭС большой мощности на геостационарные орбиты в околоземный космос, здесь лимитирующим фактором является СВЧ - канал передачи электроэнергии на поверхность Земли (не ясно его экологическое действие). По крайней мере на ближайшие 20 лет в структуре энергетики развитых стран революционных изменений не произойдет, по-прежнему в основе будут невосполнимые ресурсы энергии.

Поскольку невосполнимые ресурсы ограничены, ведутся работы по созданию термоядерных реакторов, где будут осуществляться реакции синтеза более массивных изотопов из легких, в частности реакции «горения» дейтерия и трития. При успешном развитии уже начатых работ по созданию демонстрационного реактора, то есть показывающего принципиальную возможность таких устройств, в XXI в. можно ожидать прорыва на более высокую «звездную технологию» производства энергии на Земле. Однако не следует думать, что это будет эра дешевой энергии, изотопы дейтерия надо предварительно выделить из воды океанов, где они рассеяны, а это большая техническая проблема. Да и вырабатывать на Земле можно только определенное годовое количество энергии, в противном случае изменится весь климат планеты.

Выше отмечено, что снижение поступления солнечной энергии на 5% вызовет ледниковый период. Наоборот, повышение энерговыделения на Земле (в конечном счете энергия рассеивается и превращается в тепловую) приведет к таянию горных ледников и льдов Антарктиды, повышению уровня океанов и морей, превращению Сибири в тропики и многим менее предсказуемым последствиям.

Вся растительность Земли потребляет около 0,1% солнечной энергии, примерно такой же уровень технического выделения энергии будет допустимым. С меньшей уверенностью следует оценивать как допустимый уровень в 1% от солнечной ежегодно поступающей энергии. Опасным, по-видимому, будет уровень 2%.

Хрестоматия к главе 6

Геобиосферы Земли

Наличие на нашей планете водной оболочки (гидросферы) и воздушной (атмосферы) действительно является одним из ее самых заметных отличий от других планет Солнечной системы. Но главное отличие все же состоит в том, что на Земле существует живое вещество - растительный и животный мир. В связи с этим еще в XIX в. французский биолог Ж. Б. Ламарк и австрийский геолог Э. Зюсс ввели понятие *биосферы*. Это искусственно созданное из греческих корней слово буквально означает «шар, наполненный жизнью, область жизни».

В современном содержании понятие биосферы было всесторонне рассмотрено выдающимся русским ученым В. И. Вернадским. Он доказал, что вся совокупность живых организмов, обитавших и обитающих на Земле, играет огромную роль в ее геологической эволюции, во всех современных физических и химических процессах, которые протекают на земной поверхности и в водной толще океанов.

Все живое вещество Земли сосредоточено в очень узкой части пространства, прилегающего к земной поверхности и измеряемого по вертикали всего лишь несколькими километрами. Это меньше толщины литосферы и тропосферы, взятых вместе. Что касается массы живого вещества, то доля всей совокупности живых организмов в общей массе Земли просто ничтожна и составляет всего 0,25 %.

Высказанные В. И. Вернадским взгляды о ведущей роли живого вещества в образовании современного химического состава атмосферы, гидросферы и части литосферы подтверждаются всем ходом развития науки. Эта роль обусловлена высокой геохимической активностью живых организмов: они способны усваивать солнечную энергию и, используя ее в процессе фотосинтеза, создавать из простых веществ соединения значительно более высокой сложности. В результате этих превращений под прямым и косвенным влиянием живых организмов возникали в геологическом прошлом и возникают в настоящее время разнообразные земные образования, которые В. И. Вернадский предложил называть *биокосными природными телами*. Их объемы и значение для развития жизни на Земле позволяют сопоставить биосферу с другими геосферами даже количественно.

Жизнь на нашей планете воплощается во множестве форм и на разных уровнях, но принципиально важно то, что она едина. Все формы и проявления жизни не существуют сами по себе, а связаны сложными взаимоотношениями в единый комплекс жизни. Эти взаимоотношения и связи удивительны. Именно они осуществляют биогенный круговорот веществ, то есть саму жизнь, и не дают ей прерваться.

Взаимосвязи в биосфере очень стойки, но достаточно разорвать хотя бы одно звено или одну связь, и может погибнуть вся цепь взаимоотношений

живой материи. В течение миллиардов лет живое вещество на Земле использовало и в ходе образования биокосных тел трансформировало солнечную энергию. Ее значительная часть законсервирована в угле, нефти и других полезных ископаемых органического происхождения. Ее другая часть была использована для формирования различных горных пород биокосного происхождения, накопления солей, растворенных в воде океанов, кислорода, входящего в состав земной коры. Все эти природные тела и их компоненты, по выражению В. И. Вернадского, представляют собой прямые и косвенные следы существования былых биосфер.

Потеев М.И. Концепции современного естествознания. – СПб.: Изд-во «Питер», 1999. – 352 с.

7. УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЭВОЛЮЦИОНИЗМ И КОЭВОЛЮЦИЯ



Рис. 7.1. Спиральные волновые фронты химической реакции

Концепция глобального или универсального эволюционизма рассматривает мировой эволюционный процесс как единое целое, охватывающее развитие Вселенной, биосферы и человека (в том числе - процессы в обществе). По мнению академика Н.Н. Моисеева [4], мировая эволюция и её составляющие представляют собой общий процесс самоорганизации, выражающийся в самопроизвольном (естественном) образовании все более тонких и сложных пространственно-временных структур. Он приводит аналогию с турбулентным течением жидкости, в которой непрерывно сменяют друг друга разнообразные и относительно стабильные формы - вихри. Бифуркационно распадаясь, они дают материал для новых квазистабильных образований. Присущие мировой эволюции стохастичность и бифуркационные состояния, при прохождении которых дальнейшая траектория развития определяется флуктуационно случайно, делают эволюцию необратимой и лишают её временной симметрии. В этом смысле можно говорить об эволюционной стреле времени, подобно тому, как С. Хокинг говорит о трех стрелах времени: космологической, термодинамической и психологической.

Естественнонаучным основанием для появившихся в последние годы философских обобщений служат идеи динамического хаоса и синергетики. Последнее название переводится с греческого как «совместное, кооперативное действие» и предложено Г. Хакеном [14] для развивающейся междисциплинарной области исследований общих процессов самоорганизации в природе и обществе. Стимулировало становление синергетики открытие эффектов упорядочения в химических и физических системах, находящихся в состояниях, далеких от равновесия. Например, в неравновесных условиях наблюдаются автоколебательные химические реакции Белоусова-Жаботинского, спирально-волновые фронты горения или других взаимодействий, гексагональные ячейки в эффекте Бенара или самоиндуцированная генерация лазерного излучения.

Наблюдаемые упорядоченные во времени или в пространстве структуры получили название диссипативных, по предложению другого основателя синергетики - И.Р. Пригожина (бельгийского физико-химика русского происхождения, лауреата Нобелевской премии по химии за 1977 г. за вклад в теорию неравновесной термодинамики, в особенности в теорию диссипативных структур, и за её применение в химии и биологии).

7.1. Диссипативные структуры



Рис. 7.2. Ячейки конвективного массопереноса

Физически самой простой диссипативной структурой являются шестиугольные ячейки конвективного массопереноса в слое жидкости, на границах которого имеется разность температур, превышающая некоторое предельное значение (порог). В центрах ячеек жидкость поднимается, по краям - опускается. Такая система обменивается с окружающей средой только теплом. В стационарном состоянии она получает при температуре T_1 некоторое количество теплоты ΔQ , которое и отдает с низкотемпературной поверхности T_2 .

В термодинамике, наряду с теплотой и энергией, пользуются понятием энтропии S . Это функция состояния термодинамической системы и её изменение ΔS в каком-либо процессе определяют по формуле

$$\Delta S = \Delta Q / T. \quad (7.1)$$

Например, при плавлении кристалла ΔQ равно теплоте фазового перехода (скрытой теплоте плавления), а T равно температуре плавления. Теплота плавления идет на разрушение кристаллической решетки: $\Delta Q > 0$ и $T > 0$, поэтому $\Delta S > 0$. Иначе говоря, при увеличении беспорядка энтропия возрастает.

Для рассматриваемого нами эффекта Бенара общее изменение энтропии будет равно

$$\Delta S = (\Delta Q / T_1 - \Delta Q / T_2) < 0. \quad (7.2)$$

И.Р. Пригожин показал [15], что во всех случаях установления порядка в диссипативных структурах они понижают свою энтропию, можно даже сказать - они отдают свою энтропию окружающей среде. Так что два обстоятельства важны для самоорганизации: обмен энергией и уменьшение энтропии: если эти условия выполняются мы можем ожидать проявлений пространственно - временной упорядоченности, роста организационных форм в живой и неживой природе. В этой связи обратим внимание на некоторое подобие условий, в которых находится Земля, с условиями эффекта Бенара: Земля получает от Солнца энергию при температуре планковского спектра 6000 К, а излучает в ИК - области спектра при температуре около 300 К. Очевидно, что при разнице температур в 20 раз поток энтропии от Земли намного больше, чем она получает её от Солнца. Условия, необходимые для появления на Земле диссипативных структур, выполняются.

Если нет условий для «сброса» энтропии в окружающую среду, то самоорганизация оказывается недолговременной, как в случае колебательных химических реакций Белоусова - Жаботинского. Примером может служить временная упорядоченность в окислительно - восстановительных состояниях

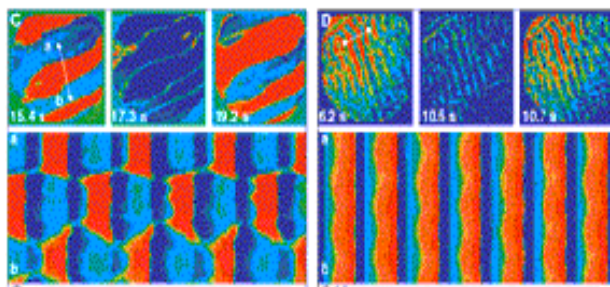


Рис. 7.3. Фотографии периодических химических реакций

Ce^{3+} и Ce^{4+} в смеси серной кислоты, сульфата церия, малоновой кислоты и бромата калия. Индикатор окислительно-восстановительных условий (ферроин) позволяет видеть периодичность изменения цвета раствора от красного до синего. При подборе концентрации веществ, после некоторого числа колебаний окраски, самопроиз-

вольно образуются разделенные пространственные слои синего и красного цветов, время их существования достигает 30 минут. Так как реакции идут в замкнутой системе при изотермических условиях, то стабильных диссипативных структур не образуется. По образному выражению А.И. Осипова [16], химический «организм» погибает, задушенный избытком энтропии, которую нет возможности выделить в окружающую среду. Стационарная диссипативная структура, по словам Э. Шредингера, должна «добывать упорядоченность из окружающей среды», увеличивая в ней беспорядок.

Часто говорят, что работы И.Р. Пригожина привели к становлению современной термодинамики, отвечающей новым концепциям естествознания. В чем отличие неравновесной термодинамики от классической? Как известно, классическая предшественница основана на нескольких обобщениях совокупности экспериментальных фактов (началах термодинамики). Первое начало выражает собой закон сохранения энергии применительно к тепловым процессам, и оно обычно знакомо из школьного курса физики. Второе начало термодинамики имеет несколько эквивалентных формулировок, одна из которых гласит, что в замкнутых системах энтропия необратимых процессов может только возрастать. По утверждению Р. Клаузиуса (1822-1888), автора понятия «энтропия», «Энергия Вселенной постоянна, энтропия Вселенной возрастает». Л. Больцман (1844-1906) показал статистический смысл понятия энтропии: для абсолютного порядка существует единственный вариант состояния системы и энтропия равна нулю; беспорядочное расположение составляющих системы (хаос) имеет бесчисленное количество вариантов и энтропия в этом случае стремится к бесконечности. Всякий раз, когда энтропия системы возрастает, совершается переход в менее упорядоченное состояние (по какому-либо параметру этой системы).

Следует подчеркнуть, вслед за Л.Д. Ландау и А.И. Китайгородским («Физика для всех»), что закон возрастания энтропии применим только для множества частиц. Как и понятие температуры, кстати. Для одной частицы или для единичного объекта наблюдения его просто невозможно сформулировать.

В классической термодинамике закон сохранения энергии играет роль бухгалтера, уравнивающего дебет и кредит, тогда как роль директора, предписывающего направления финансовых вложений, принадлежит энтропии.

До работ И.Р. Пригожина направление самопроизвольных процессов предписывалось только в одну сторону - в сторону роста энтропии. Когда маленькое, нагретое до высокой температуры тело приводится в контакт с холодным и более массивным, то теплота передается только от горячего к холодному, с этим каждый сталкивался в обыденной жизни. Простые расчеты показывают возрастание энтропии в процессе остывания утюга на холодной плите. Но никто никогда не наблюдал самопроизвольного нагревания утюга за счет ещё большего понижения температуры плиты!

А как же самоорганизуются диссипативные структуры? Оказывается, что условия процессов принципиально отличаются: в классической термодинамике рассматриваются почти равновесные процессы, вблизи равновесия, тогда как для эффекта самоорганизации необходимы резко неравновесные состояния, вдали от положения равновесия. Тогда при локальном понижении энтропии в одной части в гораздо большей степени возрастет энтропия другой, так что в суммарном итоге второе начало окажется справедливым. Совместимость феномена самоорганизации с действием второго начала термодинамики - одно из крупнейших достижений современного естествознания.

Оно имеет важное значение для многих природных процессов. Выше мы рассматривали концепцию Большого взрыва. Считается, что Вселенная появляется в состоянии чрезвычайно высокого порядка. Поскольку еще нет агрегатных состояний и самих химических элементов, порядок выражается в наивысшей симметрии взаимодействий частиц-полей (единство кварков, лептонов и гравитонов). Затем симметрия порогово понижается, начинается рост энтропии Вселенной, который, по мнению С. Хокинга, задает направление термодинамической стрелы времени. Стрела оказывается сонаправлена космологической стреле времени, отличающей расширение Вселенной от сжатия. Совместимость самоорганизации структур и процессов со вторым началом приводит в конечном счете к сонаправленности хода космологического и биологического времени живых существ.

7.2. Системный подход к процессам эволюции

Каждый объект нашего наблюдения и изучения может рассматриваться с двух точек зрения: как система (содержащая в себе свои структурные элементы) и как элемент (в целом принадлежащий «вышестоящей организации» - системе большего масштаба). Поэтому каждый класс объектов мы можем рассматривать как с точки зрения развития его внутренней структуры (или индивидуального развития - онтогенеза), так и с точки зрения смены, последовательности, истории развития данного класса объектов в их множестве (в их филогенезе).

В ходе мирового эволюционного процесса растет разнообразие и сложность форм организации как косного, так и живого вещества. Факторы, которые действуют в биологической эволюции, были рассмотрены в предыдущем

разделе. Можно выделить еще один аспект, общий для многих процессов развития, в том числе и для технических систем управления. С точки зрения информатики и общей теории систем организм любого уровня сложности можно рассматривать как функциональную систему с отрицательными обратными связями, которые и позволяют системе адаптироваться к изменениям во внешней среде. С этой же точки зрения внешняя среда - это совокупность переменных во времени и по величине факторов, воздействующая на организм. Значит, чтобы сохранить в данной среде гомеостаз, организму необходимо адаптироваться ко всей этой совокупности факторов, существенных для его состояния. Поэтому адаптивное поведение организма возможно тогда, и только тогда, когда его сложность не ниже сложности окружающей среды.

Более того, для успешного выживания в сложной окружающей среде организм должен обладать некоторой логической избыточностью законов и способов регулирования своих функций по отношению к совокупности законов изменения жизненно важных факторов внешней среды [17]. Если внешняя среда остается постоянной и её сложность не растёт, то и развитие организма (как вида) остановится, когда он полностью к ней приспособится. Но внешняя среда не может не изменяться, в самом общем космологическом расширении Вселенной уже заложено изменение условий: галактики и звезды эволюционируют, Солнце проходит свой цикл изменения и создает соответствующую космофизическую обстановку вокруг Земли. Внешняя среда в масштабах планеты также никогда не была постоянной, а с появлением Жизни возникают и мощные биогенные причины изменений всех сфер Земли.

Это значит, что для отдельных организмов и их совокупности в целом среда обитания усложняется, в том числе и под действием самих организмов. Отсюда следует, что происходит коэволюция (совместная и современная эволюция) «Среда + Организмы» и в общей сопряженности развитие получает направленность в сторону все большего усложнения.

Именно резерв сложности (логической мощности) человека способствовал его выходу из-под контроля естественного биологического отбора («непослушное дитя биосферы»). Теперь на него больше действуют факторы сложности *социальной* окружающей среды, они определяют направление развития разума *Homo sapiens*. Но и развитие самого человеческого общества зависит от интеллекта его составляющих. Поэтому на современном этапе коэволюция включает в общую связь и в общую взаимозависимость планетарную окружающую среду, человека и социальную среду. Направление развития человека - это продолжающийся отбор на интеллект индивидуума и социальных коллективов в условиях цивилизационных кризисов. Концепция коэволюции применима к пониманию как мировоззрения, так и науки, к развитию междисциплинарных исследований и взаимодействию естественных и общественных форм знания [18].

7.3. Сложность простых систем

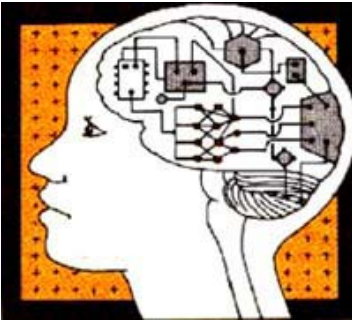


Рис. 7.4. Человек как система обработки информации

Показателем сложности системы и её логической мощности может служить количество информационно-энергетических каналов связи (взаимодействия) с окружающей средой. В механике связи обычно ограничивают свободу передвижения некоторой части тела или отдельного объекта. Для высокоорганизованных систем, адаптирующихся к окружающей среде, способность увеличивать количество каналов восприятия информации - повышает свободу «маневра» системы или организма. При высокой сложности на передний план выступает не столько обмен энергией, сколько обмен информацией. Прием информации (при соответствующих затратах энергии) повышает упорядоченность системы, то есть эквивалентен уменьшению её энтропии.

Отмечая это, мы должны иметь в виду, что сложное поведение некоторой системы может быть следствием достаточно простых законов, правил отбора, алгоритмов, на основе которых функционируют (работают, живут) технические системы или живые организмы.

В предыдущем разделе мы привели примеры нелинейных зависимостей, неожиданно приводящих к динамическому хаосу. Здесь же уместно рассмотреть примеры того, как простые правила поведения элементов системы могут приводить к упорядоченным и достаточно сложным процессам кратного воспроизводства начальной конфигурации, направленным движениям и устойчивым структурам. Речь пойдет об эволюции состояний (движении состояний) в системах, где её одинаковые элементы взаимодействуют друг с другом, по крайней мере с ближайшими соседями. Элементами системы являются ячейки или клетки, которые могут находиться в двух состояниях: активном и пассивном, или включенном и выключенном, или живом и мертвом. Ячейки могут составлять правильные плоские или пространственные сети, примерами могут быть шахматная доска, лист тетради в клетку или экран компьютера, разделенный на квадратные или прямоугольные ячейки.

В 1960 г. Э. Фредкин (США) предложил вариант системы, в которой будущее состояние любой и каждой ячейки определяется текущим состоянием четырех ближайших соседей (расположенных к северу, востоку, югу и западу от выбранной). Ячейка, окруженная нечетным числом живых соседей, остается живой. Если число живых соседей четное, то ячейка умирает или остается мертвой. При таких законах жизни и смерти «клеток» любая начально заданная конфигурация колонии воспроизводится четырехкратно после определенного числа смены поколений.

В 1960 г. Э. Фредкин (США) предложил вариант системы, в которой будущее состояние любой и каждой ячейки определяется текущим состоянием четырех ближайших соседей (расположенных к северу, востоку, югу и западу от выбранной). Ячейка, окруженная нечетным числом живых соседей, остается живой. Если число живых соседей четное, то ячейка умирает или остается мертвой. При таких законах жизни и смерти «клеток» любая начально заданная конфигурация колонии воспроизводится четырехкратно после определенного числа смены поколений.

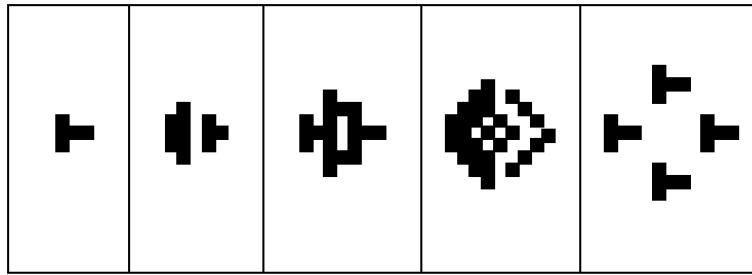


Рис. 7.5. Последовательность движения состояний ячеек в системе Э. Фредкина

Позже и сами копии учетверятся, и процесс размножения циклически продолжится, пока хватает клеточного поля. Периметр занятой колонией зоны расширяется, а её внутренняя область периодически то заполняется густой «порослью», то снова пустеет.

Вариант Э. Фредкина приводит к размножению копий начального формата и их расхождению, что создает иллюзию экспансии живых клеток.

Если учитывать большее число возможных связей, то поведение системы становится более сложным и менее предсказуемым заранее. В 1970 г. Дж. Конвэй (Великобритания) изобрел игру «Жизнь», в которой учитываются не 4, а 8 соседей каждой клетки (включая соседей второй координационной сферы, соединенных с выбранной клеткой по углам) [19]. Законы жизни и смерти установлены таким образом: живая клетка продолжит свое существование в следующем поколении лишь в тех случаях, когда в её окружении на данном этапе находятся две или три живых соседних ячейки. При меньшем числе живых соседей считается, что клетка умирает от одиночества, а при большем - от тесноты (стресса!). Для неживой клетки возрождение происходит только тогда, когда в её окружении будет ровно 3 живых ячейки.

В «Жизни» Конвэя движение состояний сильно зависит от формы начальной, зародышевой колонии клеток. Одна и две клетки сразу гибнут от одиночества, три клетки образуют стабильные циклические «мигалки», квадрат из четырех ячеек не изменяется. При большем числе исходных ячеек в колонии возникают разнообразные варианты: от быстрого вымирания до расходящихся и сближающихся «островов жизни», узоров или цветов (особенно если последующие поколения отмечаются своим цветом). В процессе движения состояний системы она может распадаться на стабильные циклические конфигурации и на направленно перемещающиеся по полю самовоспроизводящиеся фигуры, иногда довольно сложные.

После 30-го шага от начальной конфигурации (в центре), система выходит на цикл, представленный на рисунке. В нем постоянно живы красные и синие клетки. Желтые, зеленые, розовые - появляются циклически.

Практически невозможно описать возможные изменения начальных форм колоний или их эволюцию, лучше воспроизвести «Жизнь» в

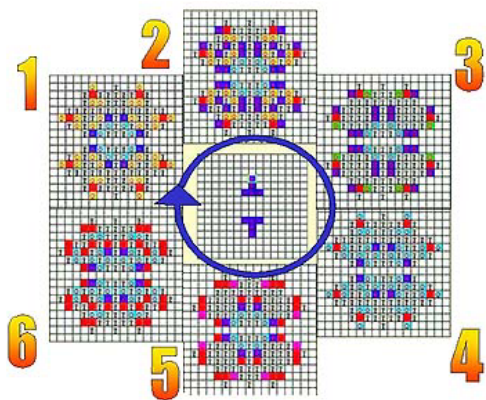


Рис. 7.6. Смена конфигурации клеток по установившемуся циклу

компьютерной лабораторной работе. Важно отметить, что увеличение числа связей с окружением - в данном случае переход от системы Фредкина к системе Конвэя - приводит к существенному усложнению получающихся в процессе движения состояний форм живых или активных элементов. Исходная простота оборачивается сложностью (геометрической формы активных элементов), устойчивостью (в циклах повторяющегося самовоспроизводства), кажущейся целенаправленностью (в случаях упорядоченного перемещения воспроизводящихся фигур) и принципи-

альной творческой потенцией (в смысле способности производства новых конфигураций). В ещё большей мере это проявляется в трехмерных компьютерных версиях «Жизни», когда число взаимодействующих соседей заметно возрастает.

Рассмотренные игры являются, конечно, лишь отдаленной аналогией реальным процессам в окружающем мире (скорее, даже аллегорией). Однако такой видный основатель информатики как фон Нейман, всерьез доказал, что если каждая клетка имеет свой клеточный автомат (устройство), способный находиться в 29 состояниях, то при наличии сети из 200 тыс. ячеек информационно-логическая система (или Машина) способна самовоспроизвести свою копию (будучи помещенной в резервуар с необходимыми запасными частями и комплектующими).

Таким образом, в принципе возможна машинная эволюция, многократно обыгранная в научно-фантастических романах, где сталкиваются человеческая и машинная цивилизации или их представители. Нейрофизиологи обнаружили, что нейронные сети человеческого мозга во многом состоят из подобных по строению клеток, которые могут находиться в возбужденном или в заторможенном состояниях. Нейронные сообщества - участки коры мозга из нескольких сотен клеток, связанных между собой синаптическими связями, считаются единичными модулями коры. Было показано, что уже простые модельные нейронные сети, состояние ячейки которой зависит от силы воздействия соседей, способны создавать свои точные копии.

Более того, при циклическом и синхронном изменении порогов срабатывания нейронов (перехода между двумя состояниями) в связанных между собой модулях распространяются волны «обучения», когда модули воспроизводят в себе информацию, содержащуюся в соседнем участке (самовоспроизводят информацию), что проливает свет на процесс запоминания и распознавания образов человеком [18]. Самовоспроизведение и связанный с ним эффект образования однородных областей, состоящих из одинаковых ней-

ронных сетей, естественным образом объясняет дифференциацию и специализацию различных участков мозга как результат спонтанной самоорганизации системы взаимодействующих нейросетей.

Общий вывод, который следует из приведенных примеров, состоит в том, что такие важнейшие свойства совместно эволюционирующих систем (Вселенная, звезды, жизнь на Земле и разум), как сложность, устойчивость, кажущаяся целенаправленность развития, могут быть следствием простых явлений, управляемых совокупностью общих законов.

Фактически в этом основа формирующейся эволюционно-синергетической парадигмы современного естествознания. В её рамках целью отдельных наук и научных направлений является поиск тех простых правил, которые и порождают изумительное разнообразие структур и форм в окружающем человека мире.

Хрестоматия к главе 7

Основные понятия синергетики

Термин «синергетика» возник сравнительно недавно, однако уже стал общепризнанным: скажем, в физическом энциклопедическом словаре им обозначена *новая область научных исследований, цель которой - выявление общих закономерностей в формировании структур*. Тем не менее до сих пор идут споры: синергетика- это особое направление в науке или метод? Говорят, что синергетика даже ни то и ни другое, а просто лозунг, призывающий применять методы, разработанные в одних областях, к исследованию явлений из других. Думается, это все же не так. Множество одних и тех же математических методов применяется представителями разных наук, но никаких споров относительно их роли и места под научным солнцем не возникает. С синергетикой же все сложнее и интереснее: это не просто научное направление, а определенная система взглядов на окружающий мир, позволяющая получать нетривиальные конкретные результаты. Важный отличительный признак систем, подпадающих под действие немногих, но фундаментальных принципов синергетики,- нелинейность.

Кроме того, это системы открытые, то есть через их границы происходит обмен веществом и энергией с другими системами. Наконец, они диссипативны: в них, например, механическая энергия превращается в тепло, а также происходят другие превращения, из-за которых процессы в таких системах оказываются необратимыми. Можно сказать, что синергетика - это теория самоорганизации открытых диссипативных нелинейных систем.

Все сложные природные системы - от галактики до клетки, от циклона в атмосфере до водоворота в ручье - открытые и диссипативные, а большая их часть нелинейна. Так, Мировой океан суть открытая, диссипативная и не-

линейная система. Климатическая система Земли, включающая атмосферу, гидросферу и криосферу (лед и снеговой покров) и функционирующая благодаря притоку солнечной радиации, относится к объектам такого же рода. В таких системах неизбежно должны происходить процессы самоорганизации. Вопрос, однако, не в том, происходит ли самоорганизация (организованность геофизических систем очевидна), а в том, происходит ли она так, что у нас есть надежда разобраться в цепи ее причинно-следственных связей.

Среди основных принципов синергетики одним из самых важных является принцип подчинения, введенный Г. Хакеном (отцом термина «синергетика») в качестве фундаментального теоретического способа описания процессов самоорганизации. Обычно сложная система характеризуется большим числом переменных, для каждой из которых необходимо выписать уравнения, задать начальные и граничные условия и т. п. Принцип подчинения довольно часто позволяет избежать этого и свести решение сложной задачи к решению небольшого числа уравнений для сильно укороченного набора переменных, называемых параметрами порядка.

Принцип подчинения состоит в утверждении, что в самоорганизующихся системах у некоторых переменных время релаксации много больше, чем у других. Медленно меняющиеся переменные как раз и описывают реальное поведение системы во времени, тогда как «быстрые» определяются их значениями. Получается так, будто одни переменные приспособляются к другим, «подчиняются» им. В этом случае число уравнений, которые нужно решать, резко уменьшается. Поведение становится когерентным: по определенным законам меняется во времени лишь небольшое число переменных - параметры порядка, другие же, почти мгновенно приспособившись, просто следуют за ними.

Другой важный принцип синергетики - принцип конкуренции мод. Вообще говоря, любое движение в пространстве можно представить в виде суперпозиции большого (иногда очень большого, формально - бесконечного) числа так называемых нормальных мод (или волн с различными длинами и частотами), распространяющихся вдоль осей координат. Идея разложения любого движения на элементарные волны представляет собой главное положение известного метода Фурье - анализа, который основан на том, что любую функцию можно разложить в ряд Фурье по другой системе функций.

В синергетике метод нормальных мод пришелся очень кстати. Оказалось, что в нелинейных системах некоторые моды усиливаются намного быстрее других, в то время как эти другие либо растут медленно, либо вообще сразу затухают. Важно, что среди растущих мод самые быстрые оказываются наиболее долгоживущими и подчиняют себе остальные, в том числе даже неустойчивые, но медленнее растущие. Возникает упорядоченное поведение, и формируются когерентные структуры из небольшого числа мод. Такое поведение напоминает динамику предприятий в условиях свободного предпринимательства, когда в конкурентной борьбе выживают сильнейшие из них,

подавляя или поглощая более слабые. Такая иллюстрация позволяет более наглядно представить значение терминов «конкуренция движений» и «конкуренция мод».

Прежде чем обсуждать самоорганизацию в конкретных геофизических системах, необходимо рассказать о таких ключевых понятиях синергетики, как термодинамическая ветвь и диссипативные структуры.

Уравнения модели некоторой системы могут давать при определенных значениях ее параметров стационарное устойчивое решение. В этом случае говорят, что система находится на термодинамической ветви. Однако при превышении каким-то параметром критического значения такое состояние может смениться совсем другим, при котором под влиянием тех же самых внешних воздействий образуются новые структуры в пространстве и времени. Подобные процессы возможны только в открытых, диссипативных системах, поэтому сами эти структуры называют диссипативными.

Сейчас понятие диссипативных структур расширилось: кроме стационарных, говорят о нестационарных диссипативных структурах - спиральных автоволнах, волнах в транспортных потоках и многих других.

Систему называют агрегированной, если ее можно описать сосредоточенными параметрами, едиными для всей системы (скажем, средней кинетической энергией или количеством вещества в реакторе). Такая система может находиться на термодинамической ветви, и тогда ее параметры остаются неизменными, а может произойти самоорганизация во времени, и эти параметры будут эволюционировать. Вообще говоря, самоорганизация иногда выражается в довольно сложной форме, приводя даже к стохастизации или хаотизации процессов. Состояние агрегированной системы в каждый момент времени обычно изображают точкой в фазовом пространстве - условном многомерном пространстве, по осям которого отложены значения характеризующих систему параметров, а изменение ее состояния соответствует движению этой точки вдоль некоторой фазовой траектории.

Важно, что для большинства систем существуют аттракторы - выделенные фигуры в фазовом пространстве, к которым стремятся фазовые траектории. Если же в агрегированной системе удастся выделить всего два параметра порядка (скажем, количество льда и температуру океана, кинетическую и потенциальную энергию, численность двух видов микроорганизмов, расходы и доходы), то в таком двумерном мире единственной формой самоорганизации, уводящей систему с термодинамической ветви, является переход в автоколебательный режим с простейшим аттрактором - так называемым предельным циклом. Модель мира в таком случае становится как бы черно-белой, лишенной оттенков.

Большая часть колебательных режимов в сильно неравновесных системах - осцилляции Эль-Ниньо, колебания оледенения в плейстоцене, образование меандров в струйных течениях - имеет четко выраженный релаксационный характер. Это означает, что в какой-то момент система становится не-

устойчивой и одна или несколько характеристик начинают быстро расти, черпая ресурсы для такого роста у других переменных. Например, при возбуждении механических автоколебаний кинетическая энергия растет, а потенциальная - убывает (обычно неустойчивость развивается настолько быстро, что поступлением энергии из окружающей среды можно пренебречь и рост кинетической энергии полностью обеспечивается расходом потенциальной). Аналогично, если в результате реакции в химической системе содержание одного вещества растет, количество других реагирующих веществ должно убывать. Естественно, в таких процессах рост переменных ограничивается обеспечивающими его запасами. Когда ресурсы исчерпаны, рост обрывается, переменная вследствие диссипации быстро принимает прежнее значение и начинается новая фаза накопления ресурсов.

В случае релаксационных колебаний графики зависимости от времени переменной, потребляющей ресурс, и самого ресурса различаются: для переменной характерны острые пики, разделенные длительными интервалами низких значений, в то время как ресурс в эти длительные интервалы медленно растет, а в моменты пиков - резко убывает. Конечно, в природе и технике встречаются совершенно разные колебательные режимы: от практически гармонических, синусоидальных до релаксационных, импульсных. Как гармонические, так и релаксационные колебания характерны и для процессов в экономике - например, колебания спроса и предложения. Тем не менее чаще встречается именно такая ситуация, когда времена накопления и расхода ресурсов различны и колебания имеют "несимметричный" вид.

Сеидов Д.Г. Синергетика геофизических процессов // Природа.- 1989.- № 9.- С.25- 32.

История возникновения синергетики

В классической науке до конца XIX в. господствовал жестко детерминированный стиль мышления. Идеалами научного знания служили простота, линейность, полное исключение неопределенности и случайности. Многих пугал хаос. Существовало стремление всюду установить однозначные динамические законы, которым подчинялись бы все явления действительности. Случайность изгонялась из научных теорий, а неравновесность и неустойчивость воспринимались как досадные неприятности. Эта картина мира - лапласовский детерминизм - осознается в современном естествознании как чрезмерно упрощенная теоретическая схема.

Вместе с бурным развитием статистических теорий в XIX в. (теория азартных игр, теория ошибок измерений, статистическая физика, демографические исследования, статистика преступлений и т.д.) происходил переход к вероятностному стилю научного мышления. Возникновение и развитие квантовой механики в первой трети XX в. завершило коренной переворот в к новой картине мира, в которой вероятность и категории случайности заняли

прочное и почетное место. Переход к неклассической науке сопровождался, таким образом, развенчанием наивного убеждения классической науки, что случайность есть лишь неполнота нашего знания исследуемых явлений. Наоборот, когда статистические теории получили окончательное признание, появилась иная крайность - тенденция рассматривать статистические закономерности как более фундаментальные, дающие более глубокое знание, чем динамические.

Наконец, интенсивное развитие системных исследований и кибернетики, происходившее в течение последних десятилетий, ведет к очередному изменению в стиле научного мышления. Новый, системный стиль мышления не отменяет вероятностного видения мира, но дополняет его такими важнейшими категориями, как сложность, системность, синергетичность.

Основателями синергетики стали И. Пригожин и Г. Хакен. Другие известные зарубежные и отечественные исследователи феноменов самоорганизации - М. Эйген, В.И. Арнольд, А.В. Гапонов-Грехов, Н.Н. Моисеев, А.А. Самапский, Я.Г. Синай, В. Волькенштейн, Г.Р. Иваницкий, М.И. Рабинович, Ю.А. Данилов, Б.С. Кернер, Ю.Л. Климонтович, В.И. Кринский, А.С. Михайлов, В.В. Осипов, С.В. Петухов, Ю.М. Романовский, Д.С. Чернавский и многие другие.

Синергетика является наукой о самоорганизации в потоках. Ее наиболее характерные черты - открытость систем, нелинейность сред (в которых эти системы существуют), самоорганизация и самодостраивание структур, неоднозначность путей эволюции и их выбор через бифуркации, наличие катастрофических изменений в результате малых случайных воздействий, порядок через флуктуации и широкий диапазон изучаемых систем. Краткая характеристика синергетики как новой научной парадигмы может быть выражена по трем ключевым идеям: открытые системы, нелинейность и самоорганизация. Другими важными понятиями являются параметры порядка и аттракторы.

Под аттрактором понимают относительно устойчивое состояние системы, которое как бы притягивает к себе множество траекторий эволюции системы, определяемых разными начальными условиями. За этим термином стоят визуальные образы неких «воронок», «конусов», «каналов», которые свертывают, втягивают в себя множество траекторий и определяют ход эволюции системы на участках, даже отдаленных от непосредственного «жерла» таких «воронок». Следует уточнить, что аттракторы - это области фазового пространства, куда в конечном итоге попадают фазовые траектории процессов, да так там и остаются. В целом аттракторы характеризуются, как правило, их фазовыми портретами. Фазовый портрет странного аттрактора - это уже не точка или кривая, а некоторая область, по которой происходят случайные блуждания траектории состояния системы. Иногда под аттракторами понимают также реальные структуры в реальном пространстве и времени, на которые «выходят» процессы самоорганизации в открытых нелинейных систе-

мах. Структуры - аттракторы выглядят как цели эволюции системы, и в качестве таких целей могут выступать как хаотические состояния, так и различные типы структур, имеющих симметричную, правильную, упорядоченную архитектуру.

Структура в синергетике - это локализованный в определенном участке среды процесс, а не застывший объект наблюдения (точка, тело и т.д.). Такой процесс имеет свою физическую природу, геометрическую форму и способность перемещаться в среде. Пока структуры находятся на квазистационарной стадии развития, из них могут образовываться другие структуры, из тех - третьи и так далее. В том, какие структуры могут получаться, большое значение имеют характеристики исходных элементов. Далее, когда структуры перешли порог медленного роста, они начинают развиваться сверхбыстро в режиме обострения (реализуемого с помощью положительной обратной связи). Вблизи момента обострения сложные локализованные структуры становятся неустойчивыми и распадаются даже под действием малых флуктуаций. Неизбежный распад сложных и быстроразвивающихся структур - одна из объективных закономерностей мироустройства с точки зрения современного естествознания.

Характеристики среды задают спектр возможных структур, которые могут образоваться в открытой системе. Граничные условия здесь играют подчиненную роль. Идею о спектре возможных структур можно пояснить рядом конкретных следствий.

1. Даже в относительно простой нелинейной среде потенциально существует множество типов структур или путей эволюции. Даже в относительно простой среде может скрываться целый «зоопарк» возможных потенциально структур.

2. Не все, что угодно, будет поддерживаться в данной среде (или в системе). Могут возникать только те структуры, которые в ней потенциально заложены и отвечают собственным тенденциям процессов в данной нелинейной среде. И ничего иного в качестве метастабильного устойчивого состояния не может быть самопроизвольно сконструировано на этой среде. Это своего рода эволюционные правила запрета.

3. Спектр структур, скрытый в нелинейной среде структур - аттракторов предстает как нечто идеальное, как спектр гипотетических целей эволюции. Отсюда вытекает связь с проблемой предопределенности. Если система попала в конус притяжения аттрактора, то существует жесткая установка на определенное будущее состояние.

4. Моменты поворота к тому или иному аттрактору задают точки бифуркации. Бифуркации являются точками ветвления путей эволюции открытой нелинейной системы в одной и той же среде (но не при изменении сред).

Так мы приходим к примечательному результату. Хотя организация мира такова, что все в нем в общем устойчиво, но эта устойчивость относительна, до определенной степени, на некоторой (пусть и длительной) стадии

развития. Все в мире метестабильно. Сложно организованные системы имеют тенденцию распадаться, достигая своего развитого состояния. Неустойчивость диалектична. Устойчивость вырастает из неустойчивости в результате неустойчивости, ибо начало, рождение нового структурного образования связано со случайностью, хаосом, неустойчивостью.

Разумовский О.С., Хазов М.Ю. Синергетика. Самоорганизация в природе.- - Выпуск 2. - Том 1. - Томск: Изд.-во Томского ун-та. - 1998г. - с. 117-131.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Кроме мира живых существ и неорганической природы, есть ещё другие сферы, в которых происходят определенные процессы развития, определенная эволюция. Это сферы человеческого познания, культуры, языков, технологий, информатики и так далее - до социальных структур. Недавно была показана изоморфность прогресса познания и эволюции биосферы [20], несмотря на разные временные масштабы и области проявления. Можно ожидать аналогичных механизмов развития и других вышеназванных сфер человеческой деятельности. В частности, за последние 10 - 15 лет наблюдается повышенное внимание к исследованию механизмов культурной эволюции. Некоторые черты поведения животных, передаваемые потомству не генетически, а, как у человека, - при посредстве подражания и обучения, рассматриваются в качестве элементов культуры, что создает возможности моделирования развития культуры у певчих птиц, например, используя акустические записи их песен. Дивергенция археологических культур сопоставляется с дивергенцией языков и физических черт этнических групп, и выявляются определенные согласованные изменения [21].

Периодические процессы в музыкальном творчестве за последние три столетия имеют корреляцию со стилевой ориентацией в архитектуре и циклическими изменениями социально-психологической обстановки в обществе. История искусства (самая гуманитарная из наук!), которая еще во многом излагается в виде совокупности отдельных тенденций, слабо связанных друг с другом, начинает обретать эволюционную системность, согласуясь с контекстом естественнонаучного знания [22]. Корреляция процессов в биосфере Земли с активностью Солнца установлена статистически и может иметь еще полностью не осознанную синхронизирующую роль в коэволюционном комплексе. Таким образом, на современном этапе развития естествознания вновь проявляется целостность всего материального мира, в котором нет ничего внешнего и выделенного, а все взаимосвязано.

Методы физики, химии, математики внедряются в науки о живом веществе, в первую очередь - в биологию. Ответная волна влияния состоит в применении идеи эволюции, понятий онтогенеза и филогенеза к объектам традиционного физико-химического изучения («косного», по выражению В.И. Вернадского, вещества). И тогда начинают проявляться общие тенденции развития природы, перехода с одной ступени иерархической лестницы уровней организации материального мира на другую. Для взаимопревращений единичных объектов второе начало термодинамики принимает форму принципа минимума внутренней энергии. В ретроспективе онтогенеза единичных объектов неживой природы мы видим, что целые классы единичных объектов (ядра, атомы, молекулы) стремятся уменьшить свою внутреннюю энергию. Это происходит самопроизвольно при таком усложнении структуры, которое ведет к выделению энергии во внешнюю среду (дефект массы

ядра, теплота образования соединений и т.д.). Но когда внутри объекта - системы (ядра или молекулы) нарастает число и разнообразие структурных элементов, в свои права вступает второе начало термодинамики. Начинается отбор (филогенез) структур в сфере действия коллективной неустойчивости. Происходит удаление от равновесного состояния системы, повышается степень ее открытости, готовятся условия для очередной самоорганизации, но уже на новом уровне строения новых объектов.

В 1981 г. В.С. Троицкий высказал оригинальную гипотезу, непосредственно связывающую процесс появления Жизни и развития ее форм с определенным этапом в эволюции Вселенной, «запущенной» Большим Взрывом около 17 млрд. лет назад. По его мнению, Жизнь возникает как закономерный этап эволюции вещества во Вселенной, причем ее возникновение есть пороговый, однократный, общий для всех областей Вселенной процесс. Предполагается, что Жизнь возникает с высокой вероятностью одновременно во всех планетарных системах, которые были к этому периоду времени «приготовлены» предыдущим развитием Вселенной и галактик.

Иначе говоря, по В.С. Троицкому, в определенное время во Вселенной происходит «Большой взрыв жизни»! Впоследствии, при образовании новых поколений звезд и новых планетарных систем с подходящими для жизни условиями, она зарождается уже по «проторенной дорожке», возможно с участием процесса панспермии, о котором мы говорили в предыдущих разделах.

Если это так, то возникает вопрос о временных рамках реализации Большого взрыва жизни. К какому поколению принадлежит жизнь на Земле? Были ли ранее другие космические цивилизации? Есть ли они в «наше» время во Вселенной? В нашей Галактике? Вопросы открыты для обсуждения. Отсутствие каких-либо экспериментальных данных о признаках существования (или следов существования) внеземных цивилизаций в настоящее время может быть интерпретировано как указание на то, что мы - первые, точнее, в числе первых. Тогда следует вывод о примерно одинаковом уровне развития цивилизаций «одного поколения», хотя темпы развития могут отличаться в зависимости от конкретных физико-химических условий в местах зарождения других цивилизаций.

Возможно, будущие открытия позволят более определенно судить о том, был ли на самом деле единовременный рубеж перехода от эволюции неживого вещества к эволюции Жизни и Разума во Вселенной и существуют ли в ней «волны жизни»..

Следует отметить, что в течение ядерно-физической, химической и биологической стадий эволюции вещества во вселенной и на Земле сложность структур непрерывно увеличивалась, как и число типов новых структур. Важно, что при этом последовательно уменьшалась величина энергии взаимодействия элементов структуры. Это хорошо видно при переходе от элементов ядра (нуклонов) к ядрам, атомам и молекулам. Энергия связей, удерживающих молекулы-мономеры в составе биополимера, на много по-

рядков меньше энергии связи нуклонов в ядрах атомов. Сложная пространственная структура молекул ДНК и белков-ферментов поддерживается еще более слабыми водородными и обменными связями (по порядку величины приближающимися к энергии теплового движения простых молекул и атомов). Однако возможности образования новых типов молекулярных структур стали неизмеримо большими. Ведь отдельные части макромолекул могут относительно легко перестраиваться и переориентироваться, менять конформацию. Увеличение типов структурных элементов, их форм и энергетических состояний позволяют резко увеличить объем переносимой информации, а именно этот фактор определяет ход биологической эволюции.

Объединение элементов в новую форму (ступень) иерархической организации увеличивает шансы на прогрессивное развитие. Однако при росте числа взаимодействующих элементов в данной системе нарастает коллективная неустойчивость и кризис разрешается при переходе к более высокому уровню на «лестнице» форм неживого и живого вещества.

Встает вопрос о возможности последующего перехода разума на более высокую ступень «сверхинтеллекта», способного перейти от адаптационной деятельности к преобразующей, к коренной реконструкции окружающего мира - созданию сферы Дайсона, использованию энергии внутренних областей галактик и тому подобному. Ответ на него пока прорабатывается, скорее, в философском и художественном осмысливании ситуации на уровне научно-фантастического жанра, чем в плане научной футурологии. С точки зрения современного естествознания есть основания считать, что более высокой ступени развития материи, чем разум, не существует и что в своей творческой деятельности человеческий разум, усиленный логической мощью глобальных компьютерных сетей, не выйдет за рамки Природы, оставаясь внутри неё и используя её законы.

Современное естествознание не дает также повода философски заострять вопрос о функциональной цели эволюции и считать самоценным только возникающее, эволюционно новое [18]. Наоборот, принцип необходимого разнообразия и концепция коэволюции неживой и живой природы ориентируют на единовременное сосуществование различных форм материи, на признание ценности всего существующего без подавления «братьев наших меньших» (по выражению С. Есенина). Здесь можно констатировать, что в какой-то мере нормы гуманитарной культуры усиливаются в итоговой концепции современного естествознания.

Человек - дитя Природы, и старый лозунг борьбы и неперемогенного покорения Природы становится аморальным. Вместо этого необходима целевая установка на гармонию и коэволюцию с Природой. По словам Н.Н. Моисеева необходим компромисс между полным невмешательством и покорением Природы: воздействовать на биосферу, адаптируя её к нашим целям и потребностям, но и сами эти цели и потребности адаптировать к возможностям биосферы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Терентьев М.В. История вакуума // Сибирский физический журнал.- 1997.-№1.-С.57-67.
2. Берн Э. Введение в психиатрию и психоанализ для непосвященных.- СПб: МФИН, 1992.- 448 с.
3. Суханов А.Д., Буданов В.Г., Мелехова О.П. Примерная программа дисциплины «Концепции современного естествознания»: Издание официальное. –М.; ГКВО РФ,1996.- 9 с.
4. Моисеев Н.Н., Поспелов И.Г. Направленность эволюции и разум // Природа.-1990.-№4.-С. 3-7.
5. Пономарев Л.И. Под знаком кванта.-М.:Наука,1989.-368с.
6. Браш С. Дж. Как космология стала наукой // В мире науки.-1992.- №9.-С.102-108.
7. Хоровиц Н. Поиски жизни в солнечной системе.-М.: Мир, 1988.-187 с.
8. Рубин А.Б. Биофизика.-М.:ВШ,1987.-Т.1.-319с.-Т.2.-303с.
9. Дольник В.Р. Непослушное дитя биосферы: Беседы о человеке в компании птиц и зверей.-М.: Педагогика-пресс, 1994.-384 с.
10. Тарасов Е.К. Случайна ли эволюция? // Химия и жизнь.-1980.- №2.- С.57-65.
11. Красилов В. Когда гибнут сильные // Знание – сила.-1987.-№2.- С.50-54.
12. Уголев А.М. Трофология – новая междисциплинарная наука // Природа.-1987.-№2.-С.3-14.
13. Пайтген Х.-О., Рихтер П.Х. Красота фракталов.-М.: Мир,1990.-167 с.
14. Чернавский Д.С. Синергетика и информация.-М.:Знание,1990.-64с.
15. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах: от диссипативных структур к упорядоченности через флуктуации.- М.:Мир,1979.-512 с.
16. Осипов А.Н. Самоорганизация и хаос (очерк неравновесной термодинамики). - М.:Знание,1986.-64с.
17. Черносивитов П.Ю. Избыточность как главный фактор эволюции //Природа.-1992.-№4.-С.19-25.
18. Введенский В.Л., Ежов А.А. Ритмы мозга и самовоспроизведение информации//Природа.-1990.-№4.-С. 33-44.
19. Эткинс П. Порядок и беспорядок в природе. - М.: Мир,1987.-224 с.
20. Кутырев В.А. Универсальный эволюционизм или коэволюция? // Природа.-№8.-С.4-10.
21. Данилова О.Н., Петров В.М. Периодические процессы в музыкальном творчестве //Природа.- 1988. - №10. - С. 54 - 59.
22. Горелов А.А. Концепции современного естествознания. - М.: Центр, 1997. - 207 с.

23. Рузавин Г.И. Концепции современного естествознания. - Культура и спорт,1997.-287 с.
24. Дубнищева Т.Я. Концепции современного естествознания.- Новосибирск: ООО Издательство ЮКЭА,1997. - 832 с.
25. Фритш Г. Основа нашего мира.-М.:Энергоатомиздат,1985.-208с.
26. Эйген М., Шустер П. Интерцикл. Принципы организации материи.- М.:Мир,1982.
27. Добронравова И.С. Синергетика: становление нелинейного мышления. - Киев:Лыбедь, 1990. - 147с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ИСТОКИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ. КОНЦЕПЦИИ ЭЛЕМЕНТАЛЕЙ	9
1.1. Деистические концепции сотворения мира.....	10
1.2. Античные концепции элементарей окружающего мира	11
1.3. Концепция классического атомизма.....	12
1.4. Концепция атома как планетарной системы	13
1.5. Проблема адекватного описания микромира	17
1.6. Пространственный аспект иерархии структурных уровней	21
2. КОНЦЕПЦИИ ПРОСТРАНСТВА - ВРЕМЕНИ	23
2.1. Классические концепции Движения, Пространства, Времени.....	23
2.2. Парадоксы Движения.....	26
2.3. Концепция четырехмерного пространства - времени	29
2.4. Применение СТО в современном естествознании	31
2.5. Общая теория относительности А. Эйнштейна	34
2.6. Динамические поля гравитации	35
3. КОНЦЕПЦИИ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ПОЛЕЙ И ЧАСТИЦ.....	39
3.1. Концепции близко- и дальнего действия	39
3.2. Взаимодействие электромагнитных полей с частицами вещества	40
3.2.1. Классическое рассеяние на электронных оболочках атомов	41
3.2.2. Фотовозбуждение оболочек атомов и ионов	42
3.2.3. Фотоэлектрический эффект	43
3.2.4. Эффект Комптона	44
3.2.5. Эффект комбинационного рассеяния света (эффект Рамана).....	45
3.3. Фундаментальные частицы вещества	45
3.4. Основные положения концепции электрослабых взаимодействий	49
4. ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ	56
4.1. Смена классической концепции мироздания.....	56
4.2. Движение и столкновения галактик.....	59
4.2.1. Строение нашей галактики	59
4.2.2. Волны в галактиках	60
4.2.3. Столкновения галактик	61
4.3. Закон Э. Хаббла и будущее Вселенной.....	63
4.3.1. Эффект Доплера.....	64
4.3.2. Закон Хаббла	65
4.3.3. Будущее Вселенной	66
4.4. Прошлое Вселенной.....	69
4.4.1. Две концепции Вселенной	69
4.4.2. Реликтовое излучение Большого взрыва.....	70
4.4.3. Из чего рождается Вселенная?	73
4.4.4. Инфляция Вселенной	74
4.4.5. Другие этапы Большого взрыва	75

4.5. Космические циклы	77
4.5.1. Что первично - галактики или звезды?	77
4.5.2. Параметры звезд.....	79
4.5.3. Циклы эволюции звезд	81
4.6. Нерешенные проблемы	89
Хрестоматия к главе 4	90
5. ЭВОЛЮЦИЯ ЖИЗНИ	93
5.1. Концепция множества обитаемых миров	93
5.2. Поиски планетарных систем	94
5.3. Гипотезы образования «колыбели жизни»	97
5.4. Гипотезы возникновения жизни	101
5.4.1. Концепция самозарождения жизни.....	101
5.4.2. Концепция панспермия.....	103
5.4.3. Концепция физико-химической эволюции	104
5.5. Кодирование и воспроизводство биологической информации	109
5.5.1. Состав и структура белков	109
5.5.2. Нуклеиновые кислоты	112
5.5.3. Принцип кодирования аминокислотных последовательностей.....	115
5.5.4. Механизм биосинтеза белков	117
5.5.5. Механизм клеточной стабильности	119
5.5.6. Межклеточный обмен веществами	120
5.6. Физические способы ускорения обмена веществ	126
Хрестоматия к главе 5	128
6. ЭВОЛЮЦИЯ БИОСФЕРЫ	137
6.1. Неизбежность развития	137
6.2. Концепции эволюции	139
6.2.1. Концепция Ламарка	140
6.2.2. Концепция Дарвина	141
6.2.3. Случайна ли эволюция?.....	141
6.2.4. Геобиологические циклы	142
6.2.5. Трофический перенос информации.....	144
6.3. Составляющие биосферы	144
6.4. Адаптация популяций в биоценозах	147
6.4.1. Адаптация на молекулярном уровне.....	147
6.4.2. Адаптация «хищник – жертва».....	148
6.4.3. Адаптация к условиям кризисов.....	150
6.5. Динамический хаос в изолированной популяции	151
6.6. Ресурсы и численность населения Земли	155
Хрестоматия к главе 6	161
7. УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЭВОЛЮЦИОНИЗМ И КОЭВОЛЮЦИЯ	163
7.1. Диссипативные структуры	164
7.2. Системный подход к процессам эволюции	166
7.3. Сложность простых систем	168
Хрестоматия к главе 7	171
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	178
ЛИТЕРАТУРА	181

Вячеслав Алексеевич Стародубцев

**КОНЦЕПЦИИ
СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ**

Учебное пособие

Научный редактор
доктор физико-математических наук, профессор В.Ф.Пичугин

Редактор Н.Т. Синельникова

Подписано к печати
Формат 60x84/16. Бумага ксероксная.
Плоская печать. Усл. печ. л. 10,7 .Уч.-изд. л. 9,68.
Тираж экз. Заказ . Цена свободная.
ИПФ ТПУ. Лицензия ЛТ № 1 от 18.07.94.
Типография ТПУ. 634034, Томск, пр. Ленина, 30.