

Электронная версия книги, опубликованной издательством КГТУ в 2001 году

Ю.Б.Слезин

Концепции современного естествознания

Учебное пособие

(Краткое содержание курса лекций, прочитанных студентам экономического факультета КГТУ)

Оглавление

Введение. Определение основных понятий. Наиболее общие концепции	3
1.1. Понятия «концепция» и «естествознание». Концепции объективного существования и «единства мира»	3
1.2. Зачем человеку нужна картина мира?	5
1.3. Как строилась человеком картина мира? Что такое «наука»?	7
1.4. О научном методе. Концепция «простоты природы»	9
Краткие итоги главы 1	13
Вопросы к главе 1	14
2. Стационарная картина мира	14
2.1. Концепция стационарности	14
2.2. Из чего построен мир - концепция элемента;	
концепции - континуальная и корпускулярная	16
2.2.1. Химические элементы	17
2.2.2. Систематика химических элементов - таблица Менделеева	17
2.2.3. Принцип симметрии	18
2.2.4. Элементарные частицы	19
Краткие итоги раздела 2.2.	21
Вопросы к первой части главы 2	22
2.3. Как из элементов строится мир?	22
2.3.1. Концепции пространства, времени и взаимодействия	22
2.3.2. Ньютоновская теория всемирного тяготения - концепция центральных дальнодействующих сил. Классическая механика	24
2.3.3. Теория относительности	25
2.3.4. Электромагнитное взаимодействие. Концепция поля	28
2.3.5. Электромагнитное взаимодействие как основа большинства сложных взаимодействий	

2.3.6.	Квантовая механика, дискретность микромира. Сильное и слабое взаимодействия.....	30
2.3.7.	Попытки создания единой теории фундаментальных взаимодействий.....	33
	Краткие итоги раздела 2.3.....	35
	Вопросы к второй части главы 2	36
3.	Нестационарная картина мира	37
3.1.	Как строится макроструктура мира? Сложные коллективные взаимодействия, синергетика. Нестационарность.....	37
3.2.	Термодинамика. Энергия и энтропия. Общее направление эволюции Вселенной.....	38
3.2.1.	Понятие энергии. Первое начало термодинамики.....	39
3.2.2.	Тепловая энергия. Понятие качества энергии. Второе начало термодинамики.....	40
3.3.	Причина возникновения структур. Динамические системы и диссипативные структуры.....	43
3.4.	Как возникают новые структуры? Устойчивость структуры. Механизм эволюции.....	46
3.4.1.	Механизм потери устойчивости. Математическая “теория катастроф”.....	48
3.4.2.	Некоторые примеры диссипативных структур.....	56
3.4.3.	Эволюция наиболее сложных биологических структур.....	57
	Вопросы к главе 3.....	58
4.	Современная картина мира.....	58
4.1.	Общее устройство и эволюция Вселенной.....	58
4.2.	Основные компоненты Вселенной.....	63
4.2.1.	Эволюция звезд.....	65
4.2.2.	Образование планетных систем.....	67
4.3.	Строение и жизнь Земли.....	69
4.4.	Географическая оболочка и биосфера.....	72
	Вопросы к главе 4.....	73
5.	Эволюция биосферы.....	74
5.1.	Возникновение жизни и механизм ее эволюции.....	74
5.2.	Общая схема эволюции и биосфера.....	77
5.3.	Эволюция биосферы после появления человека. Проблемы экологии.....	78
5.4.	Есть ли еще жизнь во Вселенной?	84
6.	Сценарии дальнейшей эволюции Вселенной.....	87
	Вопросы к главам 5 и 6	90
	Общее заключение.....	90

1. Введение.

Определение основных понятий. Наиболее общие концепции.

1.1. Понятия «концепция» и «естествознание». Концепции объективного существования и «единства мира»

Концепция - происходит от латинского слова **conceptio** - «восприятие» и означает систему взглядов на те или иные явления, способ рассмотрения, понимание. Может также означать общий замысел творца чего-либо нового - научной теории, книги, архитектурного сооружения и т.д.

Естествознание - совокупность наук о природе - **естественных наук**.

Концепции современного естествознания - это **современный взгляд на окружающий мир, общее представление физической картины мира**. Физическая картина мира не есть нечто полностью завершенное, на протяжении человеческой истории по мере накопления знаний она постоянно видоизменялась и безусловно будет видоизменяться впредь. То, что мы называем **концепциями современного естествознания**, включает в себя и **принципы обобщения вновь появляющихся фактов**, приводящие к изменению взгляда на мир.

В самом начале подчеркнем, что концепции представляют собой основу для обобщения, для выявления и описания **связей** между отдельными фактами, между природными объектами и явлениями. Дальше мы будем подробнее разбирать почему так необходимо не только знание фактов, но, и главным образом, связей между ними.

Вообще взгляд на мир, представление любой *целостной* картины, а не отрывочного набора случайных образов всегда базируется на определенных *концепциях*, существующих в нашем мозгу. Они проникают в мозг и закрепляются там первоначально помимо нашей воли как интуитивное обобщение опыта как собственного так и накопленного другими. Воспринимая окружающий мир, мы всегда базируемся на каких-то концепциях, образующих определенную систему, даже если не осознаем этого, так же как не осознавал известный литературный герой, что в разговоре он употребляет прозу.

Здесь мы рассмотрим *систему* концепций, лежащих в основе современных **научных** представлений об окружающем нас мире и о путях его познания. Эта система сознательно создавалась и продолжает совершенствоваться лучшими умами человечества, и на ее основе выросли все современные научные и технические достижения. Ее усвоение необходимо для плодотворной деятельности в любой области и требует определенных умственных усилий.

Говоря о физической *научной* картине мира, мы принимаем первую концепцию - концепцию **объективного существования нашего мира**. Эта концепция не

самоочевидна и в истории науки являлась предметом многочисленных дискуссий. Дело в том, что, познавая мир, мы имеем дело не непосредственно с предметами и явлениями, а с их образами в нашем сознании. Именно этими образами манипулирует наше мышление, занимаясь обобщениями, отыскивая закономерные связи между явлениями, и априори не очевидно, что такие закономерности должны существовать и **вне** нашего сознания. Существование **объективной** картины мира и одновременно способность нашего сознания эту картину *адекватно* отражать подтверждается *воспроизводимостью* результатов, полученных не только одним, но и разными исследователями, в разных местах и в разное время. Однако при этом всегда остается место для сомнений, особенно, когда мысленные образы не могут быть сопоставлены с *прямыми* наблюдениями, как это имеет место, например, при описании явлений *микромира* - элементарных частиц, квантовых явлений. Тем не менее, все развитие науки, каждый новый ее шаг, само ее существование и ее необыкновенная практическая эффективность утверждают высказанную концепцию.

Кроме естественных обычно рассматривают широкий класс **гуманитарных наук**, изучающих все, что связано с так называемой **духовной** и **интеллектуальной** деятельностью человека и человечества, моралью и нравственностью, взаимоотношениями людей и организацией общества.

И естественные и гуманитарные науки являются частью **культуры**. Культура - понятие очень широкое. Этим словом обозначают разные процессы и явления, связанные с человеческой деятельностью. Полезно определять ее как *инструмент*. В одном из первых учебников по концепциям современного естествознания было дано такое определение: *«Культура - это система средств человеческой деятельности, благодаря которой программируется, реализуется, стимулируется активность индивида, групп, человечества в их взаимодействии с природой и между собой»*. В основе всякой деятельности лежит информация и сама деятельность связана с непрерывной обработкой этой информации. В наш век информатики культуру в человеческом обществе можно рассматривать как нечто подобное операционной системе компьютера. Программы, эффективно работающие в системе MS Windows, отказываются работать в среде Macintosh. То же и с человеком: воспитанный в европейской культуре индивидум не сможет нормально существовать, попав в культурную среду примитивного амазонского племени или даже высокоразвитой, но все-таки чуждой европейцам Японии.

Общее понятие «культура» включает в себя три части: материальная культура - совокупность вещественных компонентов бытия человека; социальная культура - совокупность правил поведения людей в обществе; духовная культура - система знаний и состояний психики человека. Последняя включает в себя наряду с моралью, идеологией, искусством и т.д. также и науку.

Гуманитарные науки иногда противопоставляют естественным и, по крайней мере, считают принципиально отличающимися от них. Отличие действительно есть. Человек и человеческое общество - это высший известный нам уровень организации материи, на котором начинается процесс **самопознания** - качественно новый вид **обратной связи**, приводящий к принципиально новым структурам. Кроме того, познание человеком самого себя поневоле должно осуществляться «изнутри». Мы не можем взглянуть на себя «со стороны» и, тем более, «сверху» - в этом еще одно, «субъективное», отличие гуманитарных наук от естественных. Тем не менее, человек - часть природы и для совокупности людей - общества - при всем его качественном своеобразии наиболее общие закономерности оказываются теми же, что и для остальной живой и неживой природы. В последнее время гуманитарные и естественные науки все более сближаются и в смысле концептуальных основ и в смысле методов. Например, математика, как универсальный язык для описания закономерностей сейчас используется всеми гуманитарными науками

так же как и естественными. Мы видим перед собой единую **науку**, которая отражает **единство мира**.

Единство мира - это вторая наиболее общая, концепция. Концепция единства мира предполагает, что мир представляет собой некую целостную **систему**, которая живет своей цельной **упорядоченной** жизнью. В мире все взаимосвязано, и весь мир подчиняется **единым законам**, которые одинаковы во всех его частях.

Концепция единства мира появилась как только человек начал «по-человечески» вглядываться в мир вокруг себя, но первоначально она выглядела не так как сейчас. Для первобытного и античного человека мир был един *априори*, интуитивно; он рассматривал окружающий мир как некое живое существо, все его части составляли для него единое целое как части его собственного организма. В религиозных картинах мира он также считался единым по определению, как творение Бога, созданное по единому плану.

Затем, когда появилась наука, и человек стал целенаправленно собирать факты, интуитивная концепция единства стала разрушаться. Количество фактов росло гораздо быстрее, чем количество установленных связей между ними, и в то же время их было недостаточно для крупных обобщений, да человек еще и не научился делать такие обобщения. Чтобы сделать процесс добывания новых фактов эффективнее и глубже вникнуть в каждое явление единая наука разделилась на множество ветвей, которые вскоре разошлись столь далеко, что почти потеряли связь друг с другом. Появились физика, химия, зоология, ботаника, геология. Затем более мелкое дробление. Например, физика разделилась на механику, теплофизику, физику твердого тела, физику жидкостей, газов, затем атомную и ядерную физику, и т.д. Каждое узкое направление создавало свои наидолее эффективные методы получения знаний

Однако, расширение и углубление знаний в каждой области привело опять к их сближению и взаимопроникновению. Всё более широкие и глубокие обобщения, сделанные в разных частных областях науки, начали перекрывать друг друга. Как *дерево*: единый ствол делится на множество ветвей, которые наверху тесно переплетаются, образуя единую крону. Появляются смежные науки, такие как физхимия и химфизика, геофизика, биофизика, биохимия, и т.д. Астрофизика и космология сближаются с физикой элементарных частиц и термодинамикой, а в конце-концов и с биологией. Причем науки срастаются не только методами и взаимовлияниями, но и основополагающими концепциями, принципами, законами. (Заметим, что в названиях большинства сложных междисциплинарных наук присутствует «физика». Это не случайно. Физика занимает особое место среди естественных наук, и само слово первоначально означало науку о природе вообще - то, что сейчас называют словом «естествознание».)

Эпоха, когда господствовал синтетический взгляд на мир - древних, - основанный, в основном, на вере и интуиции, сменилась эпохой анализа, углубления в детали, накопления данных, а теперь снова мы входим в эпоху синтеза, но на новом более высоком концептуальном уровне.

Концепция *единства мира* не только сближает все науки, но и сближает единую **науку** с другой областью человеческой *культуры* - **искусством**. Всё искусство основано на цельном видении мира, образы искусства - это всегда огромные обобщения, сделанные на *интуитивном* уровне. Наука - это тоже обобщение, но обобщение в значительной степени *логическое*.

Часто вообще под наукой подразумевают лишь логические умозаключения, а искусство, наоборот, считают принципиально не совместимым с логикой. Но это не верно. Крупные научные обобщения, обеспечивающие прорывы на новый уровень понимания, делаются на интуитивном уровне, а строгая логика играет в науке ту же роль, что и техника рисунка и письма в творческом процессе художника. И самые выдающиеся образцы искусства непогрешимы с точки зрения логики. Не случайно выдающиеся ученые

всегда были близки искусству, а такие гиганты, как Леонардо Да-Винчи или наш Михаил Ломоносов, совмещали и то и другое.

Единство мира в естественных науках - это *единство материи*, из которой он состоит - любой предмет на Земле состоит из тех же элементов, что и отдаленнейшая галактика - и *единство общих законов*, им управляющих - они одинаковы в любых частях нашего мира, были такими же в прошлом и будут такими же в будущем (если не заглядывать и туда и туда слишком уж далеко). Кроме того, одинаковыми оказываются наиболее общие законы для различных «подсистем» мира, например, общие законы поведения сложных саморганизующихся динамических систем оказываются одними и теми же для таких разных объектов как галактики, вулканы, популяции живых существ и хозяйственные системы отдельных стран в рыночной экономике. Дальше, по мере изложения основных концепций, мы будем вновь и вновь возвращаться к этой концепции и иллюстрировать ее примерами.

Здесь и раньше мы употребляем словосочетание *наш мир*. Под этими словами мы понимаем ту область пространства и времени, которая *в принципе* доступна нашему познанию. Дальше, когда мы будем говорить о самых общих космологических теориях, мы коснемся возможности существования других миров, не пересекающихся с нашим ни в пространстве, ни во времени.

1.2. Зачем человеку нужна картина мира?

Представлять себе общую картину мира необходимо не только ученому-профессионалу, но и любому человеку по нескольким причинам. Здесь я назову три из них. **Первая** - это **естественная потребность в ясности и определенности**.

Не только человеку, но любому живому существу для нормального существования необходимо ощущение **стабильности** и **предсказуемости** окружающего мира. Такая стабильность и определенность существует, когда мир **упорядочен** и этот порядок известен. В живой природе каждый вид имеет свою, так называемую *экологическую нишу*, а каждая группа, популяция и каждый индивидум у очень многих видов - свою *территорию*. На своей территории животное знает все, что для него жизненно важно, может действовать автоматически, неизмеримо эффективнее, чем в незнакомой местности, и, поэтому чувствует себя комфортно, защищенно. Перенесенное в незнакомую обстановку оно испытывает сильный стресс, все его движения резко замедляются, оно вынуждено буквально ощупывать каждый шаг. В благоприятных условиях стресс стимулирует *исследовательскую активность*, направленную на поиски порядка. Чем непривычнее обстановка, тем сильнее стресс и сильнее активность, но если он чрезмерен, может наступить катастрофа - полная остановка активности и гибель живого существа.

Еще раз особо подчеркнем необходимость предсказуемости окружающего мира. Этого требует каждый шаг не только фигурально, но и буквально. Когда мы ставим ногу при очередном шаге, мы должны быть уверены, что не провалимся неожиданно в трясины, не поскользнемся, не напоремся на нечто горячее или едкое. А для этого мы должны уметь по внешнему виду поверхности делать заключения о ее свойствах, должны *знать* как связаны эти свойства с внешним видом. А когда мы делаем принципиально новые «шаги», например, погружаемся в глубины океана, преодолеваем звуковой барьер в атмосфере или летим в космос, роль науки возрастает тысячекратно.

По отношению к новому человек ведет себя аналогично животному, но принципиальное отличие его от животного в том, что *его экологическая ниша - весь мир*. Безусловно человеку нужен свой дом, нужна своя, упорядоченная обычаями, традициями и законами, национальная и социальная среда, своя страна, но ему этого уже мало.

Человек ощутил *единство мира* и для полной стабильности и психологического комфорта ему потребовалось упорядочить весь мир, четко определив свое место в нем. Он начал строить свою **картину мира** с того момента, как стал человеком, и, я думаю, что именно потребность в такой картине - основное, что отличает человека от животного (а не употребление орудий или социальное поведение). Индеец племени Яки, «человек знания», обучавший американского ученого, этнографа и социопсихолога Карлоса Кастанеду своему пониманию жизни, говорил ему: «ты *обречен* на познание потому, что ты - человек».

Во-вторых, познание мира - это то, что дает непрекращающийся интерес к жизни. Человек стремится к удовлетворению своих фундаментальных потребностей, таких как потребность в пище, укрытии, общении, информации, воспроизведения себя в потомстве. Это стремление - есть движущая сила развития, движения вперед, которое одно и поддерживает интерес к жизни. Этот интерес пропадает, когда исчезает перспектива, когда дальше некуда идти.

Ученые, занимающиеся проблемой поиска внеземных цивилизаций, прежде всего пытались оценить их возможное количество и, значит, расстояния между ними. Для этого оценивалась вероятность возникновения разумной жизни и вероятное время жизни разумной цивилизации. Молчаливо, из общих соображений признается, что время жизни любой цивилизации конечно, как конечно время жизни организма, вида, этноса. Тщательно анализировались возможные причины гибели цивилизации (исходя, разумеется из наблюдений единственной, доступной нам - нашей) и основной, наиболее надежной, абсолютной и непреодолимой была признана такая причина, как *потеря интереса* иначе - скука. Погубить человечество способны не столько бедствия и тяготы, сколько благополучие. И вот тут единственное, что может продлить жизнь цивилизации на неопределенно большой срок - это процесс познания мира. Степень удовлетворения жизненных материальных потребностей человека может достигнуть насыщения в сравнительно небольшое время, а процесс познания бесконечен.

Непосредственно добыванием новых знаний, проникновением в тайны Природы занимается лишь ничтожная часть человечества - процентов двадцать от числа «научных работников», которые, в свою очередь составляют малую долю процента населения Земли; и лишь единицы из этих двадцати процентов ученых-творцов делают действительно принципиальные шаги вперед. Однако, остальное человечество тоже способно к соучастию в радости открытия. Следить за движением мысли творцов, ощущая и понимая, что они сделали, тоже может сделать жизнь бесконечно интересной даже для человека не способного к самостоятельному научному творчеству и пресыщенного всеми обычными благами. Но для этого нужен определенный образовательный и культурный уровень, и не столько обширная эрудиция, сколько современное видение мира в целом, понимание основных концепций естествознания, направлений развития мира и человеческой мысли.

И третья причина - потребности практики. Мир действительно един и, не представляя его в целом, нельзя стать специалистом высокого уровня ни в одной узкой области. Специалистом высокого уровня я называю такого, который способен выходить за существующие рамки и делать какие-то качественно новые шаги в своей области, преодолевать нестандартные ситуации, не предусмотренные программой его обучения.

Преодоление необычных ситуаций - всегда творчество, даже в самой простой, предельно регламентированной работе. Творчество же требует *интуиции*, которая основана на подсознательной обработке всего массива знаний и идей, относящихся к общему устройству мира. В любой творческой работе при поисках подхода к новой задаче мощнейшим инструментом являются *анalogии* с другими природными явлениями и объектами, иногда весьма далекими от рассматриваемых. Причем часто именно далекие аналогии могут подать наиболее ценную нестандартную идею. Чтобы эффективно

использовать аналогии надо обладать достаточной эрудицией, но, главное, представлять общие концепции, характер самых общих связей и иметь внутреннюю убежденность в действительном единстве мира.

В связи с аналогиями подчеркнем, что они способны подать *плодотворную идею*, но не готовый рецепт решения. Прямой перенос закономерностей «по аналогии» может привести к неожиданным и серьезным ошибкам. И чтобы этого не произошло опять-таки необходимо понимание именно *общих концепций*, общей картины мира и его развития, а не просто набор знаний из разных областей.

1.3. Как строилась человеком картина мира?

1.3. Что такое «наука»?

Первобытный человек мало знал об окружающем мире, улавливал лишь простейшие связи между явлениями, и чтобы построить необходимую ему цельную картину он населил мир духами - организующими силами нематериальной природы, причем сначала не отделял живого от неживого и духов от материальных предметов. Каждое дерево, ручеек и даже камень имели свою душу (дух, божество). Появились примитивные политеистические **религии**, как средства объяснения и упорядочения мира.

Позже, в античные времена, началось разделение духовного и материального в сознании человека. Цельная картина мира начала нарушаться, и, чтобы привести ее к единству и организовать, стало необходимо подчинить материю духу или наоборот. На этом этапе стремление к упорядочению мира привело к возникновению **философии**, которая выполняла эту задачу наряду с религией. Возникли философские направления идеализма и материализма, которые вступили в ожесточенную борьбу.

На определенном этапе развития человеческого общества политеистические религии сменились монотеистическими с единым организующим началом - Богом, обеспечивающим больший порядок в мире. При этом его роль стала иной, чем роль бесчисленных богов первобытного пантеона. Единый Бог перестал управлять каждой букашкой (хотя и говорится, что даже волос с головы не упадет без его воли) - он создал мир, установил для него законы и больше их пока не меняет (разве что кратковременно ради сотворения чудес).

Основная роль Бога заключалась в установлении законов морали и нравственности и в обеспечении их выполнения, то есть в упорядочении человеческого общества. Всей своей духовной деятельностью человек стремился не столько упорядочить мир вообще, сколько определить в нем свое место и упорядочить свое общество. Детали устройства мира на этом этапе в основном объяснялись **мифологически**, способами, унаследованными от политеистической эпохи, но в это же время возникла и **наука** в нынешнем понимании этого слова.

Наука определяется как **сфера человеческой деятельности, функция которой - выработка и теоретическая систематизация объективных знаний о действительности**. Наука изучает окружающий человека мир (и самого человека, как часть этого мира) – отвечает на вопросы: *из чего и как* он построен (в пространстве и во времени). Вопрос о том, что является первичным организующим началом в этом мире, *почему* мир такой какой он есть - это вопрос **философии**, которую часто считают особой разновидностью умственной деятельности человека, отличной от науки (хотя некоторые разделы философии, такие как изучение процесса мышления, логика, являются чисто научными дисциплинами).

Одновременно с наукой и философией продолжает существовать и **религия** - наиболее древняя, первичная система упорядочения мира человеком. Ее отличие от других систем в том, что порядок строится на мифологической, а не на объективной основе. Почему эти разные системы взаимоотношений человеческого сознания с окружающим миром продолжают существовать одновременно? Должна ли религия со временем отмереть, как считают одни, или, наоборот, возобладать над всеми другими сферами человеческого сознания, как считают другие?

Посмотрим на взаимоотношения религии с наукой. Господствующие сейчас в мире монотеистические религии утверждают существование некой высшей силы - Бога, - который создал мир, и задал все законы им управляющие. Содержание всех разновидностей священных книг, приписываемых Богу, заключается в установлении норм морали и нравственности, правил поведения человека в обществе. О законах, управляющих материальным миром там не говорится почти ничего, просто утверждается, что все вокруг создано Богом. Религия (в нынешнее время в отличие от средневековья) в принципе не запрещает человеку изучать и постигать созданные Богом законы природы, восхваляя мудрость Всевышнего. Кровавая борьба религии против науки, и, временами, такая же борьба атеистов против верующих кончилась или кончается, ибо стало достаточно ясно, что средствами логики и науки нельзя ни доказать ни опровергнуть существование высшей силы, создавшей наш мир, и одновременно ясно, что никакие достижения науки не мешают верить в Бога тому, кому этого хочется.

Вера - это обязательный элемент человеческого сознания. Разделение людей на «верующих» и «неверующих» привычно, но не логично. Верующие - все, только одни *верят* в то, что Бог есть, а другие опять же *верят* в то, что Бога нет. Та или иная вера необходима для замыкания системы упорядочения, для ответа на вопрос «почему оно всё именно так как оно есть?».

Я употребил слово «замыкание» в том смысле, в котором оно употребляется в математике: замкнутой системой уравнений называется такая, в которой число уравнений в точности равно числу неизвестных и которая поэтому разрешима и имеет единственное решение. Научное познание мира невозможно путем одной логики. В основе любых логических построений всегда лежат некоторые **постулаты** - положения, принимаемые **на веру**. Ни одна научная картина мира не обходится без элементов веры, первый из которых - это вера в объективное существование и единство мира; разница в подходах в том, что одни считают эти постулаты установленными Богом, а другие - нет. Кроме того *вера религиозная абсолютна и слепа*, ее не может поколебать не только логика, но и любые факты, а *наука* понимает определенную условность и относительность любых постулатов и в вере *всегда оставляет место сомнениям*. Основным принципом науки является принципиальная *опровергаемость* любого ее положения. Этим наука отличается не только от религии, но и от так называемых *лженаук*, которые время от времени возникают в человеческом обществе.

Существование (и даже процветание) мировых религий говорит о некоей внутренней потребности большинства людей в них. Часто и атеисты считают, что религия необходима для большинства, так как только она может внушить моральные принципы. Однако, религиозная вера не так бозобидна. Слепая вера, уверенность в единственности и абсолютности религиозных истин порождает фанатизм и нетерпимость к инакомыслию. Бесчисленные религиозные войны, резня армян в Турции, гугенотов во Франции, террор по отношению к староверам в России, самосожжения тех же староверов вместе с малолетними детьми, нынешний мусульманский террор не красит соответствующие религии, утверждающие милосердие в своих формальных догмах.

Почему одни выбирают веру в Бога, а другие - атеизм? Я предпочитаю объяснять это так (позиция атеиста). Верующие в Бога - это «рабы Божии» по определению.

Положение раба своего соседа обычно унизительно, однако, чем могущественнее господин, тем большее число людей не прочь стать его рабами. Быть рабом всемогущего создателя - особая честь. Главное преимущество положения раба в том, что он может позволить себе не думать при принятии многих решений. Его свобода резко ограничена, зато ему намного легче жить. Все правила морали и нравственности (и не только они) определены раз и навсегда «сверху». Очень многие чувствуют себя комфортнее, защищеннее, зная, что ими управляет некая персонифицированная высшая сила, которая предписывает нормы поведения, карает и милует - это «верующие». Растворение личности в Боге избавляет человека от чувства одиночества, объединяя его с единоверцами. Те, которые предпочитают решать проблемы самостоятельно, кого угнетает положение раба, даже господнего, предпочитают атеизм.

Как ни странно, успешно заниматься естественными науками можно в обоих этих состояниях. И вроде бы даже и гуманитарными тоже, хотя тут вопрос довольно тонкий. По-моему, занятие наукой о человеке (именно **наукой**, а не просто человеком) труднее совместить с религиозностью, чем занятие, например, астрономией или ядерной физикой, но многие считают наоборот.

Еще одно замечание о науке. То, что найденные наукой объективные закономерности могут принести большую пользу **практике** было замечено давно (геометрия и вообще математика использовалась в строительстве, закон, открытый Архимедом был применен им для определения примеси серебра в золоте без разрушения изделия и т.д.) В последнее же столетие наука, как говорят, превратилась в мощную *производительную силу*. На науку обратили внимание очень многие и появились так называемые «прикладные науки». Этот последний термин прижился в нашем языке, но, вообще говоря, он противоречит определению науки, приведенному выше. *Наука - это поиск истины ради самой истины, поиск объективных закономерностей ради создания упорядоченной картины этого мира в нашем сознании.* Цель науки - знание. Все остальное - это **приложения науки или технологии**.

Раньше и лучше всех определил сущность науки и взаимоотношения ее с техникой М.В.Ломоносов в своем знаменитом «Слове о пользе химии». Он говорил: *«Учением приобретенные познания разделяются на **науки и художества**. Науки подают ясное о вещах понятие и открывают потаенные действия и свойств причины; художества к приумножению человеческой пользы оные употребляют. Науки доводят в рожденное и вкорененное в нас любопытство; художества снисканием прибытка увеселяют. Науки художествам путь показывают; художества происхождение наук ускоряют.* «Художествами» Ломоносов называл как раз то, что мы сейчас называем технологиями. В этом же «Слове..» чуть дальше он говорил: *«Между художествами первое место, по моему мнению, имеет металлургия....».*

Назначение *технологий* - создание предметов и устройств, облегчающих, украшающих, обогащающих жизнь, в том числе и помогающих искать истину тем, кто занимается наукой. Например, есть науки: теория информации, математическая логика, квантовая механика, физика твердого тела. И есть технологии, являющиеся некоторыми из приложений этих наук: создание полупроводниковых приборов, компьютеров и всего их программного обеспечения, создание лазеров и бесчисленных основанных на них приборов. Космонавтика, например, - это не наука, а технология (хотя и весьма «наукоёмкая»), обслуживающая в значительной степени науку.

Разумеется, многие приложения науки могут быть употреблены (и, к сожалению, во-всю употребляются) не только во благо, но и во зло. Это связано не с природой науки, а с природой человека. Осуждать науку (как это часто делают) за такие вещи как современные средства массового уничтожения столь же глупо, как осуждать огонь за пожары или воду за потопа.

1.4. О научном методе. Концепция «простоты природы»

Как работает наука? Как ученые ищут истину?

Вы, наверное, слышали, что ученые делятся на **экспериментаторов** и **теоретиков**? Экспериментаторы добывают факты, теоретики эти факты обобщают, ищут закономерности и создают теории. К экспериментаторам относят также и наблюдателей, изучающих природные явления непосредственно (в этом случае говорят о *натурном эксперименте*), но в отличие от просто праздных наблюдателей ученые занимаются фиксацией определенных характеристик явлений, причем везде, где это возможно, характеристик количественных - занимаются *измерениями*.

Цель науки – изучение природных объектов и явлений и закономерностей, их связывающих в окружающем мире, поэтому первооснова науки – *непосредственное наблюдение*. Однако, большая часть научных фактов в настоящее время добывается в специально поставленных *экспериментах*. Специальные эксперименты позволяют быстрее и глубже изучить то или иное свойство материи или процесса, так как в этом случае оно изучается в заранее заданных контролируемых условиях, при минимуме помех. Но надо помнить, что в сложном природном явлении всегда могут проявиться неожиданные **коллективные** эффекты, которые невозможно предугадать на основании экспериментов с похожими, но более простыми системами. Поэтому оба подхода - непосредственное изучение природных явлений и специально поставленные эксперименты - сосуществуют и будут всегда сосуществовать в науке.

Факты - это хлеб науки. Первоначальным источником истины может быть только опыт. Только он может научить нас чему-либо новому и только он может вооружить нас достоверностью. «Снимите шляпу перед господином фактом» - говорил Иван Петрович Павлов. А какова же роль теории? Существует мнение, что теория - это украшение, антураж, игра ума; науку двигает только эксперимент, а критерием истинности нового знания является практическая польза. Это мнение неверно в принципе. Лучше всего сказал об этом один из величайших математиков и физиков нашей планеты Анри Пуанкаре в своей статье «Наука и гипотеза». Мы будем примерно следовать его изложению.

Дело в том, что фактами надо пользоваться, а для этого надо **обобщать**. Эксперимент без теоретических обобщений бессмыслен. Анри Пуанкаре, рассуждая о роли гипотезы и теории в науке, говорил: «Ученый **должен** систематизировать; наука строится из фактов, как дом из кирпичей; но простое собрание фактов столь же мало является наукой, как куча камней - домом». Смысл науки в упорядочении окружающего мира, в установлении закономерностей, позволяющих **прогнозировать**.

Факт факту рознь. Можно сделать миллион измерений и не получить в результате ничего в смысле возможности предвидения. Для предвидения необходимо обобщение. Если бы вместо миллиона измерений мы сделали всего сто, но, проанализировав и обобщив их, выработали гипотезу, позволяющую их упорядочить в виде некоторой закономерности, следующие сто измерений мы могли бы делать уже целенаправленно в рамках определенной стратегии, диктуемой гипотезой. При этом информативность этой последней сотни фактов может оказаться выше, чем сотни тысяч, добытых беспорядочно. Благодаря обобщению каждый наблюденный факт позволяет *предвидеть* множество других. И чем больше, тем выше его цена, выше *производительность* процесса познания.

А. Пуанкаре в упомянутой выше статье дал еще один наглядный образ: «Я позволю себе сравнить науку с библиотекой, которая должна непрерывно расширяться; но библиотекарь располагает для своих приобретений лишь ограниченными кредитами; он должен стараться не тратит их понапрасну. Такая обязанность делать приобретения лежит

на экспериментальной физике, которая одна лишь в состоянии обогащать библиотеку. Что касается математической физики, то ее задача состоит в составлении каталога. Если каталог составлен хорошо, то библиотека не делается от этого богаче, но читателю облегчается пользование ее сокровищами. С другой стороны, каталог, указывая библиотекарю на пробелы в его собраниях, позволяет ему дать его кредитам рациональное употребление; а это тем более важно ввиду их совершенной недостаточности.»

Итак, добывание новых ценных фактов резко ускоряется, благодаря обобщениям. И, более того, оно практически оказывается невозможным без обобщения. Пуанкаре писал: «Нередко говорят, что следует экспериментировать без предвзятой идеи. Это невозможно; это не только сделало бы всякий опыт бесплодным, но это значило бы желать невозможного. Всякий носит в себе свое миропредставление, от которого не так-то легко освободиться. Например, мы пользуемся языком, а наш язык пропитан предвзятыми идеями и этого нельзя избежать; притом эти предвзятые идеи неосознанны, и поэтому они в тысячу раз опаснее других». Он приходит к выводу, что осознанные предвзятые идеи не только не усиливают вред от неосознанных, но наоборот, компенсируют его, ставят ситуацию под сознательный контроль. Даже та первая сотня фактов, о которой мы говорили выше все равно получалась не случайным образом, даже попутные, вроде бы не целенаправленные наблюдения все равно подвергаются в нашем мозгу бессознательному отбору: на что-то мы обращаем внимание, на что-то - нет.

Каждое обобщение содержит в себе гипотезу. Когда через серию экспериментальных точек мы проводим линию, мы заменяем набор отдельных дискретных фактов некоторой непрерывной зависимостью. Экспериментатор никогда не проводит линию через все точки, такая линия имела бы замысловатый вид, ибо из-за разных случайных обстоятельств точки могут располагаться весьма прихотливо; он проводит *между* точек приблизительно им соответствующую *простую*, описываемую простой формулой, линию - прямую, параболу, гиперболу или экспоненту. Это уже гипотеза. Да и сама постановка эксперимента, его планирование, выбор и фиксация условий обязательно содержит предвзятую идею.

Надо сказать, что не все определяют гипотезу так как это сделано здесь. В.И.Вернадский предлагает различать *эмпирическое обобщение* и *гипотезу*, полагая, что первое не должно содержать никакой первоначальной идеи, а гипотезы выдвигаются потом на основе эмпирического обобщения. Но ведь обобщение - это всегда какая-то группировка фактов, какая-то их классификация, которая не возможна без выбора признаков, положенных в ее основу. Такой выбор неизбежно содержит в себе гипотезу.

Гипотеза - не абсолютная истина, она может быть подтверждена дополнительными экспериментами, а может быть и отвергнута. Но в любом случае она не бесполезна: отвергнутая гипотеза закрывает целое направление и также экономит силы и средства, необходимые для познания истины.

Если гипотеза подтверждена достаточно надежно, большим количеством проверочных экспериментов или одним, но так называемым **критическим экспериментом** - она переходит в ранг **теории**. В общем можно сказать, что теория (как и гипотеза) рисует картину *связи явлений* между собой, выражая в каждом частном случае концепцию *единства мира*.

Исходя из этой концепции, можно допустить существование, в принципе, некой общей всеобъемлющей теории, описывающей связи всего со всем. Практически же это не реально, так как в мире существует неисчислимо множество объектов и связей, а, как совершенно справедливо отмечал Козьма Прутков, «никто не обнимет необъятное» (во всяком случае, за ограниченное время и ограниченными средствами). Поэтому при создании любой теории какие-то связи не учитываются, так как их пока не удалось обнаружить, или сознательно отбрасываются, как несущественные. Любая теория есть

упрощенная *модель* реального явления. Но это не лишает ее объективности и значимости. Завершенная теория, как правило, становится мощным инструментом и для практических приложений результатов науки. Кто-то из великих сказал: нет ничего более практичного, чем хорошая теория.

Возможность построить достаточно простую, но **адекватную**, то есть правильно описывающую все важные для нас стороны и черты явления, **модель** вытекает из концепции *простоты* природы. Без принятия этой концепции трудно было бы заниматься обобщениями: основной критерий выбора - простота; из огромного количества вариантов обобщения выбирается самый простой. Мы чувствуем интуитивно, что искомый закон не может быть очень сложным и через довольно беспорядочную кучу экспериментальных точек проводим прямую или гладкую, непрерывную аналитическую кривую. Концепцией простоты руководствовался И.Ньютон, когда создавал свою теорию тяготения и Н.Бор, когда создавал модель атома. Каждый из них стремился найти *наименьшее число наиболее простых принципов, которые позволили бы описать и объяснить наиболее широкий класс явлений*.

Как отмечал Пуанкаре, концепция простоты не столь очевидна, как концепция единства мира. Повышение точности измерений может под простым законом обнаружить сложный, но более детальное исследование опять открывает в этой сложности простоту и т.д. На чем остановится такая цепочка чередований предсказать невозможно. Простота каждый раз оказывается как бы *кажущейся*. Однако, чтобы наука была возможной надо останавливаться именно на простоте.

Здесь возникает такой вопрос: может быть простота не есть свойство природы, а лишь свойство наших моделей, результат нашей неспособности описать реальное явление? Ведь под простотой всегда прячется сложность? Однако, до сих пор любую новую сложность удавалось объяснить просто, и при этом предыдущая *простая* модель также не теряла своего значения и включалась в новую, более общую как предельный случай. Существование такой преемственности теорий представляет собой общий закон, названный Нильсом Бором *принципом соответствия*. Отсюда можно сделать вывод, что в этом бесконечном процессе познания *кажущейся* оказывается как раз сложность, которая выглядит таковой из-за недостаточности нашего знания.

С концепцией простоты связан принцип **красоты**. Он не столь фундаментален, ибо в известной мере субъективен. Всякая правильная теория обязательно красива; красота также может быть критерием выбора одного из многих вариантов обобщения. Красота - это совершенство, а совершенство всегда связано с простотой, лаконичностью. Красивы бегущая лань и плывущий дельфин потому что биомеханика их движений совершенна – предельно проста и экономна. Одна из наиболее красивых теорий - эвклидова геометрия, основанная на немногих простых постулатах, и с ее помощью все законы природы выражаются наиболее красиво и просто.

Сюда же примыкает и понятие так называемой **бритвы Оккама** (Оккам - английский философ начала 14 века): «отсекай все лишнее», «не изобретай новых сущностей без необходимости», «напрасно пытаться сделать посредством большего то, что может быть сделано посредством меньшего». Здесь выражен принцип научного мышления, вытекающий из концепции простоты природы. Это некий аналог принципа наименьшего действия в физике: из многих возможных путей, переводящих систему из одного состояния в другое, Природа выбирает такой, на котором величина действия наименьшая.

Как мы уже говорили теории не вечны, они рано или поздно сменяются новыми. То, что теории смертны роднит их с гипотезами, но в том **как** они умирают заключается качественное отличие между этими двумя категориями. В отличие от гипотезы старая теория после замены ее новой не выбрасывается на слом. Здесь работает уже

упоминавшийся нами **принцип соответствия**, который гласит, что *новая теория не отменяет старую, но просто указывает на ограниченность области ее применимости и должна включать ее в себя как некоторый предельный случай*. Надо сказать, что принцип, известный нам как принцип соответствия Бора еще раньше сформулировал Пуанкаре, который иллюстрировал его таким наглядным образом:

«Движение науки можно сравнивать не с перестройкой какого-нибудь города, где старые здания немилосердно разрушаются, чтобы дать место новым постройкам, но с непрерывной эволюцией зоологических типов, которые беспрестанно развиваются и, в конце-концов, становятся неузнаваемыми для простого глаза, но в которых опытный глаз всегда откроет следы предшествовавшей работы прошлых веков. Итак, не надо думать, что вышедшие из моды теории бесплодны или не нужны.»

Классическим примером здесь является Ньютонова механика, на смену которой пришли релятивистская механика Эйнштейна и квантовая механика. Мы знаем, что Ньютонова механика может рассматриваться как предельный случай релятивистской при скоростях значительно меньших скорости света и при сравнительно небольших градиентах гравитационного поля; или как предельный случай квантовой механики, когда величина *действия* значительно превосходит постоянную Планка. Но именно эти предельные случаи и имеют место почти во всех ситуациях с какими сталкивается человек, и поэтому значение ньютоновой механики несколько не уменьшилось, хотя и появились более совершенные теории. Я уверен, что со временем будет создана более общая теория, которая включит в себя и релятивистскую и квантовую как частные случаи, но обе эти теории будут работать как и сейчас ньютоновская.

Интересно, что часто даже теории, построенные на ошибочных, впоследствии оставленных, принципах (гипотезах), полностью сохраняют свое значение, несмотря на принципиальное изменение их физического фундамента. Такая возможность является прямым следствием *единства и простоты* мира. Первый пример - это теория теплопроводности Фурье, первоначально исходившая из концепции теплорода, предполагавшей, что тепло - это некоторая материальная субстанция, перетекающая внутри тел и от тела к телу. Второй пример - волновая теория оптических явлений, построенная исходя из предположения о существовании механической среды - эфира, - по которой распространяются волны света, аналогичные в этом смысле волнам звука. Математический аппарат и все выводы обеих теорий полностью сохранились, хотя давно стало ясно, что нет никакой тепловой субстанции и нет особой среды - эфира.

Краткие итоги главы 1

В этой главе мы сформулировали основные понятия - *концепция, естествознание, наука*, - разобрали связанные между собой фундаментальные концепции *объективного существования, единства и простоты мира* и познакомились с основами *научного метода*.

Концепция - система взглядов на те или иные явления, способ рассмотрения, понимание. Может также *означать* общий замысел творца чего-либо нового - научной теории, книги, архитектурного сооружения и т.д.

Естествознание - совокупность наук о природе - **естественных наук**.

Наука - сфера человеческой деятельности, функция которой - **выработка и теоретическая систематизация объективных знаний о действительности**. Наука изучает окружающий человека мир (и самого человека, как часть этого мира) - **из чего и как** он построен (в пространстве и во времени). Наука помогает человеку **упорядочить**

окружающий мир - описать и объяснить существующий в нем порядок, и делает это на основании объективных, полученных на основании осмысления опыта, закономерностей. Приложения науки или **технологии**, основанные на достижениях науки, играют огромную роль в жизни человека, но сами наукой не являются.

Поиск ответа на вопрос: **что является причиной существующего в мире порядка, почему мир именно такой**, - задача **философии**, которую можно считать как одной из наук, так и самостоятельным родом человеческой деятельности.

Задачи упорядочения мира и объяснения первопричины всего сущего решает также **религия**, объясняющая и упорядочивающая мир на **мифологической** основе. В основе религии лежит **вера** в существование Бога - персонифицированной высшей силы, установившей мировой порядок. Религия и наука в известной мере антагонисты, однако они успешно сосуществуют параллельно, так как **вера** в Бога не зависит от широты и глубины наших знаний о мире, а потребность в ней заложена в недрах человеческой психики.

Концепции современного естествознания - это **современный взгляд на окружающий мир, основа общего представления физической картины мира**.

Гуманитарные науки - науки, изучающие все, что связано с так называемой **духовной и интеллектуальной деятельностью человека и человечества, моралью и нравственностью, взаимоотношениями людей и организацией общества**. Гуманитарные науки - часть единой **Науки**, их особенность в том, что здесь познающий **субъект** является одновременно и познаваемым **объектом**. Сама наука является частью **культуры**, представляющей собой своего рода «операционную среду любой человеческой деятельности, конкретнее наука - это часть **духовной культуры**».

Мы кратко разобрали три фундаментальные, наиболее общие концепции, которые лежат в основе устройства нашего мира и всей научной деятельности и непрерывно подтверждаются ее успехами:

- концепция **объективного существования мира**, утверждающая, что мир существует вне нашего сознания, и что наше сознание способно объективно, **адекватно** его отражать;
- концепция **единства мира**, сущность которой заключается, прежде всего в единстве общих законов, управляющих всеми процессами, протекающими в различных его частях, и общей связи этих частей;
- концепция **простоты мира**, утверждающая, что мир устроен просто, и дающая науке критерий выбора одного из многих возможных вариантов обобщения опытных фактов. **Концепция простоты** не столь очевидна, как концепция единства мира: под простотой обычно прячется новая сложность, которую снова удастся описать простой моделью и т.д. Однако, только движение от одной **наиболее простой** модели к другой позволяет развиваться науке.

Описаны самые общие основы **научного метода**, заключающиеся в добывании **новых научных фактов путем наблюдений и эксперимента и теоретическом их обобщении**. Обобщение - это **гипотеза**, которая наряду с экспериментом *с самого начала* участвует в процессе познания. Обобщение многократно увеличивает ценность фактов и эффективность работы по их добыванию. Надежно подтвержденная гипотеза становится **теорией**. В отличие от гипотезы, теория, после замены ее новой, более совершенной не отбрасывается, а включается в новую теорию, как один из предельных случаев согласно **принципу соответствия**.

Вопросы к главе 1.

1. Определите понятия *концепция* и *естествознание*.

2. Что такое *Концепции современного естествознания*?
3. Концепция *объективного существования мира*.
4. Что такое *гуманитарные науки* и чем они отличаются от естественных?
5. Концепция *единства мира*.
6. Зачем человеку нужна *картина мира*?
7. Как человек создавал свою картину мира?
8. Что такое *наука* и каковы ее взаимоотношения с философией и религией?
9. Взаимоотношения науки и технологии.
10. Что такое *эксперимент*?
11. Что такое *гипотеза* и *эмпирическое обобщение*?
12. Что такое *теория* и чем она отличается от гипотезы. *Принцип соответствия*.
13. Взаимоотношение эксперимента и гипотезы (теории).
14. Концепция простоты природы.

2. Стационарная картина мира

2.1. Концепция стационарности

Теперь перейдем к более конкретным концепциям, использованным при построении картины мира. Начнем с наиболее фундаментальных.

Первая такая концепция, относящаяся к миру в целом, которая неизбежно просуществовала до примерно первой трети нашего века - это концепция **неизменности** нашего мира - **концепция стационарности**. Что-то, конечно, все время меняется: день и ночь, лето и зима, погибают одни люди и царства, появляются другие. Мир постоянно живет, и живет бурной жизнью - отдельные его части в отдельные отрезки времени безусловно нестационарны. Но все изменения повторяются и все снова выходит «на круги своя». В целом мир все время тот же. «Все это было и нет ничего нового под Солнцем» - так говорил библейский пророк Екклесиаст. Само же Солнце, небо и звезды, горы и океан оставались абсолютно неизменными и вечными перед глазами древних ученых. Мерилом, временным масштабом, была жизнь отдельного человека.

Потом стало ясно, что и горы и океаны и даже Солнце и звезды не вечны, но мир в целом все-таки представлялся стационарным. Причем не потому, что на это указывали прямые результаты наблюдений или железная логика теории. Как теперь ясно, наблюдения и теоретические обобщения как раз указывают на необратимость происходящих в мире изменений и, значит, на его нестационарность. Но на интуитивном уровне человек этого не принимал - стационарность ему была нужна для ощущения стабильности своего существования. Считалось, что противоречия между многими наблюдениями и стационарной картиной мира указывают только на недостаточность наших знаний.

Отметим, что стационарность, так необходимая человеку психологически, заставляла его иметь дело с еще одним очень сложным и трудным для понимания понятием - **вечностью** или **бесконечностью** во времени. Причем, если в идеалистической или религиозной картине мира вечен и бесконечен только Бог, некая мировая идея, творческий дух, непостижимый по определению, то материалистам необходимо было признать бесконечность и вечность материального мира - **актуальную бесконечность**, которая должна быть постижима.

Пришли к возможности, а потом и к необходимости отказаться от стационарности лишь в первой трети нашего века. Психологически это было наверное особенно трудно ученым-материалистам, атеистам, не признающим божественный акт творения. Эйнштейн пытался исправлять свои уравнения, чтобы избавиться от возможности нестационарных решений - концепция стационарности мира слишком довлела над ним. Когда молодой петербургский ученый А.Фридман получил и опубликовал нестационарные решения уравнений гравитации, Эйнштейн в печати обвинил его в ошибке, но потом взял свои слова назад. А через шесть лет после открытия Фридмана были получены наблюдательные доказательства нестационарности Вселенной.

Здесь можно сделать небольшое отступление о научной смелости. Делающим принципиальные открытия, идущие вразрез с существующей, «канонизированной» картиной мира, необходимо кроме знаний, интеллекта и нестандартности мышления обладать еще и огромной убежденностью в правильности своих идей и результатов и незаурядной смелостью. Смелость помогла Лобачевскому создать неевклидову геометрию, его современник, великий Гаусс, пришел к тем же выводам, что и Лобачевский, но не решился развить их до конца и опубликовать, венгр Бойяи сделал то же открытие, но, не сумев до конца поверить в себя, сошел с ума, так и не опубликовав своих результатов. Смелость помогла Копернику создать гелиоцентрическую систему мира, Менделееву - свою знаменитую таблицу, Эйнштейну - теорию относительности, Планку, Паули и Гейзенбергу - квантовую механику, Бору - его модель атома, Галуа - новое направление в математике. Принципиальные открытия, как правило, делаются молодыми учеными, и причина этого не только в незашоренности интеллекта, но и в смелости, которая есть свойство молодых.

Сейчас практически можно считать доказанным, что наш мир **нестационарен**. Вселенная расширяется, и, очевидно, когда-то она была заключена в некий ничтожный объем, о свойствах которого сейчас нельзя сказать ничего. Однако, расширяется Вселенная уже примерно 15 миллиардов лет. Изменения происходят относительно медленно и, если мы не будем заглядывать больше чем на пару-тройку миллиардов лет вперед или назад, ее с очень хорошим приближением можно считать стационарной. **Стационарная модель** Вселенной приводит к *адекватному* описанию большинства явлений в ней. Современная картина мира почти полностью была создана в предположении его стационарности. Со стационарностью мира в целом согласуются все существующие теории кроме космологических, рассматривающих эволюцию Вселенной, как целого.

Таким образом, стационарная модель Вселенной является *приближением*, хорошо описывающим ее на интервалах времени, небольших по сравнению с полным временем ее жизни. Точно так же **стационарная модель** оказывается применимой для описания любого явления природы на интервале времени меньше некоторого характерного для него. *Характерные времена* могут быть самыми разнообразными: для нашего Солнца - несколько миллиардов лет, для земного океана - сто миллионов лет, для горной системы - десять миллионов лет, для отдельного вулкана - десять тысяч лет, для отдельного человека - десятки лет, для мыши - год, для дрожжевого микроба - десять минут, для горения заряда пороха в стволе пушки - около одной тысячной доли секунды; характерные времена существования возбужденных состояний атомных ядер и некоторых элементарных частиц могут составлять малые доли секунды - вплоть до 10^{-22} . И любой из этих объектов и процессов на интервалах времени меньших характерного может быть приближенно, но вполне адекватно описан стационарной моделью.

Поэтому посмотрим сначала как строилась и как выглядит картина **стационарного** мира. Потом мы обсудим, что вносит в эту картину нестационарность и рассмотрим особенности и следствия **эволюции** нашей Вселенной.

2.2. Из чего построен мир - концепция элемента; концепции - континуальная и корпускулярная

Концепция стационарности оставляет перед наукой две главные задачи - узнать ИЗ ЧЕГО построен мир и КАК он построен.

Насчет «из чего» можно было бы просто ответить «из всего того, что мы видим», но это не позволило бы человеку упорядочить мир - видим мы слишком много и слишком разного. Человек из опыта знал, что огромное количество сложных предметов и объектов состоит из более простых **частей**, перекомпоновка которых дает все новые и новые объекты. Стремление упростить и упорядочить картину мира (концепция **простоты!**) подвигнуло человека на поиск первичных исходных компонентов, из которых состоит все (концепция **единства** мира). Так возникла концепция **элемента**.

Древние греки (Эмпедокл, Фалес Милетский, Анаксимен) рассматривали в качестве элементов землю, воду, воздух и огонь. Возникали и другие комбинации, но концепция существования немногих первичных *элементов*, из которых состоит все наблюдаемое многообразие оказалась чрезвычайно плодотворной и действительно отражающей объективную реальность. В данном случае в качестве элементов предложены непрерывные **субстанции**, но примерно в те же времена в Греции возникла и концепция **атомов** (Левкипп, Демокрит, Эпикур) - неделимых, непроницаемых *элементарных частиц*, движущихся и образующих различные комбинации в пустоте. Демокрит, повидимому, предполагал бесконечное разнообразие форм атомов, но в поэме римского поэта Лукреция Кара «О природе вещей», где он излагает, в частности, атомистику Демокрита и Эпикура, говорится о конечном числе разновидностей атомов, из которых складывается мир (как его поэма из букв). Так, что можно считать, что уже тогда понятие элемента начало связываться не только с субстанцией, но и с разновидностью атомов.

Таким образом, по существу вместе с концепцией элемента появились еще две концепции строения вещества: **континуальная**, утверждающая что все состоит из *непрерывных субстанций* и **корпускулярная**, утверждающая что все состоит из *неделимых частиц*. Эти концепции сосуществуют до сих пор, и лишь в 20-м веке стало ясно, что они не конкурирующие, а реально сосуществующие в нашем мире. Содержание понятия атома сильно изменилось со времен Демокрита, но и сейчас концепция **элемента** тесно связана с **корпускулярной** концепцией: квантовая механика утверждает **дискретность** вещества и энергии на микроуровне. И те же законы квантовой механики утверждают дуализм волн и частиц и «размазанность» положения и траектории частицы - некий **континуум** состояний.

На макроуровне в основном используется континуальная концепция. Вспомним опять про единство и простоту природы. Множество простых и красивых теорий было создано в предположении непрерывности вещества - гидро- и аэродинамика, теория упругости, теория теплопроводности, - и все они сохранились в неизменном виде, несмотря на то, что стало ясно, что все вещество состоит из дискретных частиц и энергия передается на микроуровне дискретными порциями. Огромная масса непрерывно взаимодействующих частиц успешно описывается как сплошная среда. (Конечно, это приближение, **модель**. В крайних предельных и в некоторых особых случаях дискретность игнорировать нельзя, но почти всегда в практических задачах континуальная концепция работает без осечки). И в то же время макромир являет нам *макроскопически* дискретную картину: почти все вещество Вселенной сосредоточено в дискретных объектах - звездах, жизнь представлена отдельными живыми существами и т.д. Как под простотой прячется

сложность, а под сложностью опять простота, так и непрерывность чередуется с дискретностью в последовательных моделях, описывающих Природу.

2.2.1. Химические элементы

Изучением состава вещества, процессами образования сложных веществ из простых занималась **химия**. Поэтому слово «элемент», стало со временем употребляться, в основном, в сочетании **химический элемент**. Целый ряд веществ, представляющих собой химические элементы был известен с глубокой древности, например, золото, серебро, сера, потом медь, олово, железо, свинец, ртуть. Однако, тогда они не считались элементами.

Вопрос о действительном существовании элементов и о доказательстве их «элементарности» впервые четко поставил в 1661 году великий английский ученый Роберт Бойль (бывший, кстати, прежде всего физиком, а не химиком, уже тогда предвосхитивший взаимопроникновение наук). Он дал определение понятия «элемент» и связал его с корпускулярной, атомистической теорией, он же заложил методические основы изучения состава веществ и впервые ввел в науку сам термин «анализ». Вот его определение элемента: *«Я понимаю под элементами, в том смысле, как некоторые химики ясно говорят о принципах, определенные, первоначальные и простые, вполне несмешанные тела, которые не составлены друг из друга, но представляют собой те составные части, из которых составлены все так называемые смешанные тела и на которые последние в конце концов могут быть разложены»*. Р.Бойль считал, что элементов гораздо больше, чем три, четыре или пять, как считали древние и средневековые ученые.

В конце 18-го века великий французский химик Антуан Лавуазье, заложивший основы современной химии, впервые классифицировал химические соединения, ввел, по существу современную химическую номенклатуру, определив в ней и химические элементы или «простые вещества», как «все вещества, которые мы еще не смогли никаким способом разложить». Лавуазье допускал в принципе, что какие-то из этих простых веществ могут когда-нибудь быть разложены на еще более простые - элементарность связывалась с уровнем аналитических возможностей. В этом признании определенной условности понятия *элемент* заключалось принципиальное отличие современного экспериментального подхода от чисто умозрительных построений древних. Однако, без этой их «игры ума», без интуитивных прозрений к истине мы приближались бы намного медленнее.

Надежное установление химической элементарности началось лишь в 19-м веке после установления Джоном Дальтоном закона простых кратных отношений, объяснения его на основе атомно-молекулярной теории и определения им относительных атомных и молекулярных масс. Поэтому можно сказать, что настоящее открытие химических элементов началось в 19-м веке, и в течение этого века природные элементы были открыты почти все. Во второй половине 20-го века к ним прибавились искусственно полученные радиоактивные (в основном трансурановые) элементы. Сейчас известно 116 элементов, 88 из которых были найдены в природе, а 27 получен искусственно. Последние с атомными номерами 114, 116 и 118 были получены уже в 21 веке в количестве нескольких атомов (118-й – 2 атома).

2.2.2. Систематика химических элементов - таблица Менделеева

Около сотни элементов - это, конечно, гораздо меньше, чем миллионы и миллиарды разнообразных природных объектов и сложных веществ, из этих элементов построенных, но все же не так уж мало. Естественно возникла потребность в упорядочении, **систематике** элементов. Систематика - это обобщение, для которого необходима основная идея, рабочая гипотеза, определяющая набор признаков, положенный в ее основу. Такая систематика - это первый шаг к пониманию причин различий между элементами и к проникновению на более глубокий уровень элементарности.

Основным признаком по которому многие ученые пытались классифицировать элементы был атомный вес (точнее масса). Но картина получалась очень пестрая, никак не удавалось прощупать явную и, главное, простую закономерность. Понадобилась гениальная интуиция и смелость Дмитрия Ивановича Менделеева, чтобы угадать закон, а необъяснимые в то время расхождения с угадываемым законом по началу просто отбросить. Но конечно, чтобы пойти на этот смелый шаг надо было быть Менделеевым. И он оказался прав, впоследствии все расхождения были объяснены. Это ярчайший пример использования концепции простоты законов природы (глубокой веры в эту простоту)!

Закон Д.И.Менделеева называется **периодическим**, так как устанавливает периодическое повторение свойств элементов, расположенных в порядке возрастания атомных масс. Эта периодичность выражает некоторую внутреннюю **симметрию** в системе химических элементов, указывающую на упорядоченность и позволяющую делать предсказания. Простота и красота периодического закона заставила Менделеева уверовать в его истинность вопреки нескольким отклонениям. И он переместил некоторые элементы в те клетки таблицы, где они лучше всего укладывались в периодический закон, хотя атомные массы указывали на другой порядок, а кое-где оставил пустые клетки. Он смело предположил, что *именно периодичность является фундаментальным законом* и, если она не вполне проявляется как функция атомной массы, значит она есть функция какой-то другой величины, связанной с атомной массой. Он условно назвал эту величину **атомным номером**, который был просто номером элемента в таблице, составленной строго в соответствии с периодическим законом. Более того, целые группы элементов, близких по свойствам, он смело поместил в одну клетку таблицы. (Интуиция Менделеева подтвердилась. Со временем было установлено, что его атомный номер действительно выражает важнейшую характеристику атома, определяющую структуру его электронной оболочки и химические свойства образованного атомами элемента, а именно - заряд ядра).

Здесь можно провести некоторую аналогию с созданием гелиоцентрической системы мира Коперника. В старой геоцентрической системе оказывалось, что почти все небесные тела движутся по приблизительно круговым траекториям вокруг Земли и лишь некоторые планеты выписывают временами непонятные петли, нарушающие гармонию. Коперник смело поставил на первое место именно гармонию, для сохранения которой ему пришлось «центр мира» перенести с Земли на Солнце - все петли и попятные движения планет исчезли. Гармония неизбежно связывалась с простотой и красотой. Замысловатые движения планет были объяснены и в геоцентрической системе Птолемея, но ему для этого пришлось нагромождать сложную, не имеющую внутренней логики, систему эпициклов, что противоречило концепции простоты природы. Идея Коперника снова вернула простоту картине мира.

2.2.3. Принцип симметрии

Здесь мы впервые упомянули такое фундаментальное понятие как **симметрия**. Оно знакомо нам с детства, как некоторое свойство формы тел: симметричные предметы окружают нас со всех сторон, в обыденной жизни симметрия представляется нам как нечто внешнее по отношению к объектам, не затрагивающее их суть. Однако на самом деле смысл симметрии гораздо глубже.

Симметрия - слово греческое, означающее *соразмерность*. Первоначально это понятие возникло как геометрическое, но потом стало трактоваться гораздо шире. *Симметрия геометрической фигуры или тела - это свойство сохранять свою форму, не изменяться при некоторых, так называемых, ортогональных преобразованиях, при последовательном осуществлении определенного набора зеркальных отражений и движений - параллельных переносов и поворотов.* Различают симметрию **центральную, осевую и переноса** (или **трансляционную**). Комбинация движений связана с более сложными видами симметрии, например, **винтовая** симметрия - неизменность при одновременном повороте на определенный угол и переносе на определенное расстояние в определенном направлении.

В физике понятие симметрии расширяется. Говорят о *симметрии физических законов*. Если эти законы не меняются при каких-либо преобразованиях, говорят, что они *симметричны* (или *инвариантны*) относительно этих преобразований. Например, законы механики симметричны по отношению к преобразованиям системы координат таким как сдвиг, поворот, к изменению начала отсчета времени, к переходу от неподвижной системы к движущейся с постоянной скоростью.

Симметрия - это упорядочение и упрощение. Поиск симметрии, неизменных компонентов сложных явлений - инвариантов - это, можно сказать, основная задача науки. И концепция простоты мира заставляет нас всегда думать о симметрии: строить теории исходя из *требований симметрии* - этот путь всегда оказывался самым продуктивным. Таблица Менделеева - первый замечательный пример. Периодический закон Менделеев принял, как непреложный закон природы, несмотря на все нарушения и отклонения именно потому, что был убежден в симметрии законов природы: периодичность - это сдвиговая или трансляционная симметрия.

Симметрия говорит о сохранении тех или иных свойств при определенных преобразованиях. Немецкий математик Э. Нетер сформулировала в 1918 году фундаментальную теорему, устанавливающую связь между свойствами симметрии физической системы и законами сохранения. Законы сохранения - прямое следствие симметрии.

Так, из инвариантности относительно сдвига во времени следует закон сохранения энергии, относительно пространственных сдвигов - закон сохранения импульса, относительно пространственного вращения - закон сохранения момента количества движения.

Квантовая механика и теория элементарных частиц практически вся развивается на базе представлений о симметрии, но тут рассматривается инвариантность по отношению к преобразованиям не пространственных координат, а квантовых чисел. Для удобства теоретики тут также говорят о «сдвигах», «поворотах» и т. д. в некотором условном «пространстве», где координатами являются квантовые числа. Зарядовая, изотопическая, «цветовая», симметрия между кварками и лептонами, между частицами и античастицами, калибровочная симметрия и, наконец «суперсимметрия» - все это в основе развития современной теории микромира. Вся остальная наука - и космология и наука о жизни и науки об общественных процессах также пронизаны идеями симметрии. Это понятие будет встречаться нам на каждом шагу.

2.2.4. Элементарные частицы

Упорядоченность химических элементов с закономерным периодическим изменением их свойств в зависимости от массы (причем масса изменяется ступенчато, в соответствии с законом простых кратных отношений) естественно наводит на мысль об их «неэлементарности» - новое *качество* (новый элемент) появляется при последовательном добавлении некоторого стандартного *количества* (атомной массы или номера). В этом добавляемом количестве естественно было искать те кирпичики, из которых могут быть построены атомы химических элементов.

О сложности атомов говорили и другие открытия конца 19-го и начала 20-го века. В 1896 году Анри Беккерелем была открыта **радиоактивность**, в 1897 году Дж. Дж. Томсоном был открыт **электрон** (в катодных лучах, тогда еще не догадывались, что он – «кирпичик» атома). В 1903 году Э. Резерфордом и Ф. Содди радиоактивный распад был истолкован как превращение элементов, а в 1911 году Резерфорд на основании результатов своих экспериментов по рассеянию альфа-частиц предложил планетарную модель атома.

Атом оказался состоящим из тяжелого положительно заряженного ядра диаметром примерно в сто тысяч раз меньше атома, но заключающего в себе почти всю его массу, и расположенных вокруг него отрицательно заряженных электронов. Оказалось, что разница масс атомов элементов кратна некоторой элементарной величине, примерно равной массе атома водорода. Положительно заряженное ядро атома водорода было названо сначала положительным «электроном» (из-за его электрического заряда), а затем - **протоном**. Это была вторая (после электрона) частица, получившая статус элементарной. Естественно было предположить, что ядро атома водорода представляет собой один протон, а ядра более тяжелых элементов - несколько. Электрическая нейтральность атома обеспечивается соответственным количеством электронов. Именно эта величина - заряд ядра и соответствующее ему количество электронов - и оказалось определяющей свойства элемента величиной, выражаемой его порядковым номером в таблице Менделеева.

Атомная масса любого элемента кроме водорода оказалась больше его номера, кроме того оказалось, что существуют атомы с разными массами, но представляющие собой один и тот же элемент (по всем остальным показателям) - *изотопы*. Эти факты заставили сначала предположить, что в ядре кроме протонов содержится и некоторое количество электронов (массу ядра обеспечивают все протоны, а заряд - только не скомпенсированные электронами), но затем стало ясно, что в ядре кроме протонов содержатся частицы с массой примерно равной протону, но без электрического заряда - **нейтроны**. Выяснилось, что нейтроны могут существовать и в свободном состоянии (нейтрон был открыт Дж. Чедвиком в 1932 г.), но свободный нейтрон - частица нестабильная с временем жизни примерно четверть часа - она распадается на электрон и протон. В ядре же нейтрон стабилен.

Таким образом, оказалось, что атомы всех известных химических элементов состоят всего из трех **элементарных частиц: электрона, протона и нейтрона**. К ним надо прибавить еще частицу электромагнитного излучения - **фотон**.

Картина мира упростилась! Оказывается, все вокруг нас построено всего из четырех частиц - от звезд до песчинок и от простых газов до человеческого мозга! Точнее, даже из трех, ибо фотон не существует в покое и не может участвовать в построении вещества в обычном смысле этого слова.

В последующие годы количество открываемых учеными «элементарных частиц» стремительно росло и достигло нескольких сотен, но все новые частицы за исключением одной были очень короткоживущими - не более 10^{-6} с. Это разного рода мезоны, гипероны, частицы-переносчики сильных и слабых взаимодействий. Единственная стабильная из

этих вновь открытых частиц - **нейтрино** - одна из самых загадочных частиц, для которой до сих пор не установлено наличие или отсутствие массы покоя. Кроме того, каждой частице соответствует своя **античастица**, подобная частице во всем, кроме некоторых характеристик взаимодействий, например, электромагнитных для электрона и его античастицы - позитрона. Частица и античастица при встрече взаимно уничтожаются - аннигилируют, - превращаясь в другие частицы, в частности, в фотоны.

Такое обилие «элементарных частиц» в соответствии с фундаментальными концепциями единства и простоты Природы, во-первых, вызвало естественное стремление ученых навести среди них порядок - найти в них некие общие характеристики, объединить их в систематические группы, симметричные по тем или иным признакам - и, во вторых, породило сомнение в их элементарности.

Все частицы подразделялись прежде всего на **лептоны** и **адроны**. **Адроны** - это, так называемые, сильновзаимодействующие частицы. К ним относятся протон и нейтрон и огромное количество короткоживущих частиц. **Лептоны** - слабодействующие частицы - электрон, μ - мезон, τ - мезон, соответствующие им три типа нейтрино и, разумеется, античастицы. Отдельно стоит квант электромагнитного поля - фотон, который тождественен своей античастице. Значительная часть вновь открываемых частиц оказывалась некими возбужденными состояниями не столь многих основных, действительно элементарных.

Особо стоит удивительная частица - участник слабых взаимодействий - нейтрино. Она была предсказана В. Паули в 1930 году с целью объяснить кажущееся нарушение законов сохранения энергии и момента импульса при бета-распаде. Простота и единство мира, симметрия законов природы требовала выполнения этих законов и «заставила» ученого пойти на «изобретение» новой частицы, которое, с другой стороны, усложняло мир. Дальнейшее развитие науки показало, что Паули был прав - новая частица была обнаружена экспериментально. Но обнаружить ее не удалось бы, если бы она не была предсказана на основе общих, интуитивных, концепций и с ее помощью не была бы создана Э. Ферми теория бета-распада. Только теория позволила спланировать и провести специальные необходимые эксперименты.

Элементарные частицы описываются законами квантовой механики, о которой мы будем говорить позже, и характеризуются так называемыми *квантовыми числами*. При классификации этих частиц использовалось требование симметрии по отношению к группам преобразований в условном пространстве этих квантовых чисел, подобно тому как при геометрических классификациях используется симметрия по отношению к преобразованиям координат в евклидовом пространстве.

В результате такого упорядочивания этого моря частиц, для адронов, так же как в свое время для химических элементов, была создана подобная Менделеевской таблица и обнаружена весьма нетривиальная периодичность, группировка частиц в симметричные **мультиплеты**, компоненты которых можно считать разными квантовыми состояниями одной частицы. **Основанная на симметрии систематика позволила предсказать несколько новых частиц, которые были обнаружены в специально поставленных экспериментах, что подтвердило правильность подхода.**

Пытаясь объяснить выявившуюся систему элементарных частиц, ученые пришли к необходимости допустить, что адроны не элементарны, а состоят из более элементарных частиц - **кварков**, и, также, допустить существование **глюонов** - частиц, путем обмена которыми кварки взаимодействуют между собой. **Кварки в свободном состоянии не наблюдались, и, по-видимому, в принципе не могут наблюдаться, но, тем не менее, сейчас кварковая модель считается доказанной, ибо достаточно многие следствия из нее подтверждены экспериментально.**

Сначала кварков в модели содержалось 3, но по мере ее развития и совершенствования их число увеличилось до 15 или даже 18 плюс 6 лептонов - электрон, мю-мезон и тау-мезон, каждый со своим нейтрино, и все они со своими античастицами. Это гораздо меньше многих сотен элементарных частиц, насчитывавшихся перед появлением кварковой модели, но все же как-то многовато. Концепция *простоты Природы* толкает ученых к поиску еще более элементарных частиц, но пока для этого нет никаких теоретических или экспериментальных оснований.

Краткие итоги раздела 2.2.

Концепция **элемента** вытекает из концепций единства и простоты мира. Найти первооснову, из которой построено все, человек пытался с того самого момента, когда он впервые задумался о деталях устройства мира. Научное, экспериментально обоснованное, понятие *элемент* возникло в результате развития химии в начале XIX века и было тесно связано с **корпускулярной** концепцией и понятием **атом**. Впоследствии понятие *элемент* постоянно углублялось. От химического элемента оно перешло к **элементарной частице**. Основными кирпичиками, «истинными» *атомами* нашего мира на нынешнем уровне знания являются кварки и лептоны. Это - *элементарные частицы*, управляемые законами **квантовой механики**. Из них строится все вещество, весь окружающий мир и мы сами.

Введено расширенное физическое понятие **симметрии**, эквивалентное понятию **инвариантности**, с которым связано сохранение определенных свойств материальных объектов и законов их взаимодействия при некоторых преобразованиях. Все известные нам законы сохранения (массы, энергии, импульса, момента импульса) являются следствием симметрии физических систем - инвариантности физических законов по отношению к тем или иным преобразованиям пространственных координат и времени. В основе теории элементарных частиц лежат требования симметрии преобразований в условном пространстве, где координатами являются их квантовые характеристики.

Симметрия физических законов - это одно из подтверждений фундаментальных концепций единства и простоты мира.

Вопросы к первой части главы 2.

1. Что такое *концепция стационарности*?
2. *Стационарное приближение* при описании физических процессов.
3. Что такое *концепция элемента*?
4. *Континуальная и корпускулярная концепции*, их взаимоотношение. Использование континуальной модели при описании макроскопических тел и процессов.
5. Что такое *химический элемент*? История развития представлений о химическом элементе.
6. Упорядочение элементов. Как была создана Менделеевым *Периодическая система*?
7. Что такое *принцип симметрии*, как универсальный принцип Природы?
8. Что привело к возникновению понятия *элементарная частица* и к открытию таких частиц?
9. Основные типы элементарных частиц.
10. Классификация адронов и возникновение гипотезы *кварков*.

2.3. Как из элементов строится мир?

2.3.1. Концепции пространства, времени и взаимодействия

Следующий вопрос: **как строится мир? Каким образом, за счет чего микрочастицы организуются в макрообъекты, а эти макрообъекты образуют структуры все большего масштаба и сложности?**

Здесь появляются сразу три концепции - **пространства, времени и взаимодействия (силы, как меры взаимодействия)** и понятие **структуры**.

Все **структуры** - это закономерно организованные, устойчивые *конфигурации*, взаимные расположения частиц и тел в **пространстве**. Структуры возникают и развиваются во **времени**. Описание закономерностей изменения пространственной структуры во времени можно трактовать как описание **временной** структуры. Объединяя эти понятия, можно говорить о мире, как о единой **пространственно-временной структуре**. Возникновение и существование структур есть результат **взаимодействия** элементарных частиц и тел. Количественной характеристикой взаимодействия является **сила**.

Что же такое **пространство**? Каковы его свойства? Практически мы его можем представить как некую *протяженность*, характеризующую *взаимным расположением* находящихся в ней материальных тел. Точно так же **время** практически можно представить себе только как *длительность*, характеризующую *последовательностью событий*, происходящих с материальными телами. Пространство вне материи – абсолютно пустое - представить себе затруднительно, также как и абстрактную длительность.

Последовательность событий просто установить в точке. Чтобы установить последовательность событий, происходящих с разными протяженными телами, необходима передача временного сигнала через пространство. Точно так же описание взаимного расположения тел в пространстве в какой-то момент времени требует установления этого момента для *всех* тел, то есть установления понятия *одновременности* событий (определений положения тел) в разных точках пространства. Это можно сделать только передав информацию и о времени и о положении с помощью подходящего сигнала. Из этих рассуждений ясно, что пространство и время неразрывно связаны друг с другом, и эта связь зависит от механизма передачи сигналов, которая есть процесс материальный.

Однако первая теоретическая дисциплина в истории человечества - классическая механика - абстрагировала эти понятия. Она оперировала с **абсолютным** пространством, **однородным** и **изотропным**, обладающим евклидовой геометрией, пассивным *вместилищем* всех материальных объектов, и **абсолютным** временем, равномерно текущим в одном направлении, не зависящим ни от пространства, ни от находящихся в нем материальных тел. Такое пространство и такое время - это *модель*, позволившая сделать огромный шаг на пути обобщения наблюдаемых фактов - построить первую физическую теорию. Она оказалась очень хорошим приближением, так как скорость света очень велика, а вещество во Вселенной очень разрежено.

Когда говорят, что пространство *однородно* - это значит, что свойства его одни и те же в любой его точке; оно *изотропно* - это значит, что все направления в нем равноценны. Однородность и изотропность неизбежно требуют и **бесконечности** пространства: наличие любой границы - это уже неоднородность. Но представить себе абсолютное пространство - пустое бесконечное пространство, существующее независимо от присутствия или отсутствия в нем материи, - оказалось очень трудно. Невозможно сравнить протяженности двух «пустых» частей пространства. А для «непустого» пространства так же трудно предположить полную независимость от того, чем оно наполнено.

Аналогичная трудность возникла и со временем. Если время абсолютно, едино во всех частях пространства, то должна иметь место совершенно определенная последовательность во времени (или одновременность) событий, происходящих не только с одним и тем же объектом, но и с разными объектами, пространственно разделенными. Однако, установить такую последовательность или одновременность для *пространственно разделенных* объектов можно только при помощи сигнала, распространяющегося мгновенно, то есть с **бесконечной** скоростью. Опять возникла потребность в бесконечности, которую физически осуществить невозможно.

У времени есть еще одно удивительное свойство - однонаправленность. Время течет *только* в одном направлении - от прошлого к будущему. С этим его свойством связана необратимость эволюции, закон причинности. В то же время уравнения, описывающие большинство физических процессов (в частности все уравнения механики), симметричны относительно времени. Казалось бы нет никаких причин, которые запрещали бы времени течь вспять (по крайней мере локально), но мы видим, что направление течения времени задано абсолютно жестко. Причина в том, что это направление задается процессом расширения *нашей* Вселенной, диссипацией энергии и возрастанием хаоса, сопровождающими этот процесс. Подробнее об этом мы будем говорить позже.

Сейчас мы знаем, что и пространство и время, сама геометрия пространства и ход времени неразрывно связаны с материальными телами. Об этом говорит теория относительности, которая дает новую интерпретацию механизма тяготения и устраняет «дурные бесконечности», о которых мы говорили. Теория относительности представляет собой механику больших скоростей и градиентов гравитационного поля и в обычных ситуациях ее эффекты практически не заметны. Мы расскажем о ней немного позже а сейчас охарактеризуем концепцию **взаимодействия**, которая первоначально возникла вместе с моделью абсолютного пространства и времени.

В общем нам сейчас достаточно ясно, что организоваться в устойчивые структуры в пространстве и времени элементарные частицы, атомы и более крупные тела могут только если между ними действуют какие-то **силы**, которые обеспечивают **связь** частиц и тел между собой. Однако, такое представление существовало отнюдь не всегда. Первый, кто ввел понятие *силы* не только как *причины движения*, но как **фундаментального организующего начала**, был Исаак Ньютон, создавший свою знаменитую теорию всемирного тяготения. До Ньютона понятие силы прилагалось только к механическому воздействию одного тела на другое при непосредственном контакте.

Затем понятие взаимодействия расширилось, в Природе было обнаружено бесчисленное множество различных сил, обеспечивающих структурирование и движение природных объектов. И так же, как в случае с выяснением строения вещества, детальное изучение природы этих сил привело к выводу, что существует лишь небольшое число так называемых **фундаментальных взаимодействий**, не сводимых друг к другу, а все остальные являются лишь определенными комбинациями и вариациями этих немногих взаимодействий, которые можно назвать также и **элементарными**. (Концепция *элемента* работает и здесь - как «дочерняя» концепция единства и простоты мира).

Фундаментальных взаимодействий известно всего четыре: **гравитационное, электромагнитное, сильное и слабое**. Мы начнем с характеристики гравитационного взаимодействия, как исторически первого, положившего начало современной концепции взаимодействия вообще.

2.3.2. Ньютонская теория всемирного тяготения - концепция центральных далекодействующих сил. Классическая механика

Основой теории Ньютона была концепция **центральных далекодействующих сил**, изменяющихся обратно пропорционально некоторой степени расстояния от источника. Источником силы тяготения является любое тело. Все тела притягиваются друг к другу с силой, пропорциональной произведению их масс и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними. Здесь появилось новое понятие - **масса**, определенное как **мера способности тела притягивать другие тела**.

Концепция **далекодействия** (то есть действия на расстоянии, через «пустоту») была принята Ньютоном с трудом. Ньютон был вынужден принять ее, так как она позволила количественно описать все наблюдаемые движения небесных тел, хотя ему, также как и другим, было невозможно представить передачу какого-либо действия через пустоту. Не имея достаточных опытных данных, позволивших бы конкретно рассуждать о сущности сил тяготения и о способах их передачи от одного тела к другому, Ньютон оставил этот вопрос открытым. (Хотя позже он все же пытался рассуждать о возможной роли некоторой тонкой среды - *эфира* - в передаче тяготения).

Концепция **далекодействия** потребовала принятия концепций **абсолютного пространства** и **абсолютного времени** в которых осуществляются гравитационные взаимодействия.

Затем Ньютон сформулировал свои три закона механики, где также фигурирует **масса**, но уже как **мера инерции** тела, мера способности сопротивляться действию силы. Она оказалась численно в точности равной массе, обеспечивающей тяготение, что было доказано экспериментально самим Ньютоном посредством опытов с маятниками, где действуют как силы тяжести так и силы инерции на одни и те же тела. Это было удивительно и непонятно, но это было так. Через две сотни лет Эйнштейн положил тождественность тяготеющей и инерционной масс в основу своей общей теории относительности, он постулировал это равенство как основной закон природы.

Концепция центральных далекодействующих сил определила картину мира на столетия. Закон всемирного тяготения - это был первый всеобъемлющий физический закон, экспериментально подтвержденный, позволивший на основе очень простой идеи с единой точки зрения объяснить и все движения небесных объектов и падение карандаша со стола на пол и многое другое. Такого уровня обобщения и упорядочения до Ньютона наука не знала. Теория Ньютона описала огромный класс наблюдаемых явлений не только качественно, но и количественно. Более того, она позволила сделать множество предсказаний, которые оправдались с удивительной точностью. Именно предсказательная сила определяет мощь теории, и тут механике Ньютона не было равных.

По существу на основе Ньютонской концепции была создана и теория электростатических взаимодействий: закон Кулона - это тот же закон Ньютона, где вместо массы стоит электрический заряд. Потом и другие силы, имеющие в своей основе электростатические взаимодействия были описаны как результат комбинации простейших кулоновских взаимодействий слагающих сложное тело частиц. Такие как межмолекулярные Ван-дер-Ваальсовские силы притяжения, пропорциональные седьмой степени расстояния, и им подобные. На основе Ньютонской концепции центральных сил строились и первые модели атома. Концепция центральных сил, мгновенно действующих на расстоянии в абсолютном пространстве и времени, созданная Ньютоном, до сих пор работает почти во всех практических приложениях.

Ньютонская теория позволила создать первую законченную модель мира в целом. Огромный успех теории Ньютона привел к возникновению так называемого

механистического подхода - стремления объяснить абсолютно все явления природы с помощью ньютоновской механики

С ньютоновской механикой связана и **концепция детерминизма**. Она утверждает, что в принципе возможно точно описать состояние Вселенной в любой момент как в прошлом так и в будущем, если точно известно ее состояние (координаты и импульсы всех составляющих ее частиц) в настоящий момент. Детерминизм исключает принципиальную случайность, он относит ее только на счет нашего незнания.

Впоследствии, по мере проникновения науки все дальше в глубины Космоса и в микромир были обнаружены границы применимости Ньютоновской механики. Оказалось, что в областях параметров далеких от тех, с которыми мы имеем дело в обыденной жизни, теория Ньютона не верна, и также не является всеобъемлющей концепция детерминизма. Была создана **теория относительности** и практически одновременно с ней - **квантовая механика**. И та и другая в пределе, при удалении от крайних, предельных значений скоростей, масс и энергий, переходит в привычную ньютоновскую механику в полном согласии с *принципом соответствия*.

2.3.3. Теория относительности

Теория относительности по-новому объясняет тяготение, связывая воедино движущиеся и тяготеющие массы, пространство и время. Она решает и проблему дальнодействия, отказавшись от концепции абсолютного, не зависящего от содержащейся в нем материи, пространства. Сначала, в 1905 году, Альбертом Эйнштейном была создана так называемая **специальная** теория относительности, представляющая собой по существу механику больших скоростей, а десятью годами позже - **общая** теория относительности, представляющая собой теорию тяготения.

В основе **специальной** теории относительности (СТО) лежат два постулата: 1) *равноценность инерциальных систем отсчета* - законы природы одинаковы во всех системах координат, которые движутся равномерно и прямолинейно относительно друг друга; 2) *скорость света в вакууме во всех инерциальных системах одинакова и является максимальной возможной скоростью распространения любых взаимодействий*.

Первый постулат выражает собой принцип относительности, четко сформулированный для механических систем еще Галилеем. Второй постулат связан с изучавшимися теоретически и экспериментально особенностями распространения электромагнитных излучений и, в частности, света. Конечная скорость распространения электромагнитного поля, равная 300000 км в сек, следовала из теории Максвелла, она же была найдена экспериментально сначала при помощи астрономических наблюдений затмений спутников Юпитера, а затем и в лабораторных экспериментах. И теоретики и экспериментаторы предполагали, что свет представляет собой колебания некой гипотетической среды с совершенно особыми свойствами - эфира, также как звук - колебания воздуха.

В этом случае должны были бы возникнуть определенные эффекты в случае излучения и поглощения света телами движущимися относительно друг друга, причем эти эффекты должны быть разными в зависимости от движения самого эфира, в частности от того увлекается эфир движущимися телами или нет. И вот тут экспериментальные результаты вступили в противоречие между собой.

Наблюдавшаяся астрономами **абerrация** - смещение видимого положения звезд, наблюдаемых в телескоп, зависящее от направления движения земного шара относительно этих звезд - указывала на отсутствие увлечения эфира. Этот результат считался закономерным – эфир абсолютная неподвижная среда, олицетворяющая само абсолютное

пространство. Окончательным подтверждением абсолютности эфира должен был стать знаменитый опыт Майкельсона по измерению разности времени прохождения световым сигналом одной и той же базы в направлении движения Земли и перпендикулярном ему. Однако, вопреки ожиданиям измеренная с небывалой точностью эта разность оказалась равной нулю, скорость света относительно прибора оказалась одинаковой в направлении движения Земли и в перпендикулярном ему. Такой результат мог быть объяснен только если допустить полное увлечение эфира Землей и прибором Майкельсона.

Лоренц предложил выход из положения, предположив, что в опыте Майкельсона эфир тоже не увлекается, но все размеры в направлении движения сокращаются в соответствии с формулой:

$$l = \frac{l_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}},$$

Эйнштейн же принял свой постулат постоянства скорости света как закон природы, не связанный с эфиром и вывел из этого полный набор следствий, подтвердившийся в экспериментах. (Надо сказать, что большинство таких следствий и соотношений было получено до Эйнштейна, но лишь он свел их все под одной идеей, не связанной с эфиром). Основные следствия - это сокращение расстояний в направлении движения и, удлинение промежутков времени в движущейся относительно наблюдателя системе и возрастание массы при увеличении скорости.

Еще одно следствие (также полученное еще до Эйнштейна) - это связь массы и энергии. Кинетическая энергия в теории относительности определяется следующим образом: $E_k = mc^2(1 - v^2/c^2)^{-1/2}$. При $v=0$ кинетическая энергия покоя оказывается равной $E = mc^2$, а когда скорость приближается к скорости света энергия стремится к бесконечности. При скоростях значительно меньших скорости света она приблизительно равна $mc^2 + mv^2/2$. О соотношении $E = mc^2$ следует сказать особо. Часто его интерпретируют как эквивалентность массы и энергии и даже как возможность превращения массы в энергию и наоборот. Это не совсем верно. Масса и энергия - это фундаментальные характеристики материи, **каждая из которых сохраняется при любых преобразованиях**, при этом масса и энергия *пропорциональны* друг другу. В теории относительности просто расширяется понятие *энергии*, в которое включается также и *энергия покоя*. Любой прирост массы на величину m увеличивает энергию покоящегося тела на величину mc^2 , а любое приращение энергии на величину E увеличивают массу тела на величину E/c^2 . Световой квант с частотой ν и энергией $h\nu$, движущийся со скоростью света, вообще не способный находиться в покое и потому не обладающий *массой покоя*, тем не менее обладает *массой* равной $h\nu/c^2$.

Энергия - это мера способности породить движение. Масса - мера инерции или тяготения. mc^2 - это энергия покоя частицы, «куска материи» с массой m . Если у нас, допустим, аннигилируют электрон и позитрон и превратятся в гамма-кванты, то есть в электромагнитное излучение, масса не превратится в энергию. Просто энергия перейдет из одной формы в другую - из энергии покоя в энергию излучения - без изменения своей величины. При этом масса, как тяготеющая так и инерционная, не изменится также.

Можно сказать и так. Теория относительности утверждает что существуют два вида материи, способные переходить один в другой: один вид обладает массой *покоя*, другой - нет (но массой вообще, конечно, обладает и этот вид материи). Электромагнитное излучение и, по-видимому, некоторые другие виды излучения, не обладающие массой покоя, могут существовать только в состоянии движения с постоянной максимальной скоростью. Для любой материи с конечной массой покоя эта скорость недостижима. Если сообщать частице, обладающей массой покоя, все большую энергию, прирост скорости, сначала пропорциональный корню квадратному из энергии будет непрерывно

уменьшаться так что скорость никогда не достигнет скорости света. Добавляемая же энергия будет все больше переходить в энергию, пропорциональную возрастающей массе покоя.

Все соотношения теории относительности с высочайшей точностью проверены экспериментально, прежде всего на элементарных частицах, скорости которых в экспериментах часто очень близко приближаются к скорости света. Например, в электронном синхротроне скорости электронов вплотную приближаются к скорости света, и большую часть времени ускорения электроны движутся практически с постоянной скоростью, и энергия их продолжает увеличиваться при каждом очередном прохождении резонатора с ускоряющим полем почти исключительно за счет прироста массы. μ -мезоны, порождаемые космическими лучами в верхних слоях атмосферы, имеют время жизни около 10^{-6} с, за которое они могут пролететь не более 300 метров. Однако высокоэнергичные μ -мезоны достигают поверхности Земли, пролетая десятки километров, из-за релятивистского замедления времени для объекта, движущегося со скоростью близкой к скорости света: собственное время этих быстрых частиц для неподвижного наблюдателя растягивается в десятки раз.

СТО устанавливает неразрывную связь пространства и времени. Вместо отдельно существующих пространства и времени следует рассматривать единый **четырёхмерный континуум** - «пространство-время», - где временная координата имеет вид ict (где c - скорость света, а i - мнимая единица). Эта координата введена условно как мнимая, однако **интервал**, равный корню квадратному из суммы квадратов разностей координат начала и конца отрезка в четырёхмерном пространстве - величина вещественная, и именно он представляет собой **инвариант** - не меняется при переходе от одной инерциальной системы координат к другой. Если в классической механике было две независимых сохраняющихся величины - длина отрезка и продолжительность интервала времени, то в СТО остался лишь один инвариант - **интервал в четырёхмерном пространстве-времени**. Можно сказать, что картина мира упростилась и мир стал выглядеть более единым.

Общая теория относительности (ОТО) основана на постулате **эквивалентности сил тяготения и инерции**, следующем из равенства тяготеющей и инертной массы. Если в СТО утверждается, что законы физики одинаковы во всех *инерциальных* системах координат при условии постоянства скорости света во всех таких системах, то в ОТО утверждается одинаковость законов физики во всех *неинерциальных* (движущихся с ускорением относительно друг друга) системах отсчета, при условии эквивалентности сил тяготения и инерции.

Эту эквивалентность следует понимать так: не существует такого физического эксперимента, который позволил бы в изолированной от внешнего мира кабине лифта определить движется ли он «вверх» с ускорением g где-то в "пустом" пространстве вдали от каких-либо масс, или стоит неподвижно на поверхности Земли, где g - ускорение силы тяжести. Или иначе: в закрытой кабине космического корабля космонавт не сможет никакими опытами определить висит ли он неподвижно в пространстве вдали от каких-либо массивных тел или свободно падает с ускорением на звезду или планету.

Вообще, если быть точным, то и в *реальных* ситуациях различить эти два случая возможно. Дело в том, что если гравитационное поле создается сферическим объектом (или вообще объектом конечных размеров), то оно убывает с увеличением расстояния от его центра, поэтому внутри любой кабины оно также будет меняться, и градиент его может быть в принципе измерен. Строго говоря, никакие эксперименты в кабине не смогут нам помочь отличить тяготение от ускорения лишь тогда, когда размеры этой кабины бесконечно малы по сравнению с расстоянием от центра тяготения. Поэтому такие эксперименты обычно называют *мысленными*, что не мешает им быть очень наглядными.

Падение тел в гравитационном поле рассматривается ОТО как свободное движение, а свободное движение совершается по так называемой «геодезической линии», которая есть прямая в эвклидовом «плоском» пространстве. В гравитационном поле движение происходит в общем случае не по прямой линии, которая, однако, также должна представлять собой геодезическую. Следовательно пространство следует считать искривленным. Ускорение под действием тяготения вместе с изменением направления движения так же описывается как свободное движение в искривленном четырехмерном «пространстве-времени». Описание движения в поле тяготения *как свободного движения* («по инерции») в искривленном пространстве-времени позволило А. Эйнштейну построить законченную стройную теорию гравитации, объясняющую все наблюдаемые факты, включая те, которые не смогла объяснить теория Ньютона.

Таким образом, оказывается, что при большей математической сложности теория Эйнштейна не только лучше, адекватнее, описывает движение и взаимодействие материальных объектов, но и *упрощает* это описание физически в том смысле, что делает его более общим, уменьшает количество первоначальных сущностей, необходимых для такого описания. В механике гравитационно взаимодействующих тел остается *только движение по инерции*. Направление и характер (ускорение) движения задается геометрией пространства-времени, которая, в свою очередь определяется распределением массы. С движением связано течение времени. То есть *ОТО* связывает воедино пространство, время и материю.

Но в то же время, если вникнуть в проблему гравитации глубже, под упрощением можно увидеть новые сложности. Прежде всего, «геометрическая», «нематериальная» природа тяготения выделяет его из всех других взаимодействий, затрудняет подход к задаче построения единой теории всех взаимодействий, которую ставит перед нами концепция единства мира. Попытки построения такой единой теории предпринимались и предпринимаются, о чем мы еще будем говорить, и, при этом, ученые пытались как «геометризовать» все взаимодействия (такие попытки делал сам Эйнштейн в последние годы жизни), так и построить теорию гравитации, не привлекая сложную геометрию пространства. Так или иначе, гравитация остается пока особым видом взаимодействия, выражающимся *только* в притяжении, присущим в одинаковой степени *любому* виду материи и не поддающимся экранированию (не зависящим от свойств среды, через которую оно передается). Эти свойства гравитации и привели к объяснению ее геометрическими свойствами пространства, в то время как объяснить таким же образом природу других взаимодействий не удалось. Здесь еще ждут нас новые сложности, под которыми неминуемо обнаружится снова изящная простота.

2.3.4. Электромагнитное взаимодействие. Концепция поля

Второе *фундаментальное (элементарное) взаимодействие*, описанное теоретически - **электромагнитное**. Это взаимодействие более сложное, чем гравитационное, но имеет с ним много общего. Силы взаимодействия между неподвижными заряженными объектами также пропорциональны произведению характерных величин - зарядов (подобно произведению масс в гравитации) и изменяются обратно пропорционально квадрату расстояния - это те же центральные дальнегодействующие силы, названные *электростатическими*. Однако, в отличие от гравитации, здесь возможны два знака заряда и два типа взаимодействия: притяжение и отталкивание. Электрическое взаимодействие в отличие от гравитационного может быть изменено с помощью экранов. Кроме того, оказалось, что относительное движение

электрических зарядов порождает еще и магнитные силы, которые отражают другую сторону единого *электромагнитного* взаимодействия.

Магнитное взаимодействие было открыто независимо от электрического и долго считалось с ним не связанным. Оно также имело два типа "зарядов" и два вида взаимодействия – притяжение и отталкивание – но эти заряды не могли существовать отдельно друг от друга. Магниты существовали только в виде диполей. Единая теория электромагнитного поля вместе с теорией строения атома впоследствии объяснили эти особенности намагниченных тел.

При изучении электромагнитного (сначала отдельно - электрического и магнитного) взаимодействия впервые была введена в научный обиход концепция **поля**, которая явилась развитием концепции **близкодействия**.

Понятие поля (электрического и магнитного) было впервые введено М. Фарадеем в 30-х годах 19-го века. Фарадей предположил, что заряженные тела взаимодействуют не непосредственно через пустоту, как ньютоновские массы, а создают вокруг себя особое состояние пространства, когда каждой точке пространства соответствует определенная (по величине и направлению) сила, действующая на помещенный туда другой заряд. Сила действует вдоль «силовых линий», соединяющих заряды как упругие нити. Сначала предполагалось, что эти силы создаются натяжением особой тонкой среды - эфира, - заполняющей все пространство, но потом, после создания теории относительности, поле стало интерпретироваться, как особая физическая, материальная сущность, обеспечивающая взаимодействие, и, как всё материальное, распространяющаяся со скоростью, не превышающей скорость света в вакууме.

Теорию электромагнитного поля создал тридцатью годами позже Дж. Максвелл. Из теории следовало, в частности, что поле способно существовать не только вокруг «зарядов», но и самостоятельно в виде электромагнитных волн. Электромагнитные волны представляют собой особое состояние материи, в котором она не обладает массой покоя, и способна существовать лишь в движении с максимально возможной скоростью - скоростью света. Свет и представляет собой распространяющееся в пространстве электромагнитное поле.

Здесь, по-видимому, впервые, с такой яркостью проявилась мощь теории - было предсказано совершенно новое, неизвестное явление. Лишь позднее электромагнитные волны были обнаружены в эксперименте и еще позже было доказано, что и свет также представляет собой электромагнитные волны.

А как представить себе неподвижное, стационарное поле? Представление о неподвижном стационарном электрическом или магнитном поле является таким же практически удобным и вполне адекватным в большинстве случаев приближением, как и представление тяготения центральной далекодействующей силой. Но это всего лишь приближение. Вообще поле следует рассматривать в рамках *пространственно-временного континуума*, где, строго говоря, вообще нельзя определить понятие стационарности, и, кроме того, к полю следует применять и понятие дискретности, *квантованности*, о котором мы подробнее будем говорить дальше. В квантовой теории рассматриваются кванты электромагнитного поля - фотоны, - и взаимодействие любых зарядов, как движущихся так и неподвижных, обеспечивается непрерывным *обменом*, так называемыми *виртуальными* фотонами.

Концепция поля, родившаяся при описании электромагнитного взаимодействия, была затем распространена и на все другие виды взаимодействий. Проще всего она прилагается к уже описанному нами гравитационному взаимодействию, хотя здесь ее трудно интерпретировать совместно с теорией гравитации ОТО, описывающей гравитацию как результат искривления пространства-времени. Сам Эйнштейн последние десятилетия своей жизни пытался объединить теорию гравитации и электромагнетизма в

рамках идеи искривленного пространственно-временного континуума, но безуспешно. В настоящее время продолжают попытки создания теории гравитации как теории поля без привлечения геометрических идей, но так же пока нельзя говорить о большом прогрессе.

Вообще, концепции единства и простоты мира непрерывно подталкивают ученых к обобщению теорий. Они все время ищут общее, симметрию, инварианты, объединяющие идеи. Интуитивно чувствуется, что все взаимодействия должны иметь единую природу и ее человек пытается обнаружить.

В конечном итоге электромагнитную природу имеют практически все сложные взаимодействия и силы, наблюдаемые нами вокруг себя: силы упругие, вязкие, адгезия (прилипание), трение. Любые контактные механические взаимодействия макроскопических тел - это результат взаимодействия атомов составляющих эти тела. Собственно говоря, само существование отдельных материальных объектов, предметов, окруженных отчетливой поверхностью и не объединяющихся друг с другом при соприкосновении, возможно потому, что атом состоит из двух типов заряженных частиц разного знака, а не просто из нейтрального вещества и имеет сферически симметричную структуру. Благодаря этому поверхность любого атома, представляющая собой электронную оболочку, заряжена отрицательно и отталкивает другую такую поверхность.

Несмотря на отталкивание электронных оболочек, атомы способны также объединяться - и *физически*, образуя однородные тела, и *химически*, образуя различные соединения. Это тоже связано со строением атома. Взаимодействие одного атома с другим деформирует его электронную оболочку, смещая ее относительно ядра, нарушает сферическую симметрию - атом *поляризуется*. Появляется возможность не только отталкивания, но и притяжения. Большинство молекул, представляющих собой соединения таких атомов, не вполне симметричны и обладают дипольными, квадрупольными и более высокого порядка электрическими и магнитными моментами. Наиболее прочные химические связи обусловлены особенностями самой внешней электронной оболочки, электроны которой способны переходить от атома к атому или становиться общими для двух атомов.

Все эти разнообразные взаимодействия очень сложны и обеспечивают образование бесчисленного количества сложнейших структур, вплоть до биологических. Все процессы жизнедеятельности различных организмов, включая и человеческое мышление, основаны на тончайшей игре взаимодействий электронов в сложных молекулярных структурах, то есть в конечном итоге на электромагнитном взаимодействии, которое в мире атомов и молекул управляется квантовыми законами, о которых мы скажем в следующем разделе.

В то же время богатство молекулярных структур зависит от разнообразия свойств атомов, количества и конфигурации электронов в их оболочках, что, в свою очередь, определяется зарядом ядра, количеством протонов в нем. Свойства же атомных ядер и сама возможность существования атомных ядер, состоящих из многих частиц, зависит от оставшихся двух фундаментальных взаимодействий - сильного и слабого, которые мы рассмотрим дальше.

2.3.5. Квантовая механика, дискретность микромира.

Сильное и слабое взаимодействия

Два последних фундаментальных взаимодействия - **сильное** и **слабое** - действуют в области так называемого **микромира** - мира элементарных частиц, атомов и молекул, который управляется законами **квантовой механики**. Эти взаимодействия не проявляются в повседневной жизни непосредственно (как электромагнитное или гравитационное), однако от них зависит существование самих элементарных частиц и

атомных ядер, образующих основу нашего мира, и такие космические процессы, как выделение энергии и генерация тяжелых элементов в звездах, без чего наш мир не мог бы быть таким какой он есть.

Итак, как мы уже говорили в больших масштабах, для больших масс и скоростей Ньютоновская механика должна быть заменена механикой теории относительности. И привели ученых к этой теории трудности с описанием распространения света. В микромире, в мире атомов и элементарных частиц классическая механика также потерпела фиаско и была заменена квантовой механикой, и толчком к этому опять послужили трудности со светом - с описанием спектра излучения нагретого тела.

Классическая теория излучения требовала, чтобы интенсивность излучения возрастала с уменьшением длины волны, на самом же деле она сначала возрастала, а затем, пройдя через максимум, падала. Объяснить такой ход зависимости, а также и другие законы излучения удалось Макс Планку при помощи гипотезы квантов. Он предположил, что свет излучается молекулами нагретого тела не непрерывно, а порциями - квантами - энергия которых пропорциональна частоте излучения.

$$E = h\nu$$

где h - универсальная физическая постоянная - «квант действия», $h = 6.10^{-34}$ дж.с.

Несколько позже Эйнштейн сделал второй шаг. Он построил теорию фотоэффекта, предположив, что свет не только излучается порциями, но и вообще существует в виде отдельных сгустков энергии, которые действуют на вещество как частицы. При взаимодействии с электроном свет может передать ему только порцию энергии равную той же планковской величине $h\nu$. Таким образом получил объяснение факт существования *порога* фотоэффекта – фотоэффект возможен только если частота излучения превосходит некую пороговую величину вне зависимости от интенсивности.

Отметим, что описанная теория, как и большинство других, рассматриваемых нами, относится к так называемым линейным теориям, которые справедливы почти во всех практических ситуациях. В предельных случаях возникают *нелинейные эффекты*. На самом деле фотоэффект не зависит от интенсивности света только до известного предела. При очень высокой интенсивности возможно поглощение электроном второго кванта раньше чем успеет сняться возбуждение вызванное первым. Энергии квантов суммируются и электрон может быть выбит даже если энергия каждого кванта подпороговая. Но в обыденной жизни такое не наблюдается. Подобные эффекты удалось наблюдать в лаборатории только после создания лазеров, способных в коротком импульсе создавать интенсивность светового потока, превосходящую интенсивность солнечного света на поверхности Земли в миллиарды и триллионы раз.

Еще одна проблема возникла при попытке построить модель атома и объяснить спектры его излучения. Резерфорд своими блестящими экспериментами по рассеянию альфа-частиц доказал, что атом состоит из очень маленького положительно заряженного ядра и расположенных на большом расстоянии вокруг него электронов, в точности компенсирующих его заряд. Эксперименты указывали на такую структуру атома однозначно, однако попытки описать ее на основе существовавших теоретических представлений натолкнулись на непреодолимые препятствия. Единственно, что могло бы предотвратить падение электронов на ядро под действием электростатического притяжения - это центробежная сила, обусловленная быстрым вращением электронов вокруг ядра (точно так же как эта сила удерживает планеты от падения на Солнце под действием сил тяготения). Но электроны не планеты, они имеют заряд, а движущийся ускоренно заряд должен излучать электромагнитные волны и быстро терять свою кинетическую энергию. Электроны же в атоме в обычном состоянии не излучают, а если атомы вещества, находящиеся в виде достаточно разреженного (чтобы каждый атом мог

излучать независимо) газа нагреть они начинают излучать, но не как «абсолютно черное тело», а только на совершенно определенных дискретных частотах.

Чтобы объяснить все это Нильсом Бором была предложена совершенно новая модель атома, основанная на ряде предположений, получивших название **постулатов Бора**. Бор постулировал существование определенного набора стационарных орбит, находясь на которых электроны не излучают. С одной такой орбиты на другую электрон может переходить только скачком, излучая или поглощая при этом квант электромагнитного излучения с частотой равной разности исходной и конечной энергий электрона, деленной на постоянную Планка. Бор формулировал свои постулаты в отношении *орбит* электронов, но особенности поведения частиц в микромире таковы, что в пределах атома нельзя говорить об орбитах в обычном смысле слова, и сейчас говорят о дискретных *энергетических состояниях* электрона в атоме.

Таким образом внедрялось в сознание физиков представление о квантах. Оказалось, что микромир принципиально **дискретен**. Атомарную дискретную структуру имеет не только вещество, но и энергетические процессы. И более того поток излучения, представляющего собой явный волновой процесс, в некоторых случаях проявляет себя как поток частиц.

И, наконец, в 1924 году Де-Бройль высказал идею, что не только электромагнитное излучение имеет одновременно свойства волн и частиц, но и все элементарные частицы в определенных ситуациях ведут себя как волны. В микромире имеет место универсальный **дуализм волн и частиц**. Идеи Де-Бройля вскоре были подтверждены экспериментально и затем очень быстро на их основе целой плеядой замечательных ученых была разработана **квантовая механика** - теория описывающая поведение и взаимодействие элементарных частиц и атомов.

Дискретными, квантованными оказались все свойства атомных частиц, такие как механический момент или **спин**, магнитный момент и ряд других более экзотических специфических для микромира свойств. Кроме самого принципа квантования были сформулированы такие фундаментальные законы Природы как **принцип запрета Паули**, который гласит, что в связанной системе частиц, подчиняющихся статистике Ферми-Дирака, или **фермионов** не может быть двух одинаковых частиц, находящихся в одинаковых квантовых состояниях, и **принцип неопределенности Гейзенберга**, согласно которому для любой частицы принципиально невозможно одновременно точно определить ее положение и величину импульса. Неопределенность каждой из этих величин вытекает из соотношений:

$$\Delta p_x \Delta x \geq h/2, \quad \Delta p_y \Delta y \geq h/2, \quad \Delta p_z \Delta z \geq h/2$$

Из них следует, в частности, что если мы сумеем *точно* определить, например, координаты частицы, то о величине импульса нельзя будет сказать ничего вообще.

Обычно принцип неопределенности связывают с принципиальной невозможностью исключить воздействие процесса измерения на его результат. Чтобы определить положение частицы мы должны направить на нее световой сигнал и принять его после отражения. Сигнал не может содержать менее одного кванта света, и с его помощью нельзя определить положение частицы с точностью меньшей длины волны. Более точное определение положения частицы требует использования более коротковолнового излучения, кванты которого обладают большей энергией и поэтому сильнее воздействуют на энергию и импульс частицы, уменьшая достижимую точность измерения этих величин.

Нильс Бор сформулировал более общий **принцип дополнительности**, частным случаем которого является принцип неопределенности. Согласно этому принципу существуют дополнительные друг к другу физические величины, получение информации об одной из которых неизбежно связано с потерей информации о другой. Кроме

координаты и импульса дополнительными друг к другу являются направление и величина момента импульса, кинетическая и потенциальная энергии и некоторые другие величины.

Для формального математического описания поведения и взаимодействия частиц, подчиняющихся законам квантовой механики Шредингером, Гайзенбергом и Дираком был создан специальный аппарат, в основе которого лежит *волновое уравнение Шредингера*. Это уравнение отражает корпускулярно-волновой дуализм частиц. Частица в нем описывается комплексной *волновой функцией*, квадрат модуля которой имеет смысл *вероятности* нахождения частицы в определенной точке и в определенном квантовом состоянии. При этом получается дискретный набор таких состояний.

Описание дискретности с помощью непрерывной функции и дифференциального уравнения, которое по своей природе предназначено для описания непрерывных процессов, отражает глубинную сущность природы. Такой дуализм наблюдается и при описании обычных макроскопических колебательных систем: мы имеем дискретный набор гармоник с удваивающимися частотами в колеблющейся струне, в трубе, гармонический звуковой ряд. Подобная же волновая функция оказалась способна описать и имеющие другую физическую природу, но аналогичный дуализм процессы в квантовых системах.

Все это выглядит сложно и непривычно, где-то противоречит здравому смыслу, но все же в какой-то мере мир снова стал более единым и простым. Теория относительности дала соотношение между массой покоя и энергией, которая может существовать и в форме, не имеющей массы покоя, она уменьшила различия между веществом и излучением. Квантовая же механика постулировала практически полную идентичность этих двух форм. Квантовый принцип *всеобщей дискретности* - **концепция квантов** - по существу явилась неким продолжением и развитием *корпускулярной концепции*, впервые проявившейся в гипотезе атомов.

Дуализм волн и частиц привел на микроуровне к очередному сближению корпускулярной и континуальной концепций. Волновое представление снова приводит к некой непрерывной картине *поля*, и вся квантовая механика, весь ее формальный аппарат основан на дифференциальных уравнениях, которые математически отражают *непрерывность*. Однако, смысл этой непрерывности другой: состояние частицы описывается **волновой функцией**, квадрат которой имеет смысл *вероятности* нахождения данной частицы в той или иной точке в данный момент. Квантовая механика ввела в науку принципиально **вероятностный подход**. Оказалось, что неопределенность может выражать не только меру нашего незнания, но и саму суть законов природы. Квантовая механика разрушила механистическую концепцию **детерминизма**, утверждающую, что если бы мы знали точно координаты и импульсы всех частиц во Вселенной мы, в принципе, могли бы описать состояние Вселенной и любой ее части в любой момент как в прошлом так и в будущем.

Если в процессе участвуют достаточно много частиц, то, хотя каждая из них не имеет строго детерминированной траектории и может оказаться практически где угодно с большей или меньшей вероятностью, суммарный результат их поведения будет иметь вид непрерывной строго закономерной волновой картины. На практике такую картину мы всегда и наблюдаем, ибо постоянная Планка и, значит, энергия одного кванта очень мала, а измеряемое число их обычно велико. Однако, специальными тонкими экспериментами можно показать случайность и непредсказуемость траектории каждой отдельной частицы или кванта электромагнитного излучения.

Свойства квантовых систем определили и особенности оставшихся двух фундаментальных взаимодействий, осуществляющихся в микромире. Первое из них - так называемое **сильное взаимодействие** - связывает нуклоны в ядре (нуклонами называют составляющие ядро частицы – протоны и нейтроны). **Слабое взаимодействие** имеет место

при β -распаде и вообще во всех реакциях с участием нейтрино. Характерная особенность этих взаимодействий - их короткодействие: радиус действия ядерных сил (сильных) - 10^{-15} м, а слабых - $<10^{-17}$ м. Такие малые расстояния взаимодействия связаны с тем, что оно осуществляется путем обмена частицами имеющими конечную массу покоя. Эти частицы образуют *поле* ядерных сил.

Сильные и слабые взаимодействия на первый взгляд никак не проявляются в окружающей нас обычной жизни, однако, все устройство нашего мира определяется ими.

Слабое взаимодействие определяет превращение нейтронов в протоны и электроны, и именно от его особенностей зависит соотношение этих частиц в нашем мире. Уменьшение вероятности распада нейтрона всего в два-три раза привело бы к тому, что во Вселенной практически не осталось бы водорода, вся она состояла бы только из гелия. Тогда стало бы не возможным существование звезд, подобных Солнцу, планетных систем, всех органических соединений и жизни. Слабым взаимодействием определяется и соотношение протонов и нейтронов в атомных ядрах.

Сильное взаимодействие определяет структуру и размеры атомных ядер. Почему последний, найденный в природе элемент – это уран с номером 92? Потому, что сильное взаимодействие имеет радиус действия примерно равный радиусу протона и примерно в сто раз сильнее электромагнитного. Каждый протон на поверхности ядра атома притягивается лишь своими непосредственными соседями, а отталкивается всеми остальными протонами ядра. Поэтому, когда число протонов приближается к ста, силы притяжения и отталкивания становятся соизмеримыми, а ядро – неустойчивым.

Точно так же имеют наглядные следствия в окружающем нас макром мире и такие принципы квантовой механики, как *принцип запрета Паули* и *принцип неопределенности Гейзенберга*. Принцип запрета определяет всю структуру электронных оболочек атома и, значит структуру таблицы Менделеева. Каждая электронная оболочка содержит электроны с одной энергией, отличающиеся друг от друга другими квантовыми характеристиками. Число различных комбинаций этих характеристик и определяет в соответствии с принципом запрета допустимое количество электронов на данном энергетическом уровне или (что то же) длину соответствующего периода в периодической системе элементов.

Принцип неопределенности позволяет объяснить саму возможность такого явления, как радиоактивный распад и законы, которыми он управляется.

Квантовая механика привела нас к пониманию квантованности всей материи и энергии в микромире в том числе и квантованности поля. Нельзя говорить о математически непрерывном электромагнитном поле. Оно всегда поток квантов. Электромагнитное взаимодействие связано с обменом такими квантами - частицами, не имеющими массы покоя. Гравитацию тоже можно рассматривать как обмен некими безмассовыми «гравитонами», ибо она действует на неограниченных расстояниях (хотя в эксперименте такие частицы пока не регистрировались и возможность существования их оспаривается многими теоретиками, начиная с Эйнштейна). В соответствии с общим принципом дуализма волн и частиц частицы, имеющие массу покоя, также могут рассматриваться как кванты некоего поля, обеспечивающего взаимодействие, которое в этом случае будет иметь конечный радиус действия $R=h/mc$, где m - масса покоя частицы.

2.3.6. Попытки создания единой теории фундаментальных взаимодействий

Квантовая механика уменьшает пропасть между частицами имеющими массу покоя и частицами излучения, поэтому, несмотря на изрядные различия в способе действия далекодействующих и короткодействующих, сил попытки объединить все эти взаимодействия, начатые Эйнштейном, продолжаются и имеют некоторые успехи.

Эти успехи, как и все успехи в теории элементарных частиц, связаны с использованием принципа симметрии. *Симметрия теории* означает неизменность *вида уравнений*, описывающих физические законы, при тех или иных преобразованиях. В частности, уравнения квантовой механики симметричны (или инвариантны) по отношению к, так называемому **глобальному фазовому преобразованию**, которое выражается в умножении *волновой функции*, описывающей квантово-механическую систему, на постоянный *фазовый множитель*. Если же этот множитель зависит от координат и времени, то говорят о **локальном фазовом преобразовании**, и в этом случае симметрия нарушается. Однако, чтобы ее сохранить достаточно ввести определенное преобразование потенциала электромагнитного поля, **калибровочное поле**, взаимодействие частиц с которым скомпенсирует возникшие отклонения от симметрии.

Американские ученые Янг и Миллс в 1954 году предположили, что *само появление электромагнитного поля (фотонов) в этом случае есть следствие необходимости сохранения симметрии при локальном фазовом преобразовании*. И, более того, они выдвинули идею, что во всех случаях нарушения симметрии при локальных преобразованиях должны появляться соответствующие компенсирующие (или **калибровочные**) поля с соответствующими частицами-переносчиками, восстанавливающие симметрию (инвариантность). Мы видим здесь тот же общий подход, что и у Менделеева (а в древности у Пифагора): гармония, симметрия прежде всего, она должна лежать в основе всех законов Природы.

Эта идея оказалась исключительно плодотворной. На ее основе была разработана теория сильных взаимодействий, а затем она же была использована в попытках объединить в единой теории несколько взаимодействий.

Надо отметить (это сделал А.А.Ансельм в своей статье в журнале «Природа»), что впервые использовал идею компенсирующих полей А.Эйнштейн за 40 лет до Янга и Миллса. Действительно, согласно Эйнштейну все системы, движущиеся прямолинейно и равномерно, - эквивалентны, теория инвариантна относительно преобразований Лоренца. Для систем, движущихся ускоренно инвариантность (симметрия) нарушается, но может быть восстановлена путем интерпретации возникающих сил инерции как соответствующего компенсирующего изменения гравитационного поля. То есть гравитационное поле тоже может рассматриваться как *калибровочное*, восстанавливающее нарушенную симметрию теории.

Теория сильных взаимодействий, а затем и первая объединенная теория - электрослабых взаимодействий были построены с использованием идеи калибровочной симметрии и идеи ее спонтанного нарушения (несимметричный результат взаимодействия при симметричном его характере).

После успешного объединения в одной теории электромагнитных и слабых взаимодействий на очереди стал следующий шаг - включение в эту теорию сильных взаимодействий - *великое объединение*. Все они представляют собой калибровочные взаимодействия, связанные с различными группами симметрии. Надо найти такую группу симметрии, которая включала бы все, соответствующие три группы взаимодействий как частные случаи.

Наиболее интересным и важным следствием такого объединения сильных и слабых взаимодействий должна быть возможность взаимопереходов между адронами (сильновзаимодействующими частицами) и лептонами (слабовзаимодействующими частицами), в частности, такая теория предсказывает распад протона на нейтральный π -мезон и позитрон. Однако вероятность распада протона очень мала. Наиболее разработанные варианты теории великого объединения предсказывают время жизни протона между 10^{31} и 10^{33} лет. Это очень мало - примерно один распад в год на 10-1000

тонн вещества. Тем не менее экспериментаторы делают попытки зарегистрировать акты такого распада, но пока безуспешно.

Разработка теорий, объединяющих все четыре фундаментальных взаимодействия, также началась, но пока продвинулась не далеко и связана с множеством весьма революционных и трудно понимаемых представлений и понятий, таких как многомерность пространства с компактификацией (сокращением до ничтожно малых, порядка 10^{-20} см размеров и меньше) всех «лишних» измерений кроме трех, или элементарные частицы в виде одномерных объектов - «струн» толщиной менее 10^{-30} см. Об этих теориях мы говорить не будем сейчас, только отметим, что теоретики работают, мысль человека не спит, и руководящими концепциями остаются концепции единства и простоты Природы.

Краткие итоги раздела 2.3.

Описании макроскопической **структуры** мира основано на использовании концепций **пространства, времени и взаимодействия**.

Само определение пространства, как протяженности и времени как длительности, неразрывно связано с материальными объектами, однако, первая адекватная теория - ньютоновская теория тяготения и классическая механика - использовала модель абсолютных пространства и времени, не зависящих от материальных объектов. Связь пространства и времени с материей описана эйнштейновской механикой теории относительности, однако, в большинстве практически важных случаев классическая теория сохранила свою эффективность.

Образование закономерно организованных во времени и пространстве конфигураций - **структур** - требует наличия **связей** между частицами и телами, которые обеспечиваются **взаимодействиями**. К взаимодействиям так же как и к веществу применима концепция *элемента* - Все наблюдаемые взаимодействия или силы, в конечном итоге порождаются четырьмя **элементарными** или **фундаментальными** взаимодействиями.

Мы разобрали четыре **фундаментальных взаимодействия** - **гравитационное, электромагнитное, сильное и слабое**. Эти четыре взаимодействия лежат в основе всех других, более сложных взаимодействий, и обеспечивают в конечном итоге возникновение и существование всех макроскопических объектов, структур и процессов, которые мы наблюдаем в окружающем мире.

Первые два - гравитационное и электромагнитное - взаимодействия **дальнодействующие**. Они действуют на сколь угодно больших расстояниях, и их сила убывает пропорционально квадрату расстояния. Другие два - сильное и слабое - **близкодействующие**. Их действие ограничено радиусом меньшим 10^{-13} см, и они проявляются лишь при взаимодействии элементарных частиц.

При описании механизма взаимодействий используется концепция **поля** - особого состояния пространства, возникающего вокруг каждого материального объекта, обладающего соответствующим **зарядом**, в каждой точке которого на другой заряд действует соответствующая сила. Поле распространяется с конечной скоростью и позволяет избавиться от концепции *мгновенного дальнодействия* через абсолютное пустое пространство, которая использовалась И.Ньютоном при построении первой теории гравитации.

Современная теория гравитации А.Эйнштейна (общая теория относительности) исходит из постулата эквивалентности сил гравитации и инерции и интерпретирует движение тела в поле тяготения как движение по инерции (по геодезической линии) в

искривленном пространстве. Специальная теория относительности постулирует существование предельной скорости распространения любых взаимодействий, равной скорости света в пустоте, и вместе с общей теорией устанавливает связь пространства, времени и материи.

Описание механизма остальных (кроме гравитационного) трех взаимодействий *на микроуровне* (на уровне элементарных частиц и атомов) оказалось возможным на основе концепции **квантов**, которая представляет собой, по существу, распространение на взаимодействия корпускулярной концепции, использовавшейся при описании строения вещества. Квантовая теория утверждает *дискретность* взаимодействий так же как и вещества. Одновременно она утверждает волновую природу материальных частиц и принципиально **вероятностную** природу процессов на микроуровне.

В соответствии с квантовой теорией *поле* также должно быть квантовано, и она интерпретирует взаимодействие частиц через поле, как **обмен** соответствующими полевыми частицами. В пределах статического поля образующие его частицы возникают и исчезают в вакууме без нарушения закона сохранения массы и их называют *виртуальными*. (Добавление необходимой энергии может превратить виртуальную частицу в реальную - так происходит *рождение* частиц). Для электромагнитного поля такие частицы - **фотоны**; для гравитационного - возможно гипотетические **гравитоны**; для сильного и слабого - соответствующие обменные частицы - **мезоны**. Фотоны (и, очевидно, гравитоны, если они есть) не обладают массой покоя и движутся со скоростью света, что обеспечивает дальное действие соответствующих сил. Мезоны имеют массу покоя и, поэтому, радиус действия соответствующего взаимодействия ограничен.

Делаются попытки связать все четыре фундаментальные взаимодействия воедино, объяснить их как разные проявления одного «фундаментальнейшего». О том, что это должно быть возможно, говорят довольно веские соображения, связанные с симметрией. В настоящее время построена и подтверждена теория, объединяющая *электромагнитное* и *слабое* взаимодействия. Существуют несколько вариантов теории, объединяющих с этими двумя взаимодействиями и *сильное*, однако тут до окончательного успеха еще далеко.

Вопросы к второй части главы 2.

1. Как можно определить *пространство*?
2. Как можно определить *время*?
3. Связь пространства и времени со *структурой материи*. Определение понятия *структура*.
4. Модель *абсолютного* пространства и времени.
5. Концепция *взаимодействия* как организующего начала.
6. Понятие о *фундаментальных* взаимодействиях.
7. Концепция *центральных далекодействующих сил*. Ньютоновская теория тяготения.
8. Постулаты, лежащие в основе *специальной теории относительности (СТО)*. Сущность теории. Связь пространства и времени. Четырехмерный *интервал*.
9. Какие противоречия в результатах экспериментов потребовали создания СТО?
10. Некоторые основные следствия СТО.
11. Основной постулат *общей теории относительности (ОТО)*.
12. *Геометрическая* природа тяготения, утверждаемая ОТО. Связь пространства, времени и материи. Упрощение и усложнение картины мира.
13. Электрическое и магнитное взаимодействия, их отличия от гравитационного. Концепция *поля*.
14. Объединение Фарадеем и Максвеллом электрического и магнитного взаимодействий в единое *электромагнитное*.
15. Электромагнитные *волны*.

16. Современные представления о природе *стационарного* поля. Стационарное поле как приближение.
17. Электромагнитное взаимодействие как основа огромного количества наблюдаемых в природе взаимодействий?
18. Что такое *сильное* и *слабое* взаимодействия и каково их основное отличие от гравитационного и электромагнитного?
19. В чем суть *квантовой механики*?
20. Что такое *дуализм волн и частиц*?
21. *Принцип запрета* Паули и *принцип неопределенности* Гейзенберга. Объяснения структуры электронных оболочек атома.
22. Интерпретация дуализма волн и частиц. Принципиальный *индетерминизм* в явлениях микромира.
23. Объяснение отдельных взаимодействий как разных проявлений *единого* более общего взаимодействия и попытки создания *единой теории взаимодействий*.

3. Нестационарная картина мира

3.1. Как строится макроструктура мира?

Сложные коллективные взаимодействия, синергетика.

Нестационарность

Мы разобрали современные представления о кирпичиках мироздания и о первичных, фундаментальных взаимодействиях между ними. Взаимодействия - сильное, слабое и электромагнитное - в соответствии с законами квантовой механики определяют структуру атомных ядер, атомов, закономерности строения химических элементов – структуру *микромира*. Электромагнитное взаимодействие, опять же в соответствии с законами квантовой механики, определяет, в конечном счете, все химические взаимодействия, структуру химических соединений и вместе с гравитационным всех, окружающих нас, *макроскопических тел* – структуру *макромира*. Структуру Вселенной в целом – *мегамира* – определяют, почти исключительно гравитационные взаимодействия.

Вообще, роль отдельных фундаментальных взаимодействий в построении структур окружающего мира разных масштабов можно представить в виде следующей иерархии. Сильное и слабое взаимодействие играют определяющую роль в масштабах атомных ядер - до 10^{-12} см. Квантовыми электромагнитными взаимодействиями определяется практически все в масштабах атомов и молекул - 10^{-8} см. В больших масштабах ведущая роль постепенно переходит к гравитации, однако электромагнитные взаимодействия продолжают вносить существенный вклад в формирование структур вплоть до галактических масштабов - тысячи световых лет (при этом квантовые эффекты уже не сказываются). В масштабах, превышающих галактические, структура полностью определяется гравитацией.

Теперь встает вопрос: **как** при помощи этих четырех взаимодействий из немногих «элементарных кирпичиков» строится все бесконечно сложное многообразие мира? Несмотря на простоту фундаментальных законов ответ на этот вопрос весьма не прост и до окончательного его получения еще далеко.

Действительно, ньютоновский закон гравитации утверждающий, что сила притяжения между двумя телами пропорциональна произведению их масс и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними, позволяет абсолютно точно описать

движение этих двух тел *только* если они имеют бесконечно малые размеры (являются *материальными точками*) и в окрестности отсутствуют другие тела. Даже если мы имеем всего *три* тела, ньютоновские уравнения для их траекторий и скоростей при движении под действием взаимной гравитации не имеют точных решений. Представлять траектории планет эллипсами можно только в довольно грубом приближении и удастся лишь потому, что массы их по сравнению с Солнцем очень малы, а расстояния от Солнца достаточно велики. На самом деле траектории планет имеют необычайно сложную форму и рассчитываются с помощью очень громоздких приближенных методов. Например, приближенное уравнение движения Луны, используемое для некоторых практических расчетов, включает много сотен членов.

То же самое и в микромире. Квантовая механика с использованием модели атома Бора дает возможность точно рассчитать спектр излучения только для атома водорода, состоящего из одного протона и одного электрона. Любой более сложный атом требует сложных и громоздких **приближенных** методов.

Но и атом и солнечная система - это все-таки относительно простые системы с центральным телом, превосходящим по массе остальные в тысячи раз. К таким системам успешно применяются так называемые методы *теории возмущений*, позволяющие сравнительно просто получить очень хорошие приближения. Но как быть с галактикой, содержащей 10^{11} звезд примерно одинаковой массы и множество других объектов? И, тем более с некоторой массой вещества (например газа), содержащей 10^{20} - 10^{30} и более взаимодействующих между собой молекул?

Описать поведение такой массы тел через описание поведения каждого из них в отдельности оказалось невозможно не только из-за огромности задачи, но и потому, что *коллективное* поведение оказалось отличным от простой суммы или *суперпозиции* индивидуальных поведений. В основе лежат, конечно, процессы элементарных взаимодействий частиц и тел, обусловленные фундаментальными силами, но коллективный характер приводит к качественному своеобразию, порождает явления, описываемые законами, *не вытекающими* из законов элементарных взаимодействий, в частности, к самопроизвольному упорядочению, **структурированию**.

Область знаний, занимающаяся общими проблемами возникновения и разрушения структур при сложных коллективных взаимодействиях, называют синергетикой.

Процессы коллективного поведения систем, процессы **самоорганизации** играют решающую роль в образовании структур промежуточного масштаба - звезд и планет, горных пород минералов, морей и рек, растений и животных - всех компонентов среды, окружающей человека, и самого человека.

Изучение коллективных процессов самоорганизации материи и образования структур способствовало, в частности окончательному признанию принципиальной **нестационарности** Вселенной. **Закономерная макроскопическая упорядоченность, существующая в нашем мире, могла возникнуть только в условиях его нестационарности.**

Нестационарность подразумевает непрерывное направленное изменение мира - его **эволюцию**. Структура мира непрерывно меняется и задача науки выяснить существо, направление и темп этих изменений. Говорят, что в основе современной науки лежит **концепция глобального эволюционизма**.

3.2. Термодинамика. Энергия и энтропия. Общее направление эволюции Вселенной

В основе синергетики лежит одна из самых фундаментальных наук, изучающих общие свойства сложных *коллективных* систем, - **термодинамика**.

Термодинамика оперирует с характеристиками состояния и поведения макроскопических тел, то есть с некоторыми усредненными и обобщенными результатами элементарных взаимодействий атомов и молекул.

3.2.1. Понятие энергии. Первое начало термодинамики.

Одним из самых основных понятий термодинамики является понятие **энергии**. Это понятие нам привычно, но, как все фундаментальные понятия точно определить его трудно. Определяют его, например, как **общую количественную меру движения и взаимодействия всех видов материи**. Можно сказать, что **энергия - это фундаментальное сохраняющееся свойство материи, способное изменять свою форму, количественно измеряемое величиной механической работы, в которую она при определенных условиях может быть превращена**. Можно сказать, что энергия - это то, что может быть превращено в механическую работу, выражающуюся, например, в подъеме тяжелого тела на некоторую высоту над поверхностью Земли или разгону его до некоторой скорости.

Всеобщим законом природы является **закон сохранения энергии**. Его называют еще **первым началом термодинамики**. Этот закон подтвержден бесчисленными наблюдениями и опытами как напрямую, так и через разнообразные его следствия. Открытие все новых свойств материи не раз порождало сомнение в его справедливости, но всегда в конечном итоге закон торжествовал, хотя понятие энергии расширялось.

Здесь надо отметить, что энергия - величина *относительная*. Кинетическая энергия лежащего на столе карандаша равна нулю относительно стола, но она не равна нулю и имеет различную величину относительно центра Земли, Солнца, звезд и т.д., так как наш карандаш участвует во вращении Земли вокруг оси, движении ее вокруг Солнца, вокруг центра Галактики и вместе с Галактикой в общем процессе расширения Метагалактики. Поэтому реально для проверки закона сохранения энергии измеряются и сравниваются не абсолютные величины, а *приращения* энергии физических тел.

Виды энергии многообразны. В механике мы знаем два вида энергии - **кинетическую** и **потенциальную**. Кинетическая - это энергия **движения**, потенциальная - энергия **положения**. В более широком смысле потенциальной называют и энергию **состояния**. Например, физическая смесь водорода и кислорода обладает потенциальной *химической* энергией, в сжатой пружине содержится потенциальная *упругая* энергия. Особый вид энергии, имеющий принципиальное значение в термодинамике - это **теплота**, о которой мы скажем подробнее несколько дальше.

Поднятый над поверхностью Земли (занимающий определенное *положение* в поле земного тяготения) предмет обладает потенциальной энергией, которая может перейти в кинетическую, если дать ему возможность падать. Сила земного тяготения разгонит предмет до некоторой скорости – потенциальная энергия перейдет в кинетическую. Затем предмет ударится о поверхность Земли и остановится. Куда денется кинетическая энергия? Она перейдет частично в упругую энергию деформации поверхности Земли и нашего предмета, но в основном в тепло, которое может, рассеяться в грунте, немного подогреть наш предмет и в конце-концов в виде энергии теплового электромагнитного излучения уйти в межпланетное пространство. Общая энергия системы Земля-предмет уменьшится.

Чтобы ее восстановить (опять поднять наше тело) надо произвести **работу**. Эта работа будет почти точно равна энергии, выделившейся при ударе в виде тепла (немного меньше, ибо при подъеме нам могут помогать остатки упругих сил).

Величина, на которую уменьшится энергия системы «Земля-предмет» после падения предмета на Землю, может быть названа **энергией связи** системы. С энергией связи мы постоянно имеем дело. В недрах Солнца и в водородной бомбе происходит (если говорить упрощенно) слияние ядер атомов водорода с образованием ядра гелия и выделением огромной *энергии связи* в виде кинетической энергии продуктов ядерной реакции, которая рассеивается в окружающей среде в виде тепла и излучения. В автомобильном двигателе водород и углерод бензина связываются с кислородом - выделяется и превращается в тепло опять *энергия связи* (в данном случае - химической). Чем прочнее связь - тем больше выделяется энергии при ее образовании и тем больше, соответственно, потребуется затратить энергии, чтобы эту связь снова разорвать. Образование любых *структур всегда* связано с выделением и рассеянием энергии связи, то есть всегда связано с диссипацией (рассеянием) энергии в окружающей среде.

Кстати, прежде чем образоваться углерод-кислородным и водород-кислородным связям при сжигании топлива должны быть разорваны связи между углеродными и водородными атомами в углеводородах бензина, а также между атомами кислорода в его молекуле, на что нужно *затрачивать* энергию. Но межатомные углеродные и водородные связи в молекулах топлива и связи в молекуле кислорода намного слабее кислородных связей в продуктах сгорания, и затраты гораздо меньше выигрыша. Энергия, затрачиваемая на разрыв связей в компонентах горючей смеси (и на сближение освободившихся атомов с атомами кислорода), называется **энергией активации** и черпается из теплового движения молекул. Поджигание смеси искрой - это сообщение молекулам необходимой первоначальной энергии активации. Дальше горение поддерживается уже за счет тепла, выделяемого в его процессе. Если бы не необходимость в энергии активации вещества, способные связываться с выделением энергии (например органика в земной кислородной атмосфере) вообще не могли бы существовать в соседстве друг с другом.

В урановых ядерных реакторах, с помощью которых уже сейчас производят примерно 10% электроэнергии в мире, источником энергии служит *деление* ядер урана. Но, тем не менее выделяется опять-таки энергия связи: в «осколках» разделившегося ядра урана нуклоны связаны прочнее, чем в исходном ядре, и разница энергий связи и переходит в кинетическую энергию продуктов деления, а затем в тепло.

Водород - основной элемент Вселенной, и синтез гелия из него - основной, первичный, источник энергии для всех наблюдаемых нами процессов. Все наши земные горючие ископаемые и кислород атмосферы - это продукт воздействия на Землю энергии Солнца, которая обусловлена синтезом гелия из водорода. Излучение Солнца разрывает химические связи и запускает сложные цепочки реакций, которые приводят к накоплению потенциальной химической энергии их продуктов.

3.2.2. Тепловая энергия. Понятие качества энергии. Второе начало термодинамики.

В приведенных примерах, при всех реакциях, высвобождающих энергию связи, эта энергия переходит в конечном итоге в **теплоту** (и отчасти в излучение - в ту его часть, которая уходит в пространство, нигде не поглощаясь). Что же такое теплота? Как вы, наверное, помните, теплота - это, по существу, тоже кинетическая энергия, но это энергия **неупорядоченного, хаотического** движения молекул. Из наблюдений мы видим, что

переход всех видов энергии в тепло - это наиболее распространенный процесс вокруг нас. Трение присутствует везде, и оно превращает упорядоченное движение материальных тел в хаотическое движение составляющих их молекул, нагревая трущиеся поверхности. При работе любых электрических машин, при передаче энергии по проводам часть ее всегда превращается в тепло.

Переход механической, химической или иной энергии в тепло - **необратим**. Любой из этих видов энергии рано или поздно *самопроизвольно и полностью* переходит в тепло. Хаотическое же движение молекул уже нельзя даже с помощью специальных ухищрений *полностью* преобразовать в какую-либо **полезную**, связанную с *упорядоченным* движением, работу, такую как подъем груза на некоторую высоту. **Качество энергии понижается в результате перехода ее в тепло.**

Из наших рассуждений следует само определение понятия *полезная работа*. Повторим его еще раз. В термодинамическом смысле **полезной следует называть такую, произведенную над некоторой системой работу, результатом которой является увеличение порядка в этой системе.**

Несколько слов об *излучении*. Выше, кроме теплоты в качестве конечного результата превращения энергии мы упомянули излучение, уходящее в пространство. Это так если мы имеем ввиду процессы в нашей Солнечной системе. Где-то очень далеко это излучение имеет вероятность тоже в конце-концов поглотиться и перейти в тепло. Но кроме того излучение в замкнутой системе может являться и носителем тепловой энергии в прямом смысле. Энергия каждой молекулы включает в себя энергию ее поступательного вращательного и колебательного движения, но кроме того, (когда она достаточно велика) - энергию, связанную с возбуждением электронных уровней и с ионизацией. Процессы переходов между возбужденными состояниями и процессы ионизации и рекомбинации ионов связаны с испусканием и поглощением квантов электромагнитного излучения. Эти кванты, беспорядочно излучаясь и поглощаясь, находятся в *тепловом равновесии* с веществом и вносят свой равноправный вклад в его *тепловую* энергию.

Тепло образуется в большинстве процессов неравномерно, мы видим тела нагретые по-разному. Количественная мера степени нагретости тела, которая пропорциональна средней величине кинетической энергии составляющих его молекул, называется **температурой**. Из определения ясно, что температура (которую называют еще **термодинамической температурой** и измеряют в **Кельвинах**) не может быть отрицательной, минимальная температура, равная 0, соответствует в *классическом приближении* нулевой кинетической энергии беспорядочного движения молекул и в реальных процессах, последовательными приближениями достигнута быть не может.

(Мы написали «в классическом приближении», в этом приближении мы и будем излагать такую «классическую» науку, как термодинамика, но надо не забывать, что вблизи абсолютного нуля становятся существенными законы квантовой механики, такие как принцип неопределенности и принцип запрета. Уменьшение амплитуды тепловых колебаний молекулы до нуля должно привести к точной фиксации ее положения и импульса (равного нулю), что запрещено принципом неопределенности. Кроме того в упорядоченной квантовой системе *фермионы*, к которым относятся и электроны и протоны, не могут находиться в одинаковых квантовых состояниях и, значит, одинаковую (нулевую) энергию может иметь лишь небольшое их число. Для остальных наименьшая возможная энергия будет больше нуля. Существует понятие **нулевые колебания** атомов, с которыми связаны необычные низкотемпературные эффекты, необъяснимые с классической точки зрения, такие как сверхтекучесть жидкого гелия и невозможность перевести его в твердое состояние ни при какой температуре.)

При контакте тел с разной температурой происходит переток тепла от горячего тела к холодному до полного выравнивания температур. При этом, хотя полный запас энергии

сохраняется, **качество** ее понижается. Под *качеством* энергии мы будем понимать ее способность менять свой вид и, в частности, переходить в механическую работу. *Качество энергии тем выше, чем в большее число других видов она может перейти и чем большая ее часть может быть переведена в механическую работу.* Мы знаем, что, имея горячий нагреватель и холодный холодильник, можно построить такую машину, которая позволит **часть** избыточной (по сравнению с холодильником) тепловой энергии нагревателя перевести в полезную работу, причем эта часть тем меньше, чем меньше разность температур. После выравнивания температур этого сделать уже нельзя. Качество энергии стало ниже. Различие температур разных тел - это тоже элемент *упорядоченности*, выравнивание температур эту упорядоченность уничтожает.

Переход потенциальной и кинетической энергии упорядоченного движения или расположения в тепло, а затем выравнивание температур - это переход системы из состояния *менее вероятного* в состояние *более вероятное*. Такие процессы протекают самопроизвольно при отсутствии внешних воздействий на систему.

Вот эту **направленность всех самопроизвольно протекающих процессов в сторону увеличения вероятности состояния системы** и понижения **качества** энергии - их **необратимость** - называют **вторым началом** термодинамики.

(Кроме этих двух наиболее важных, определяющих протекание всех процессов в нашем мире, иногда называют еще два начала, которые я назвал бы вспомогательными: **нулевое**, которое, по существу, представляет собой определение понятия температуры, и **третье** (или теорема Нернста), которое постулирует равенство нулю *энтропии* при температуре абсолютного нуля.)

Обратные процессы, переводящие систему из более вероятного состояния в менее вероятное, самопроизвольно протекать не могут, они возможны только при специальном образом организованном *подводе энергии* из какого-либо внешнего источника. С такими процессами человек познакомился и начал их изучать с изобретением паровой машины - первой машины, для преобразования хаотического движения в организованное - тепла в работу. Как вы возможно помните Карно доказал, что такое преобразование не может быть полным - часть тепловой энергии обязательно должна быть рассеяна (отдана холодильнику). Отсюда следует другая формулировка второго начала термодинамики (формулировка Кельвина): **Невозможен процесс, единственный результат которого состоял бы в поглощении теплоты от нагревателя и полного преобразования этой теплоты в работу.**

Наибольшая доля тепла, которая, в идеале, может быть превращена в работу, определяется разностью температур нагревателя и холодильника и равна отношению разности этих температур к температуре нагревателя. Эта величина называется коэффициентом полезного действия (к.п.д.) идеального цикла тепловой машины. Любой цикл отличный от идеального имеет меньший к.п.д.

Второе начало термодинамики позволяет разделить все процессы на **естественные** - переход работы в тепло, переток тепла от более горячего тела к более холодному, сюда можно добавить и такой необратимый процесс, как перемешивание разнородных веществ - и **противоестественные**. Количественной характеристикой, величина которой определяет протекание процессов в изолированных системах, является **энтропия**, которая определяется так, что она возрастает при протекании любого самопроизвольного процесса, возможного в изолированной системе или *естественного* процесса.

Приращение энтропии было определено формально как отношение приращения количества теплоты к температуре:

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$$

Любой самопроизвольно протекающий в замкнутой системе процесс должен увеличивать эту величину. Посмотрим какова будет эта величина при выравнивании температур в неравномерно нагретом теле. При этом некоторое количество тепла перейдет от горячей части к холодной - одна часть потеряет, а другая приобретет одно и то же количество тепла. Энергия системы не изменится, но горячая часть системы потеряет тепло при большей температуре, чем холодная ее приобретет, и, значит, потеря энтропии горячей частью будет меньшей, чем ее увеличение в холодной - энтропия всей системы возрастет.

Энтропия кажется весьма загадочной и непривычной характеристикой состояния термодинамической системы, но на самом деле она не хуже и не лучше энергии. Если **энергия** - это мера некоторой *потенциальной* возможности системы совершить полезную работу, то есть *упорядоченное действие*, то **энтропия** - это мера **качества** энергии, то есть *реальной* способности ее произвести работу без привлечения внешнего воздействия. Энтропия возрастает при рассеянии энергии, при возрастании неупорядоченности системы, при возрастании хаоса.

Немецкий физик Людвиг Больцман нашел количественную связь энтропии с неупорядоченностью системы (или с вероятностью состояния системы):

$$S = k \log W$$

Величина W представляет собой число способов, которыми можно осуществить данную систему, и эта величина определяет **вероятность** реального ее осуществления. Всякая, любая, упорядоченность ограничивает число возможных конфигураций, уменьшает вероятность и энтропию. Перемешивание, пространственное выравнивание концентраций увеличивает число вариантов взаиморасположений конкретных молекул обеспечивающих данную конфигурацию, а увеличение температуры или выравнивание ее увеличивает число вариантов распределения энергии между молекулами, обеспечивающих данную среднюю энергию.

Второе начало термодинамики говорит о том, что все самопроизвольно протекающие процессы в замкнутой (изолированной) системе ведут к увеличению беспорядка, к хаотизации и к снижению качества энергии. То есть к *разрушению всех структур и затуханию всех процессов* (которые тоже можно трактовать как «структуры», но не в пространстве, а во времени). Второе начало может стать очень наглядным, если мы вспомним, как легко «сам собой» возникает беспорядок в комнате, и каких усилий стоит поддержание порядка.

Поскольку Вселенную в целом мы должны рассматривать как изолированную систему (по отношению к ней нет никакой «внешней среды»), то наш мир должен непрерывно деградировать. Наблюдения говорят, что так и происходит: основные источники высокотемпературной (достаточно высокого качества) тепловой энергии непрерывно ее рассеивают и, в конце-концов, остывают, то есть выравнивают свою температуру с температурой межгалактической среды (которая равна в настоящее время приблизительно 2,7 К). Если бы Вселенная существовала вечно, она давно уже была бы мертвой. Однако, она жива, и даже более того, мы видим, что сложность ее все увеличивается, во всяком случае сложность увеличивается в нашем маленьком уголке - на Земле.

В свое время Клаузиус высказал идею о неизбежной *тепловой смерти* Вселенной. А раз у Вселенной неизбежен *конец* значит должно было быть и *начало*. Против этого восстали материалисты, ибо они не могли представить себе начало иначе как в виде акта божественного творения, причем творения Вселенной сразу такой какая она есть сейчас, точнее даже более сложной, дифференцированной (ведь по Клаузиусу все может только выравниваться и упрощаться). Поэтому они говорили уклончиво: второе начало термодинамики, конечно, верно в нашей части Вселенной, где температуры

выравниваются, а энергия рассеивается, но очевидно во всей *бесконечной Вселенной* это не так.

Сейчас мы видим, что **начало нашего мира**, повидимому, действительно *было*, достаточно загадочное, но вполне материалистическое. Пресловутая **сингулярность**, которая, расширяясь, превратилась в нашу Вселенную, могла быть просто некоторой квантовой флуктуацией находившегося в особом состоянии вакуума, подобной зародышу парового пузырька в перегретой жидкости. Раздуваясь, горячий пузырек породил все, что мы видим и изучаем.

Как же он все это породил? Все результаты современного изучения Вселенной говорят, что на начальных стадиях развития она представляла собой однородную совершенно бесструктурную, сверхплотную очень горячую *равновесную* смесь элементарных частиц и фотонов, непрерывно превращающихся друг в друга. Как же появились (и продолжают появляться) структуры - атомы и молекулы, галактики и звезды, а потом планеты и мы с вами?

Этот вопрос долго ставил в тупик ученых, и только в двадцатом веке ответ на него стал проясняться, хотя далеко не все ясно и сейчас.

3.3. Причина возникновения структур. Динамические системы и диссипативные структуры

Как мы выяснили, для возникновения структур, то есть закономерно организованных, устойчивых конфигураций, составленных из тех или иных элементов, необходимо существование достаточно прочных связей между этими элементами. Для образования таких связей необходима возможность диссипации, рассеяния куда-то в *окружающую среду* энергии связи. Нужна "окружающая среда", то есть какая-то исходная неоднородность.

Первопричина структурирования нашей Вселенной в ее нестационарности – исходной неоднородности во времени. Вселенная расширяется и остывает, энергия рассеивается, энтропия растет, но это расширение привело к появления *потока рассеяния*, непрерывного движения и направленного изменения состояния вещества. Этот поток и привел к образованию **макроскопических** неоднородностей - структур всех масштабов.

Мы видим очень крупномасштабные неоднородности: вещество сконцентрировано в звездах, звезды - в галактиках, галактики в скоплениях и сверхскоплениях, и только в масштабах, значительно больших, чем размеры сверхскопления (это сотни миллионов световых лет), Вселенная пространственно однородна. Эта однородность отражает однородность первичного зародыша, возникшего из сингулярности. Она сохраняется, так как Вселенная в целом представляет собой изолированную систему, в которой определяющим эволюцию является процесс рассеяния вещества при расширении, но рассеяния без притока и выноса вещества «за пределы».

Неоднородность, структурированность отдельных частей Вселенной связана с их конечностью и открытостью: для каждой такой части можно говорить о *внешней среде*, с которой происходит обмен энергией и энтропией. Микрон неоднородности, флуктуации возникают и исчезают непрерывно, случайным образом из-за принципиально вероятностной природы микропроцессов и процессов в больших стохастических системах. **Для превращения же флуктуаций в макрон неоднородности и в сложные, развитые структуры необходим направленный поток энергии и вещества, который изначально и задается рассеянием при расширении.**

При возникновении и усложнении структуры происходит местное увеличение порядка и, соответственно, уменьшение энтропии, но при этом в большем масштабе в

системе, включающей также и часть внешней среды, энтропия возрастает. Из всего, что нам известно к настоящему времени, следует, что все структуры во Вселенной возникли в результате протекания процессов **диссипации** первоначально концентрированной тепловой энергии. При этом энтропия Вселенной в целом непрерывно возрастала, каждое местное уменьшение энтропии при возникновении упорядоченных структур с избытком компенсировалось ее увеличением за счет рассеяния энергии.

Практически все наиболее сложные структуры вокруг нас - это структуры **диссипативные**, они могут существовать только при наличии непрерывного «сквозного» потока энергии или вещества. Простейший, классический пример диссипативной структуры - это так называемые ячейки Бенара - правильные шестигранные конвективные ячейки, возникающие в плоском слое жидкости, подогреваемой снизу. Они появляются при увеличении теплового потока до определенной пороговой величины. Внутренняя структура Земли - также диссипативная структура, порожденная конвективным переносом тепла и подвижных легких компонентов вещества из глубины к поверхности. Структура земной поверхности - результат как внутриземных диссипативных процессов, так и потока солнечной энергии, который поглощается в виде высокотемпературного излучения и рассеивается в виде тепла.

Как же возникают структуры на фоне диссипации? Ведь естественные процессы - это самопроизвольно протекающие процессы, связанные с возрастанием энтропии, а *производство энтропии* эквивалентно *производству беспорядка* и связано с разрушением структур?

Как показано лауреатом Нобелевской премии И.Пригожиным противоречия здесь нет. Возникновение диссипативных структур связано с производством **избыточной энтропии**. При определенных условиях, вдали от равновесия неравновесная стационарная система становится неустойчивой и естественным образом переходит в новое более организованное состояние (с меньшей энтропией), которое обеспечивает в целом более эффективное, «избыточное», производство энтропии в более широкой системе (бенаровская конвекция на несколько порядков более эффективный способ переноса и рассеяния тепла, чем теплопроводность). Такие перестройки происходят на макроскопическом уровне и механизм их заключается в *разрастании* некоторых определенных случайно возникающих флуктуаций. Задача описания и объяснения возникновения наблюдаемых структур распадается на две: описание природы и механизма возникновения первичных флуктуаций и описание механизма превращения их в макроскопические структуры.

Наглядными примерами диссипативных структур кроме ячеек Бенара являются, например, циклоны, торнадо и смерчи в атмосфере, а также облачные структуры, иногда очень сложные и красивые. Все это конвективные структуры, резко увеличивающие эффективность диссипации тепловой энергии и, значит, производство энтропии. Диссипативными структурами в принципе той же природы, хотя и неизмеримо более сложными являются и все живые существа и экологические системы, поддерживающие свое существование путем непрерывного обмена веществом и энергией с внешней средой.

Надо сказать, что кроме диссипативных структур мы видим вокруг себя и равновесные структуры, существующие вне потока энтропии, например, кристаллы. Для их существования не нужно поступления и рассеяния энергии и увеличения энтропии, однако, для *возникновения* таких структур все это было необходимо. Кристалл растет как динамическая структура в условиях диссипации и за его совершенную организацию заплачено увеличением энтропии в окружающей среде.

Повторим коротко то, что мы говорили о роли второго начала термодинамики в устройстве мира. Второе начало утверждает, что в любой изолированной системе

самопроизвольно протекают только процессы, ведущие к выравниванию температур и концентраций, рассеиванию и понижению качества энергии. Такие процессы необратимы. В результате должны затухать все процессы и разрушаться все структуры. То, что наш мир структурирован и в нем протекают активные процессы, вступило в противоречие с существовавшей концепцией стационарности Вселенной: существующая вечно Вселенная должна быть «мертвой».

До середины XX века этот парадокс разрешался допущением, что второй закон термодинамики не имеет силы в масштабах всей Вселенной, что существуют неизвестные нам процессы, не подчиняющиеся этому закону, которые поддерживают стационарность наблюдаемой Вселенной. Сейчас стало ясно, что Вселенная нестационарна, что *наша* Вселенная имеет начало и конец и противоречия со вторым законом термодинамики нет. Все существующие во Вселенной неоднородности и структуры - результат ее нестационарности, расширения, и связанное с ними локальное понижение энтропии в отдельных частях Мира не вступает в противоречие с общим ее возрастанием. Микрон неоднородности постоянно возникают случайным образом, превратиться же в сложные макроструктуры они могут лишь при наличии сквозного потока вещества и энергии, обусловленного диссипацией.

Итак, мы живем в условиях диссипации, за все высокоорганизованные структуры мы платим увеличением хаоса и снижением качества энергии, и когда-то все это, похоже, кончится. Встает вопрос: а как же все это началось? Как сконцентрировался тот огромный запас энергии высокого качества, который сейчас расходуется?

Наша Вселенная разлетается. 12-20 миллиардов лет назад вся она была сосредоточена в ничтожно малом объеме и находилась в таком состоянии, которое современная наука описывать не умеет. В этой точке было свернуто и пространство и время и вещество. Это было особое состояние физического вакуума. И в этом «домировом» состоянии произошла флуктуация, которая и породила наш мир, так же как сейчас флуктуации меньшего порядка, разрастаясь, порождают диссипативные структуры вокруг нас. Возможно, таких миров возникло и возникает бесчисленное множество, как пузырьков во вскипающей воде, но они не связаны друг с другом и принципиально ничего не могут «узнать» друг о друге.

Нашу Вселенную в целом мы можем рассматривать только как изолированную систему, которая расходует запас энергии «высокого качества», (эта энергия теряет качество, диссипирует), обеспечивая «жизнь» Вселенной. Если взять любой ограниченный объем во Вселенной, он будет представлять собой неизолированную, **открытую**, систему, которая взаимодействует с окружающей средой. В открытой системе, которая непрерывно обменивается веществом и энергией с окружающей средой, этот обмен может обеспечить местное увеличение порядка и усложнение структур, включающих, в частности, области временной концентрации энергии, диссипация которой создает условия для возникновения структур следующего порядка. Такие области часто в первом приближении могут рассматриваться как изолированные и механизм структурирования их в целом такой же как и Вселенной в целом.

Пример такой ограниченной в пространстве области, которую можно считать изолированной, пренебрегая в первом приближении любыми взаимодействиями с окружающей средой, является наша Солнечная система. В таком приближении эта система является чисто диссипативной, и только диссипация определяет ее **эволюцию**, которая поэтому может быть достаточно детально проанализирована.

3.4. Как возникают новые структуры? Устойчивость структуры. Механизм эволюции

Следующий вопрос: *как конкретно происходит возникновение (изменение) структур?* Мы поставили этот вопрос, имея в виду термодинамическую теорию диссипативных структур, но гораздо раньше этот вопрос был поставлен как вопрос о механизме **эволюции**, то есть закономерного, направленного изменения естественных объектов и систем.

Представление о нашем мире, как о непрерывно эволюционирующем, становление и развитие которого продолжается и в настоящее время, было впервые научно обосновано Чарльзом Лайелем в его знаменитом труде «Основы геологии», вышедшем в свет в 1830-1833 годах. Эта работа произвела революцию во взглядах на происхождение всего, окружающего нас. В ней было показано, что природа обладает способностью *саморазвития*, что для этого не требуется не только усилий Творца, но и вообще каких-то внешних исключительных толчков. На основе анализа фактов Ч.Лайель пришел к выводу, что «...все изменения, которые произошли в течение геологической истории, происходили постепенно под влиянием факторов, которые действуют и в настоящее время. Следовательно для объяснения этих изменений совершенно не нужно прибегать к представлениям грандиозных катастроф - необходимо лишь допустить очень длительный срок существования Земли».

Эволюционные идеи Лайеля сыграли свою роль и в создании Чарльзом Дарвином его теории происхождения видов, после появления которой учеными стали активно разрабатываться проблемы конкретных механизмов эволюции прежде всего по отношению к органическому миру, а потом к миру вообще. Было замечено, что эволюция жизни идет в сторону *усложнения*, а сама жизнь есть грандиозное усложнение по сравнению с неживой природой. И именно загадка возникновения жизни, которая, казалось, противоречила основным законам термодинамики, подтолкнула И. Пригожина на создание его новой термодинамической теории.

В проблеме эволюции, начиная с Дарвина, основными вопросами были: что является *движущей силой* эволюции? Как осуществляется переход к новой структуре? Конкретно в отношении *биологической эволюции* Дарвин предложил в качестве движущей силы случайные изменения и естественный отбор, а в качестве механизма - постепенное накопление признаков, улучшающих конкурентоспособность. Эти положения Дарвина оспаривались многими учеными, оспариваются и сейчас, но не столько в принципе сколько в конкретных деталях.

Впоследствии дарвиновский эволюционный подход был распространен и на другие природные объекты: географические ландшафты, геологические структуры, планеты, планетные системы, звезды, галактики и, наконец Вселенную. При этом он был уточнен и скорректирован с последними достижениями науки.

В отношении *общей эволюции нашего мира* сейчас можно сказать, что *движущей силой* является **расширение Вселенной и диссипация**, а ее *механизм* оказался не таким гладким, как предполагал Дарвин. Он включает **резкие скачкообразные преобразования структур**. Изменение и, в частности, усложнение структур происходит не путем непрерывного накопления малых изменений, а путем скачков, связанных с резкой глубокой перестройкой. Это последнее положение, очевидно, следует в значительной степени распространить и на биологические структуры, подкорректировав в этом смысле теорию Дарвина.

Действительно, мы видим, что наш эволюционирующий мир дискретен: вещество собрано в галактики, звезды, планеты, звезды закономерно эволюционируют, проходя несколько дискретных, четко различимых стадий, на Земле мы видим четко

различающиеся типы геоструктур такие, как материки и океаны, горы и равнины, в биологии - множество отчетливо различающихся видов. Если бы эволюция осуществлялась путем *постепенных* переходов из одного состояния в другое, такой дискретной картины мы бы не видели - все границы были бы смазаны, всегда присутствовали бы многочисленные промежуточные формы.

Мы видим дискретность и в вещественной - *пространственной* - структуре Вселенной и каждой ее части и в протекании любых эволюционных процессов, меняющих эту структуру - дискретность *во времени*. Одно связано с другим. **Единство мира требует, чтобы наблюдаемая дискретная пространственная структура создавалась дискретными во времени процессами.**

Как осуществляются скачкообразные переходы одной структуры в другую?

Каждая диссипативная структура представляет собой **динамическую систему**, которая сохраняет свою идентичность, стабильность, благодаря непрерывному обмену с окружающей средой и такому характерному свойству как **устойчивость**. Устойчивость свойственна как статическим, равновесным структурам, так и динамическим. **Смысл понятия устойчивости в нечувствительности структуры к изменению внешних условий (в определенных конечных пределах) и в возможности для данной структуры воспроизводиться при воспроизведении тех же условий.**

Все эти условия устойчивости в точности могут быть выполнены только *в идеале*, в реальности всегда что-то меняется и никогда не возможно, повторяя опыт, точно воспроизвести все условия. Поэтому **практически устойчивость** означает отсутствие **существенных** отклонений, сохранение **основных**, важных для нас характеристик структуры при **приблизительном** воспроизведении условий.

Если бы структуры не обладали устойчивостью, мы не могли бы говорить о них как о структурах вообще, они рассыпались бы под действием постоянно имеющих место **флуктуаций** - случайных колебаний внешних условий и параметров внутреннего состояния системы. Устойчивость связана с реакцией системы, направленной на демпфирование флуктуаций: в устойчивой системе вслед за флуктуацией возникают процессы, приводящие к изменениям противоположным флуктуации, гасящим ее. Например, случайное изменение плотности газа в небольшом объеме приводит к возникновению градиента концентрации молекул на его границе, и диффузия немедленно начинает сглаживать это изменение плотности.

В более сложных системах более сложны и многообразны и процессы, обеспечивающие устойчивость. Сопротивление судна переворачиванию обусловлено формой его корпуса и закономерностью распределения груза, благодаря чему при крене возникает возвращающий в вертикальное положение момент. Поднятие гор активизирует процессы их разрушения, а прогибание впадин – процессы их заполнения осадками. Поэтому Земля *устойчиво* сохраняет очень близкую к идеально шарообразной форму. Особенно сложен комплекс процессов, способствующих стабильности внутренней среды живого организма при очень сильно меняющихся внешних условиях. Например, температура тела теплокровного животного сохраняется с точностью до 0,1 градуса при изменении температуры внешней среды на величину во много десятков градусов.

3.4.1. Механизм потери устойчивости. Математическая “теория катастроф”

Наш мир структурирован, значит все его структурные элементы обладают устойчивостью, и в то же время он меняется, эволюционирует. Отсюда следует, что время

от времени имеет место и качественная, существенная перестройка структуры или состояния системы. В этом случае мы говорим о **потере устойчивости**. При потере устойчивости определенные флуктуации перестают компенсироваться, а наоборот, катастрофически растут до тех пор пока качественное, существенное изменение системы не положит этому росту конец. Переход системы в новое состояние происходит скачком, который подготавливается изменениями параметров, обычно называемых **управляющими**. Момент скачка определяется некоторым критическим значением параметра, приближение к которому может быть медленным и плавным. Последняя соломинка ломает хребет верблюду. Последнее ничтожное, в пределе бесконечно малое, изменение какого-то параметра приводит к полной, кардинальной перестройке.

Если мы станем нагревать герметически закрытый сосуд, до половины наполненный водой, то долгое время мы будем видеть в нем одну и ту же картину - воду и пар над ней - две фазы разделенные резкой границей. Это состояние поддерживается динамическим равновесием потоков молекул из воды в пар и обратно. И лишь по достижении критической температуры граница между водой и паром *мгновенно* исчезнет - система перейдет в качественно новое - *надкритическое* состояние. Точно так же мгновенно по достижении критической величины потока тепла возникает четко структурированная конвекция. При критическом крене судно мгновенно переворачивается вверх дном. По достижении критической массы урана происходит ядерный взрыв. При изменении внешних условий дальше какого-то предела живое существо умирает.

Рассмотрим чуть подробнее потерю устойчивости судном. Судно с поперечным сечением корпуса приблизительно прямоугольной формы имеет два устойчивых положения - нормальное и перевернутое, - если его центр тяжести находится выше центра плавучести. Если центр тяжести расположен ниже центра плавучести, то устойчиво лишь нормальное положение, но практически такой вариант для надводных судов не встречается. В первом случае в нормальном положении даже при значительном крене судно способно возвратиться в исходное состояние само собой, так как при его наклоне возникает возвращающий момент, обусловленный одновременным действием противоположно направленных сил тяжести и плавучести. Однако существует такой критический угол крена, превышение которого приводит к изменению направления момента сил и полному переворачиванию судна вверх килем - к переходу во второе его устойчивое состояние. Основных управляющих параметров в этом случае два - положение центра тяжести судна относительно его центра плавучести и угол крена.

Такие скачкообразные перестройки принято называть «катастрофами», и математическая теория, созданная для их описания, получила название *теории катастроф*. Подчеркнем сразу во избежание путаницы, что эти «катастрофы» не имеют ничего общего с катастрофами, считавшимися *причиной* изменений в природной среде до появления труда Ч. Лайеля. Те катастрофы были катастрофами и в обычном смысле, вызванными внешними, никак не связанными с внутренними характеристиками рассматриваемой системы, обстоятельствами. «Катастрофы», о которых мы говорим сейчас, описывают не причины изменений в природных системах, а *механизм* этих изменений и являются следствием их *внутренних* характеристик.

Механизм и условия появления таких скачков описываются так называемой **теорией катастроф**, являющейся частью более широкой **теории динамических систем**. Это математическая теория, позволяющая анализировать особенности реальных процессов с помощью простых моделей. Ее качественные результаты покажем, рассмотрев еще один пример - прощелкивание изогнутой пластины (полоски, «линейки»).

Упругая пластина, выгнутая вверх имеет вид арки. Если ее нагружать посередине она начнет деформироваться, но будет оставаться аркой, выгнутой вверх, хотя и немного кривой, до тех пор пока нагрузка не достигнет критической величины, при которой

пластина «прошелкнет» и займет свое второе устойчивое положение - прогибом вниз. Вторым управляющим параметром в такой конструкции может быть боковое сжатие, обеспечивающее исходную выгнутость вверх: чем больше оно, тем больше критическая нагрузка и сильнее прощелкивание.

Если такую пластинку поставить вертикально и подвергать ее вертикальному сжатию и боковой нагрузке в центре справа или слева мы получим систему с двумя полностью *симметричными* устойчивыми состояниями - выгнутость вправо и выгнутость влево. Действие боковой нагрузки симметрию нарушает, но если нагрузка только вертикальная, оба состояния совершенно равноправны. Между ними находится состояние строгой вертикальности, неустойчивое при наличии сжимающей вертикальной нагрузки, оно разрушается при любой сколь угодно малой флуктуации.

Здесь хорошо видна важная особенность поведения динамических систем в момент неустойчивости - *неоднозначность дальнейшего поведения*. При возникновении только вертикальной сжимающей силы линейка может выгнуться в любую сторону, причем вариант, выбранный ею зависит от *случайных* сколь угодно малых флуктуаций внешних условий или внутренних параметров. После того как путь дальнейшей эволюции выбран (изгибание началось в определенную сторону), система уже не может свернуть с него, но сам выбор пути - **случаен!** Точка неустойчивости в этом случае называется **точкой бифуркации** или раздвоения. В поведение системы в точке бифуркации вносится принципиальный элемент *случайности*.

Это очень важный момент. Оказывается мы имеем дело с принципиальной неопределенностью не только в микромире, в мире квантов, но и в мире макроскопических, непосредственно наблюдаемых нами, явлений.

Рассмотрим снова нашу вертикальную упругую пластинку (линейку), изображенную на рисунке 1. Ее состояние описывается количественно величиной стрелы прогиба X . Изменение этой величины определяют два управляющих параметра: сила F_y , действующая вдоль нее (вдоль оси y), которую будем считать положительной, когда она растягивающая и отрицательной, когда она сжимающая, и сила F_x , действующая на ее середину в перпендикулярном направлении (вдоль оси x). Сила F_x положительна, если направление ее действия совпадает с направлением оси x . Если сила F_x отсутствует, а сила F_y положительна - линейка прямая и при этом система находится в устойчивом состоянии (если появится сила F_x отличная от нуля линейка прогнется, как показано на рис. 1а, но если эта сила исчезнет - исходное состояние восстановится); если сила F_y отрицательна состояние «линейка прямая» становится неустойчивым: любое случайное сколь угодно малое воздействие скачком переведет ее в одно из состояний - «линейка выгнута вправо» или «линейка выгнута влево».

Какое из этих состояний реализуется при отсутствии боковой силы предсказать невозможно: при переходе силы F_y от положительных значений к отрицательным система проходит точку **бифуркации**. Параметр, воздействующий на систему подобным образом называется **расщепляющим**, так как его изменение приводит в точке бифуркации к расщеплению единой кривой, описывающей поведение системы, на две равнозначных. Выбор между этими двумя линиями поведения может определяться случаем.

Если сила F_y отрицательна и линейка выгнута влево, положительная сила F_x будет деформировать линейку, незначительно уменьшая стрелу прогиба в середине линейки X , пока не произойдет прощелкивание вправо (рис. 1б). Для такого прощелкивания потребуется тем большая сила F_x , чем больше отрицательная (сжимающая) величина силы F_y . Графически зависимость стрелы прогиба линейки от силы F_x при различных значениях силы F_y показана на рис. 2. Мы видим, что при $F_y \geq 0$ эта зависимость однозначна - любому значению F_x соответствует единственное значение X . При $F_y < 0$ каждому значению F_x в определенной области отвечает уже три значения X , соответствующих двум

устойчивым состояниям и одному неустойчивому, показанному пунктирным участком кривой. (Неустойчивому состоянию в этом случае соответствует сложная конфигурация изгиба линейки, которую можно создать искусственно, но которая не реализуется в естественном процессе).

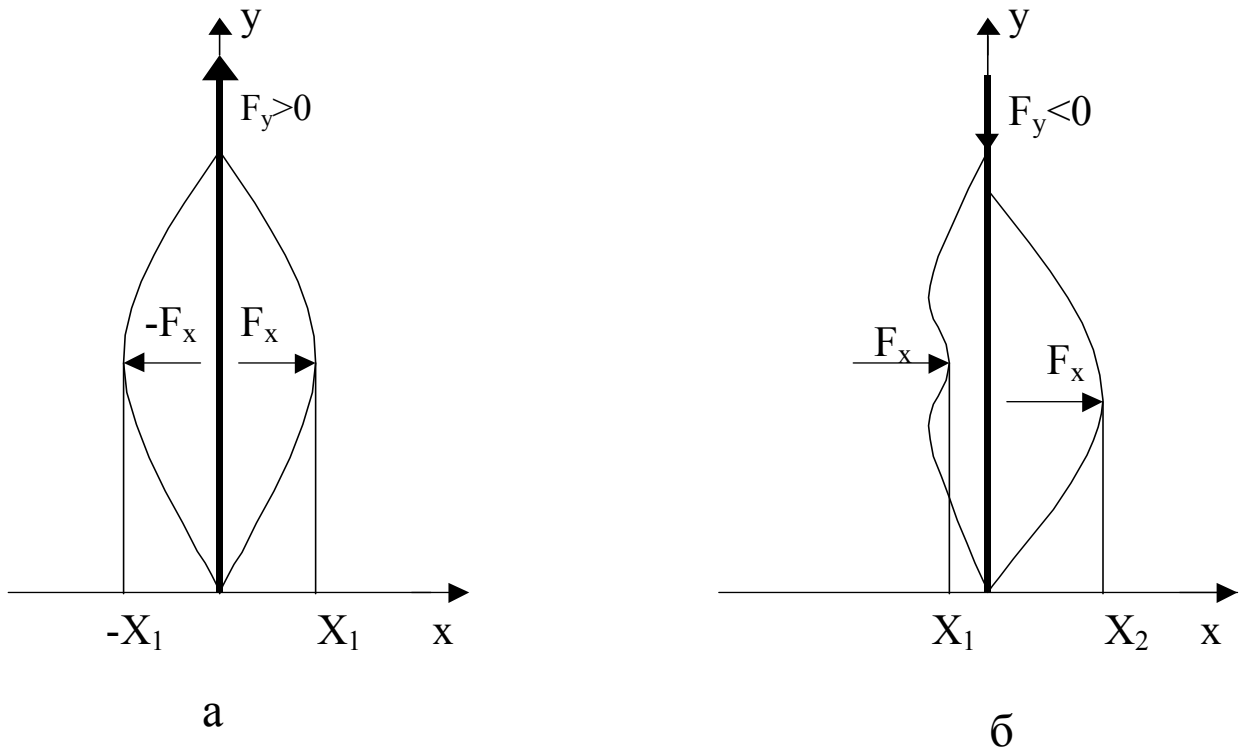


Рис. 1. Простейшая система с «катастрофой» - упругая линейка под действием продольной и поперечной сил. Нижний конец линейки закреплен шарнирно в начале координат, верхний не закреплен, но может двигаться только вдоль вертикальной оси. а) если $F_y \geq 0$ стрела прогиба X прямо и однозначно зависит от величины силы F_x ; б) если $F_y < 0$ одному и тому же значению F_x соответствуют два устойчивых положения линейки - с прогибами X_1 и X_2 , переход между которыми возможен только скачком.

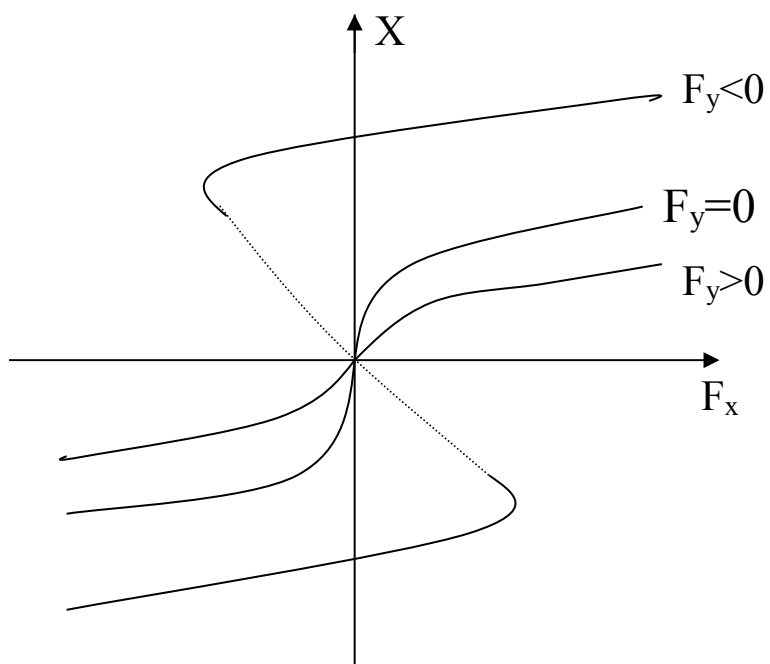


Рис. 2. Зависимость X от *нормального* параметра F_x при различных значениях *расщепляющего* параметра F_y . Пунктирные участки кривых обозначают области неустойчивых состояний.

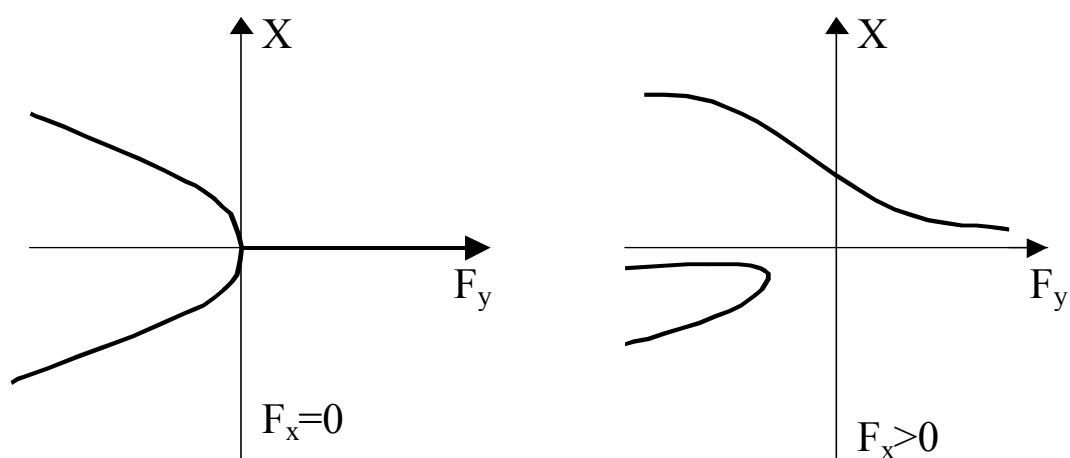


Рис. 3. Зависимость X от *расщепляющего* параметра F_y при различных значениях *нормального* параметра F_x . При $F_x=0$ переход F_y через 0 приводит к расщеплению на два равноправных устойчивых состояния, выбор между которыми происходит случайным образом. Если $F_x>0$ при уменьшении F_y до отрицательных величин однозначность сохраняется.

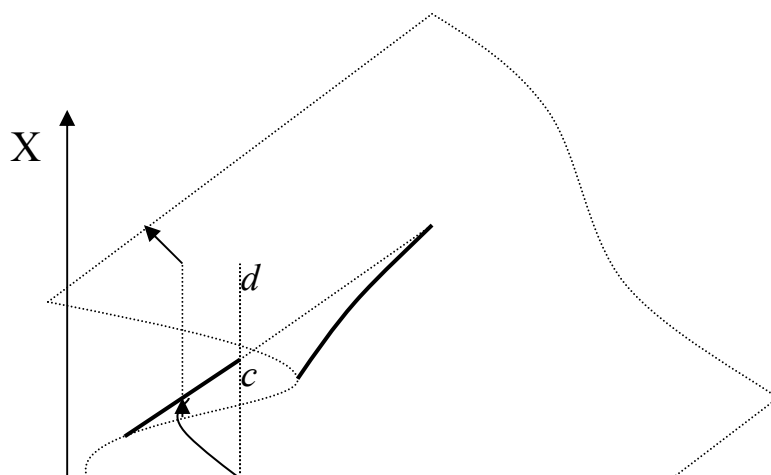


Рис. 4. Зависимость X от управляющих параметров F_x и F_y , изображенная на трехмерном графике: *поверхность равновесия* с особенностью типа «сборка». *Отображение катастрофы* на плоскости управляющих параметров имеет вид угла с острием, каждой точке a внутри которого отвечают три точки на поверхности равновесия - b , c и d . В области катастрофы при изменении управляющих параметров конечное состояние системы зависит не только от конечных значений этих параметров, но и от пути, по которому эти значения были достигнуты - переход в точку a из точки o на плоскости управляющих параметров может перевести соответствующую точку на поверхности равновесия в точку a , если он осуществляется по прямой через ближайшую сторону угла, и в точку d , если путь перехода идет в обход точки сборки.

На рис. 3 показана зависимость величины прогиба X от параметра F_y . Видно, что при $F_x = 0$ переход F_y через 0 приводит к расщеплению прямой линии на две равнозначных кривых, а при $F_x > 0$ при переходе F_y через 0 сохраняется единая плавная кривая, расположенная выше оси абсцисс. Отдельная кривая, расположенная ниже оси абсцисс, описывает состояние, показанное на рис. 1б слева от оси ординат. Переход с верхней кривой на нижнюю не возможен ни при каких изменениях F_y , а обратно – возможен по достижении расщепляющим параметром величины, соответствующей точке поворота нижней кривой. Верхняя, прижатая к оси абсцисс, ветвь нижней кривой соответствует неустойчивым состояниям, и при росте F_y изображающая точка в точке поворота скачком переходит на верхнюю кривую – линейка прощелкивает вправо.

На рис. 4 зависимость $X(F_x, F_y)$ показана на трехмерном графике. Она представляет собой изогнутую поверхность с особенностью типа «сборка». Это действительно сборка - хорошо знакомая нам деталь покрова одежды. Она состоит из двух **складок**, сходящихся вместе в одной точке – **точке сборки**. Складки и сборка – это стандартные особенности **многообразия катастрофы** - *поверхности равновесия*, отражающей зависимость исследуемой характеристики системы от управляющих параметров. Каждая точка такой поверхности описывает некоторое состояние системы и называется **изображающей точкой**. *Проекция сборки* на плоскость управляющих параметров имеет вид угла с острием и называется **отображением катастрофы**. Каждой точке внутри этого угла соответствуют три значения X , вне угла - одно.

На трехмерном графике лучше видно влияние каждого из двух управляющих параметров. При изменении *расщепляющего параметра* F_y проекция *изображающей точки* на плоскость управляющих параметров движется вдоль оси угла, образуемого проекцией сборки, и, если *нормальный параметр* F_x равен 0, проходит через острие угла.

При этом лишь от случая зависит по верхнему или по нижнему листу сборки будет двигаться дальше сама изображающая точка на многообразии катастрофы. Если F_x больше или меньше нуля проекция изображающей точки пройдет справа или слева от острия (или от *точки сборки*), и, соответственно, сама изображающая точка однозначно и вполне детерминированно пойдет по верхнему или по нижнему листу.

Изменение F_x проводит проекцию изображающей точки на плоскости управляющих параметров поперек проекции сборки и при $F_y < 0$ траектория изображающей точки пересекает ее границы. На самой сборке это приводит к скачку точки, описывающей состояние системы, с одного листа поверхности X на другой (на рис. 4 показана траектория изображающей точки со скачком с нижнего листа на верхний). При этом в нашем случае реализуется так называемый **принцип максимального промедления** - скачок, как прямой так и обратный происходит у дальней границы угла, зависимость образует *петлю гистерезиса* (это хорошо видно на рис. 2).

Движение изображающей точки по поверхности равновесия помогает проследить как будет эволюционировать система при одновременном изменении обоих параметров. При этом конечное состояние системы определяется не только достигнутыми в конце пути значениями этих параметров, но и *самим путем*, по которому эти значения были достигнуты - траекторией изображающей точки на отображении катастрофы. На рисунке 4 видно, что перемещение изображающей точки на плоскости управляющих параметров из точки «о» в точку «а» кратчайшим путем переведет на поверхности равновесия соответствующую точку в точку «б» на нижнем листе, а перемещение в ту же точку «а» вокруг острия угла - в точку «д» на верхнем листе.

Оказывается, что только что полученная нами в простом примере картинка **катастрофы сборки** описывает огромное число реально наблюдаемых процессов возникновения и преобразования структур, перехода динамических систем из одного устойчивого состояния в другое. Это и различные случаи механической устойчивости и фазовые переходы, динамика звездной эволюции и популяций живых существ, экономические кризисы и революции. Хотя и не всегда все так просто как в разобранный пример, но любой сложный случай скачкообразных изменений структуры можно свести к комбинации катастроф складки и сборки. Основные черты динамического поведения самых разнообразных систем оказываются едиными и описываются простой качественной закономерностью - еще один замечательный пример единства и простоты мира.

Складки и сборки - это **структурно устойчивые** особенности, то есть особенности не исчезающие при малых изменениях параметров. Английским математиком Уитни было доказано, что любая более сложная особенность при малом “шевелении” распадается на складки и сборки.

Практически проанализировать поведение конкретной динамической системы с помощью теории катастроф разумеется просто отнюдь не всегда. Главная проблема - определить и количественно охарактеризовать основные управляющие параметры. Это сделать очень легко для механических систем, несколько сложнее для химических, термодинамических, и часто чрезвычайно сложно для биологических и, особенно, социальных систем.

Теперь допустим, что у нас таких вертикальных пластинок много (стоит тысяча металлических линейек между двумя стальными плитами), и мы их начинаем нагружать одновременно и строго вертикально. Боковой нагрузки нет, и направление изгиба пластинки должно определяться случайной флуктуацией. Оказывается даже в этом случае направления изгиба пластинок не будут совсем беспорядочными. Флуктуации (это могут быть, например, флуктуации плотности воздуха вблизи пластинки) случайны и по величине и по направлению воздействия и по времени. Первая флуктуация вызовет прощелкивание первой пластинки, это прощелкивание вызовет локальную деформацию

стальной плиты и движение воздуха, которое воздействует на соседние пластинки, и поможет им прогнуться в ту же сторону. Эта однородная деформация будет распространяться как волна, передаваясь от пластинки к пластинке, пока не встретится с другой такой же «волной», порожденной другой флуктуацией в другом месте. В итоге возникнут довольно обширные области одинаково изогнутых линеек, а если их вообще не слишком много, то весьма велика вероятность, что все они изогнутся одинаково - возникнет порядок в результате чисто случайного события изгиба первой линейки. Если же система испытает определенное даже предельно слабое *заданное внешнее* воздействие, то оно может полностью определить результат - возникнет большая хорошо упорядоченная структура.

Только что описанный пример по существу представляет собой механическую модель намагничивания ферромагнетика, остывающего ниже точки Кюри. Возникающая при этом спонтанная намагниченность (фиксирование определенной ориентации «элементарных магнитиков» - атомов) образует ориентированные случайным образом довольно крупные однородные области - домены, а при наличии достаточно сильного внешнего магнитного поля вся намагниченность ориентируется по полю.

Благодаря такому эффекту в горных породах фиксируется направление магнитного поля Земли, которое было в определенные моменты их становления. Так в магматических породах, содержащих магнитные минералы, фиксируется момент их остывания ниже температуры Кюри, когда начинает проявляться ферромагнетизм. При разрушении породы естественными процессами мельчайшие частички оказываются намагниченными. Они переносятся реками и, в конце-концов осаждаются на дно океанов, морей и озер. В процессе медленного оседания в спокойной воде магнитные частички ориентируются по магнитному полю Земли. Таким образом в последовательно накапливающихся слоях осадков так же как и в последовательных порциях изливающихся и застывающихся вулканических лав как на магнитной ленте записывается история изменения взаимной ориентации земного магнитного поля и данного участка земной поверхности. Анализ таких записей по всей Земле позволил обнаружить как изменения магнитного поля, включающие его «переворачивания», когда северный полюс становится южным и наоборот, так и перемещения и развороты крупных участков поверхности Земли.

Скачкообразной перестройкой структуры (катастрофой) являются все фазовые переходы, например, переход жидкость-пар или жидкость-твердое вещество, которые демонстрируют еще одну особенность *катастрофы сборки*. Резкий переход, описываемый классической сборкой с петлей гистерезиса, возможен и тут, когда перегретая жидкость взрывообразно испаряется, (переохлажденная - мгновенно кристаллизуется), но обычно мы наблюдаем *постепенное* испарение жидкости при сохранении *постоянной* температуры и давления до тех пор пока не будет полностью завершен переход в новое состояние. В первом случае реализуется уже упоминавшийся **принцип максимального промедления**, а в последнем - так называемый **принцип Максвелла**, который имеет место при высоком уровне «шума» (случайных внешних воздействий, порождающих флуктуации), не позволяющего осуществиться *принципу максимального промедления*.

3.4.2. Некоторые примеры диссипативных структур

Очень эффектные диссипативные структуры постоянно возникают у всех на глазах и часто являются «катастрофами» не только по механизму своего образования, который описывается *теорией катастроф*, но и в обычном смысле по своему воздействию на жизнь человека. Это, прежде всего, различные атмосферные явления, а также извержения вулканов и землетрясения.

Облака - наверное самые разнообразные и красивые образования, имеющие отчетливую и наглядную диссипативную структуру. Это динамические образования, существующие лишь при условии непрерывного переноса влаги потоками воздуха. Облака очень упорядоченные структуры, и существует не так много стандартных типов

облачности, связанных с совершенно определенными динамическими процессами в атмосфере (хотя мелкие детали формы облаков очень разнообразны и поэтому до сих пор не удалось автоматизировать наблюдения за облаками).

Тропический циклон (тайфун, ураган) - это вихревая структура, обеспечивающая скачкообразное усиление рассеяния энергии, накопленной в нагретой воде некоторого участка океана. Нагреваемая Солнцем вода океана длительное время спокойно отдает свое тепло и влагу атмосфере, там возникают конвекционные токи, появляются облака, выпадают дожди, часть тепла в виде длинноволнового излучения уходит в Космос. Но вдруг, по достижении потоком тепла, отдаваемого океаном, определенной интенсивности на участке поверхности достаточно большой площади, характер теплоотдачи резко меняется - возникает тайфун. Огромная скорость ветра и волнение моря приводят к увеличению теплоотдачи с его поверхности в десятки раз. Основное количество тепла отнимается у воды путем испарения. Когда влага конденсируется в облаках, она отдает скрытую теплоту паробразования атмосфере - это очень эффективный механизм теплопередачи. Часть тепла преобразуется в энергию ветра, который усиливает теплоотдачу. Раз начавшись, благодаря такой *положительной обратной связи*, циклон очень быстро набирает максимальную интенсивность - происходит **скачок** системы в новое состояние с определенным образом **упорядоченной** вихревой структурой. А по существу - это такая же перестройка, усложнение структуры, способствующее *усилению диссипации*, как возникновение правильных конвективных ячеек в подогреваемой снизу жидкости.

Ураган - структура *устойчивая*: раз возникнув, он сохраняется и при довольно значительном изменении условий, перемещаясь по поверхности океана на большие расстояния туда, где он никогда бы не мог *возникнуть*, и даже выходит на сушу. Здесь работает принцип *максимального промедления*.

Явление **Эль-Ниньо** - перегрев больших масс воды в восточной экваториальной зоне Тихого океана, ослабление пассатов, оттеснение к югу холодного Перуанского течения - это опять перестройка структуры атмосферной циркуляции, только еще большего масштаба, чем тайфун.

Наконец, еще более крупные перестройки - глобальные **оледенения**, ледниковые периоды. Это тоже скачки из одного устойчивого состояния в другое. Оледенение, раз возникнув, способно поддерживать само себя: лед и снег обладают большой отражательной способностью и сильно уменьшают поглощение поверхностью Земли солнечного тепла. Охлаждающее действие постоянных ледников продлевает продолжительность снежного покрова там, где он не постоянный. Лес заменяется тундрой, которая также поглощает тепла меньше, а отражает больше. Таким образом, раз начавшись после преодоления какой-то критической грани процесс оледенения способен поддерживать сам себя длительное время - опять мы имеем дело с положительной обратной связью и принципом максимального промедления. Но переход от межледниковья к ледниковью и обратно происходит очень резко, катастрофически.

Возникновение и жизнь **вулканов** - это процесс в известном смысле аналогичный процессу возникновения и жизни ураганов. Здесь также возникают устойчивые диссипативные конвективные структуры, резко интенсифицирующие рассеяние внутрипланетной тепловой энергии. Вулканы (вулканические центры) так же как и ураганы зарождаются в определенных тектонически активных районах при определенных условиях и также через какое-то время прекращают свою активность. Значительно большее время жизни вулканического центра по сравнению с временем жизни урагана связано с значительно большими характерными временами процессов тепло- и массопереноса в недрах Земли по сравнению с атмосферой.

Аналогичную картину можно увидеть и в экономике. Два листа поверхности равновесия (сборки) могут описывать, например, состояния, соответствующие низкому уровню производства в сочетании с низким уровнем потребления и высокому уровню производства с высоким уровнем потребления. Эти состояния отчетливо видны: мир разделен надвое - на группу промышленно развитых и группу отсталых (довольно лицемерно называемых «развивающимися») стран. Пропасть между этими группами стран продолжает углубляться, а промежуточные устойчивые состояния отсутствуют. Перейти из бедной в богатую группу можно только скачком. Здесь также присутствует положительная обратная связь: снижение потребления сужает рынок, заставляет снижать производство, порождая безработицу, и, тем самым дальше снижая потребление. Бедность приводит к снижению уровня образования, квалификации и технологии, что дальше усиливает эту бедность. *Расщепляющим параметром* здесь может служить степень диверсификации и монополизации производства: при натуральном хозяйстве кризисы исключены (как скачки вниз, так и скачки вверх), они возможны только, когда есть общественное разделение труда и глубина их тем больше, чем сильнее такое разделение и чем монополизированнее отдельные отрасли. С *нормальным* параметром здесь сложнее - мне (и, повидимому, и всем остальным) пока не ясно как учесть при формализации задачи факторы индивидуальной и массовой психологии, идеологии и политики. Простой сборкой здесь не обойдешься, но на некоторую комбинацию сборок в соответствии с общей теорией очевидно можно разложить и экономику.

3.4.3. Эволюция наиболее сложных биологических структур

На основании всех этих примеров и вообще, глядя вокруг себя, мы убеждаемся, что эволюция происходит не гладко. Эта негладкость связана с образованием и преобразованием структур. Причем характерно, что малый толчок, не очень значительное изменение лишь одного или немногих параметров часто приводит к фундаментальнейшей перестройке структуры, иногда к очень сильному ее усложнению. Я думаю, что именно с неучетом этой особенности поведения динамических систем связаны отмечаемые многими учеными противоречия классической дарвиновской теории эволюции живого мира.

Программа строения и всей жизни существа записана в его геноме, при помощи последовательности четырех нуклеотидов - аденина, гуанина, тимина и цитозина. Алфавит наследственности состоит всего из четырех букв и текст ее написан трехбуквенными словами, которые в молекуле ДНК образуют цепочку двухметровой длины, сложным образом многократно свернутую спиралью. На отдельных участках этой огромной записи закодированы все белки, из которых строится организм, вся программа последовательного построения этих белков, их сочетания в более сложные структуры и совместного функционирования. Как такую грандиозную программу можно было создать путем случайных мутаций и отбора? И как поместить ее в таком ограниченном объеме?

Исчерпывающего ответа пока нет, но некоторые соображения имеются. Очевидно у Природы есть некие заложенные в ее сущности, встроенные программы создания программ, общие алгоритмы, один из которых очевидно, так называемые **фрактальные структуры**. Фрактальные структуры были открыты математиками, как нечто весьма абстрактное, но потом оказалось, что они буквально окружают нас. Главная особенность фракталов - самоподобие: структура бесконечно повторяется во все меньших и меньших масштабах. Фрактальные структуры - это и снежинки и многие растения (ветвящееся дерево, лист папоротника) и след частицы при броуновском движении и структура многих органов человека и животных и такие молекулы как ДНК, причем в ДНК фрактальную структуру имеет и геометрия молекулы и «карта» расположения в цепочке букв кода.

При помощи фракталов очень сложную структуру можно «записать» в виде относительно короткой и простой программы. Вероятно что-то подобное и имеет место при построении и эволюции биологических объектов.

Вопросы к главе 3.

1. Можно ли описать строение мира, пользуясь *только* законами взаимодействия элементарных частиц?
2. Что такое *синергетика*?
3. Что такое *энергия*? *Первое начало термодинамики*.
4. Охарактеризуйте *основные виды энергии*.
5. Что такое *энергия связи*?
6. Что такое *полезная работа*, и *качество энергии*?
7. *Второе начало термодинамики* и понятие *энтропии*.
8. Что такое *тепловая смерть Вселенной*?
9. Почему наш мир структурирован? Что такое *диссипативная структура*?
10. Почему “самопроизвольное” возникновение упорядоченных структур не противоречит второму началу термодинамики?
11. Что такое *устойчивость структуры*?
12. Что такое *эволюция*? Каков ее механизм?
13. Что такое *бифуркация*? Случайность в макроэволюции.
14. Качественная *теория катастроф* на примере деформации упругой пластинки. Что такое *катастрофа сборки*?
15. Приведите примеры диссипативных структур.

4. Современная картина мира

4.1. Общее устройство и эволюция Вселенной

Мы разобрали в общих чертах основные концепции, выработанные к настоящему времени человеком, основные принципы и правила, по которым построен и развивается наш мир. Теперь с учетом этих концепций и правил попробуем нарисовать картину того, как мир выглядит, как он к нынешнему состоянию пришел, и что нас может ожидать в будущем.

Как мы уже говорили, наша Вселенная нестационарна, то есть она непрерывно изменяется, в прежние времена выглядела иначе и не будет существовать в нынешнем виде вечно - наша Вселенная имела начало и должна иметь конец. Неопровержимые свидетельства этого появились лишь в XX веке.

Сначала (в 1922-1924 годах) необходимость нестационарности Вселенной была показана А.А. Фридманом на основании анализа решений уравнений релятивистской теории тяготения. Намного позже Э.Милн и В.Маккри показали, что тот же вывод следует и из Ньютонической теории. Наблюдаемая Вселенная в принципе не может быть стационарной - составляющая ее материя при бесконечном времени существования должна была либо разлететься, либо собраться в одном месте. Этот вывод был получен так

поздно только из-за глубокой подсознательной убежденности всех исследователей в «неизменности» существующего мира. В этом были убеждены и материалисты, отрицавшие акт творения и верующие, считавшие что мир был сотворен Богом, но такое убеждение не было основано на фактах.

В 1929 году, американским астрономом Э. Хабблом было обнаружено так называемое **красное смещение** в спектрах далеких галактик - сдвиг всех линий спектра в сторону длинных волн, - которое было интерпретировано им как смещение из-за эффекта Допплера, вызванное их убеганием. При этом оказалось, что чем дальше от нас расположена галактика, тем с большей скоростью она от нас удаляется. Это не значит, что мы расположены в центре Вселенной - от любой другой точки галактики разбегаются точно также. Разбегание - результат *общего расширения* Вселенной. Хаббл первый определил коэффициент пропорциональности между скоростью убегания и расстоянием. Он нашел величину равную примерно 500 км/с.Мпк. Впоследствии этот коэффициент получил название постоянной Хаббла и обозначается первой буквой имени его открывателя - *H*. Более точные измерения в последующие десятилетия показали, что Хаббл завысил величину *H* почти в 10 раз, но сам закон разбегания был подтвержден с полной надежностью.

Разбегание галактик путем непосредственных измерений было обнаружено позже теоретического предсказания нестационарности, так как стало возможным лишь в результате значительного усовершенствования астрономических приборов и, главное, методов определения огромных космических расстояний. Определение таких расстояний - очень сложная задача над решением которой продолжают работать ученые и в наше время. Постоянная Хаббла продолжает уточняться.

Прямой и точный геометрический *метод параллакс*ов – по величине угла между направлениями на объект с противоположных сторон земной орбиты - работал только до расстояний примерно в 30 парсек (сотня световых лет) - малая часть диаметра нашей Галактики. Чтобы продвинуться дальше были определены расстояния до некоторых звездных скоплений с помощью измерений собственных движений звезд. Скорости хаотических движений звезд в гравитационно связанных скоплениях распределены по величине определенным образом вне зависимости от направления: максимальные скорости одинаковы как в направлении вдоль луча зрения, так и поперек. Вдоль луча зрения они могут быть измерены по смещению спектральных линий, а поперек – по угловому смещению изображения звезды на снимках за достаточно длительный промежуток времени. Последнее зависит кроме собственной скорости звезды и от расстояния до нее, что и позволяет найти это расстояние. Так были найдены расстояния примерно до 10 тысяч световых лет. Затем в этих звездных скоплениях были определены истинные светимости определенного класса звезд, и потом по таким звездам, как по индикаторам были определены расстояния до еще более далеких скоплений. Далее использовалась найденная на этом этапе зависимость между светимостью и периодом, обнаруженная для особого класса периодических переменных звезд, так называемых цефеид. Яркие переменные цефеиды, обнаруженные в других галактиках, позволили найти расстояния до них путем сравнения видимой светимости с истинной, определенной по периоду пульсаций, который измеряется надежнее, чем светимость.

Цефеиды удается обнаружить в галактиках, удаленных на расстояния до 4 миллионов парсек. Дальнейший шаг - сравнение светимостей шаровых скоплений. По шаровым скоплениям было определено расстояние до скопления галактик в созвездии Девы - 17 миллионов парсек. Зная расстояние до скопления, можно найти истинную светимость ярчайшей галактики в нем, а затем по видимым светимостям ярчайших галактик в других скоплениях найти расстояния и до них. (Все эти последовательные шаги основаны на концепции *единства мира*, на не проверяемом прямыми экспериментами

предположении об одинаковости законов природы во всех частях наблюдаемой Вселенной). С помощью всех этих ухищрений постоянная Хаббла непрерывно уточняется, но все же возможная ошибка в ее определении остается значительной: значение H находится в районе 55 - 75 км/(с.Мпк).

Зная скорости разбегания и расстояния до галактик в настоящее время, можно определить момент, когда это разбегание началось - найти возраст Вселенной. С учетом всех возможных ошибок в определении H этот возраст оказывается в пределах 10-20 миллиардов лет (наиболее вероятной цифрой недавно считали 12 миллиардов лет, но в самое последнее время появились свидетельства более старого возраста Вселенной, повидимому, не менее 15 миллиардов лет).

Что было в начале мира? Мы говорим: **сингулярность**, то есть некое состояние, для которого экстраполяция расширения Вселенной назад в соответствии с классической теорией предсказывает бесконечно малый размер и бесконечно большую плотность энергии. Но одновременное существование таких бесконечностей запрещено квантовомеханическим принципом неопределенности. К описанию состояния, предшествовавшего расширению Вселенной, не приложимы законы природы, действующие в нашей Вселенной. В этом состоянии каким-то неизвестным нам квантовым законам должны подчиняться и пространство и время. Характерные размеры, времена и плотности, за которыми заведомо перестают действовать привычные нам законы природы, оцениваются из соображений размерности и значений фундаментальных мировых констант - гравитационной постоянной, постоянной Планка и скорости света. Эти характерные величины называются **планковскими**. Подбираются такие комбинации констант, которые имели бы размерность соответствующей величины. Так, характерное расстояние, называемое **планковской длиной**, получается из:

$$r_p = \sqrt{\frac{Gh}{c^3}} \approx 10^{-35} \text{ м}$$

Поделив это расстояние на скорость света, получим **планковское время**: $t_p = 10^{-43} \text{ с}$. **Планковская плотность** $\rho_p = c^5/G^2h = 10^{96} \text{ кг/м}^3$. Начиная с этих параметров, о процессах, происходящих при расширении вещества, уже можно что-то говорить, хотя реально достаточно надежно описывать и рассчитывать происходящие процессы мы можем лишь начиная с ядерной плотности - $\rho_{\text{яд}} \sim 10^{17} \text{ кг/м}^3$.

Что же представляло собой это высокоплотное вещество в те далекие времена и как оно расширялось? Чтобы выяснить это есть только один способ: делать определенные разумные предположения, затем путем расчета на основе известных нам законов природы находить к чему эти предположения могут привести в наше время и сравнивать этот результат с наблюдениями.

Прежде всего, очевидно, что при плотности вещества, превосходящей ядерную, не могло быть не только чего-либо, напоминающего современную макроструктуру Вселенной, но и каких-либо атомов химических элементов. Все это должно было возникнуть в процессе расширения. Поэтому первое, что должна нам объяснить гипотеза о начальном состоянии Вселенной и ее эволюции, - это **химический состав Вселенной**.

Для описания процесса расширения от ядерной и еще более высокой плотности первоначально были выдвинуты две гипотезы: **холодной** и **горячей** Вселенной. Гипотеза холодной Вселенной, которая предполагала при ядерной плотности холодную массу нейтронов, была вскоре отвергнута, так как из нее следовала необходимость превращения практически всего первоначально нейтронного вещества в гелий в процессе расширения, что противоречит наблюдаемому резкому преобладанию водорода над всеми другими элементами. Действительно, при уменьшении плотности ниже ядерной нейтроны начинают распадаться на протоны и электроны, и появляющиеся протоны сразу же

объединяются с нейтронами с образованием ядер гелия, в которых нейтроны устойчивы. В горячей Вселенной высокая энергия частиц не позволяет в течение некоторого времени образовываться устойчивым ядрам гелия – они разбиваются при взаимных столкновениях между собой и с фотонами. Устойчивые ядра начинают образовываться лишь по истечении времени, достаточного для снижения энергии частиц ниже энергии их связи в ядре, когда успевает распасться уже большая часть нейтронов. По существу, соотношение водорода и гелия в первичном веществе Вселенной должно определяться темпом остывания. При очень медленном остывании почти все вещество могло превратиться в водород.

При временах меньших, чем 10^{-5} с, температура была столь высока, что происходило массовое рождение и аннигиляция пар нуклон-антинуклон и вещество представляло собой равновесную смесь фотонов частиц и античастиц. Через 10^{-5} с после начала расширения рождение пар нуклон-антинуклон прекратилось и все существующие пары аннигилировали. Соображения симметрии (концепция простоты Природы) требовали равенства количества частиц и античастиц, однако, после снижения температуры и аннигиляции в нашем мире остался некоторый избыток частиц (хотя и ничтожно малый по сравнению с количеством фотонов, порожденных аннигиляцией). С чем связана такая асимметрия, благодаря которой мы и существуем, пока неизвестно – это одна из загадок, которые предстоит решить науке. Мы же рассмотрим дальнейшую эволюцию горячего вещества.

Ядерная плотность 10^{17} кг/м³ была достигнута через 10^{-4} с от начала расширения. В это время материя Вселенной представляла собой массу непрерывно превращающихся друг в друга самых разнообразных частиц и фотонов. Причем количество и общая масса фотонов примерно в миллиард раз превосходили количество и массу частиц. Антинуклонов уже не было, но пары электрон-позитрон продолжали рождаться и аннигилировать.

Воздействие высокоэнергичных фотонов не позволило всему веществу превратиться в гелий. В горячей смеси происходило непрерывное превращение протонов в нейтроны и обратно, так что сначала их было примерно поровну, но по мере снижения температуры относительное количество нейтронов уменьшалось, так как их образование требует несколько больше энергии, чем образование протонов. Остановить переход нейтронов в протоны могло включение их в состав атомных ядер, но при высокой температуре даже ядра гелия по-прежнему существовать не могли – они немедленно разбивались, едва возникнув. Гелий начал появляться лишь когда температура и, соответственно, энергия фотонов достаточно понизилась (примерно до 10^9 К, на что потребовалось 5 минут) и нейтронов было уже значительно меньше, чем протонов. Согласно расчетам при горячем начале после стабилизации вещества в нем должно было быть примерно 70 % по массе водорода и 30 % гелия. Примерно такой состав и имеет наблюдаемая Вселенная (все остальные элементы кроме водорода и гелия составляют очень малую часть вещества Вселенной и образовались в основном позже в недрах звезд и при взрывах Сверхновых). В этот момент все вещество представляло собой плазму – равновесную смесь протонов, ядер гелия, электронов и фотонов.

Итак, что же происходило при расширении? При плотности больше ядерной и температуре порядка триллиона Кельвинов вещество представляло собой равновесную смесь всевозможных взаимопревращающихся частиц, античастиц и фотонов. Этому состоянию соответствует время от начала расширения менее 10^{-5} секунды. Около 10^{-5} с аннигилируют нуклоны и антинуклоны, остается только небольшой избыток нуклонов. Затем, примерно при 10^{-3} с аннигилируют различные мезоны с массами меньше чем нуклоны, и, наконец, через несколько десятков секунд перестают возникать электрон-

позитронные пары и остается только обычное вещество, которое мы сейчас и наблюдаем в виде звезд и прочих космических объектов.

Сначала, когда уже перестали возникать нуклон-антинуклонные пары, но продолжалось возникновение электрон-позитронных пар, взаимодействие с электронами и позитронами приводило к непрерывному превращению нейтронов в протоны и обратно. При снижении температуры начал преобладать процесс превращения нейтронов в протоны, так как это энергетически более выгодно (масса протона меньше, чем масса нейтрона), а в конце-концов и эти превращения прекратились. Количество оставшихся нейтронов определялось темпом снижения температуры. При очень быстром снижении температуры превращения должны были бы оборваться резко, при равенстве нейтронов и протонов, все вещество должно было бы превратиться в гелий; при очень медленном снижении температуры процесс затянется достаточно долго, нейтроны почти все успеют исчезнуть и Вселенная будет состоять почти из чистого водорода. В нашей Вселенной осуществился вариант, когда гелия образовалось около 30% по массе. Именно такую величину предсказывает простейшая теория расширения Галактики с использованием характеристик ее нынешнего состояния и некоторых наиболее разумных допущений.

Соотношение водорода и гелия во Вселенной - это факт, позволяющий нам выбрать вполне определенную теоретическую схему развития Вселенной.

Соотношение протонов и нейтронов (и, значит, водорода и гелия) во Вселенной «замораживается» при снижении температуры ниже примерно 100 миллиардов Кельвинов. Образование электрон-позитронных пар полностью прекращается при снижении температуры ниже 5 миллиардов Кельвинов. При этой температуре вещество Вселенной представляет собой плазму из протонов, ядер гелия и электронов с ничтожной примесью ядер дейтерия и лития и огромного количества высокоэнергичных фотонов.

Окончательным, наиболее сильным аргументом в пользу «горячей» Вселенной явилось открытие так называемого **реликтового космического излучения** - изотропного излучения, заполняющего всю Вселенную, по своим характеристикам полностью соответствующего тому излучению, в которое должны были превратиться к настоящему времени первичные фотоны. Из-за красного смещения первоначальная частота и, значит, энергия этих фотонов сильно уменьшилась и их распределение по энергиям в настоящее время соответствует спектру излучения абсолютно черного тела с температурой около 3 К. Энергия каждого фотона очень мала, но их так много (10^9 фотонов на каждый протон), что суммарная энергия реликтового излучения в 30 раз превосходит энергию излучения всех звезд, галактик и других источников во всех диапазонах частот.

В виде такой термодинамически равновесной плазмы вещество Вселенной существовало примерно 1 миллион лет, до тех пор пока температура не упала до 4000 К. При такой температуре происходит рекомбинация ионов - возникают *нейтральные атомы* водорода и гелия. С этого времени Вселенная стала прозрачной для излучения, которое с нейтральными атомами практически не реагирует. Именно этот момент определяет «практический» *горизонт видимости*, то есть ту предельную границу до которой мы можем иметь информацию о Вселенной: дальше вещество непрозрачно, а с этой границы приходит реликтовое излучение. Наблюдая его, мы, по существу видим эту непрозрачную сферу, удаляющуюся от нас с красным смещением 1000. (Кстати, самые далекие светящиеся компактные объекты, наблюдаемые в телескопы - квазары - имеют красное смещение не более 4,5).

Здесь очень интересный момент, касающийся пространства-времени для Вселенной в целом. Увеличивая мощь наших приборов, мы заглядываем все дальше вглубь Вселенной - **в пространство** - и одновременно продвигаемся во времени к ее началу - видим все более и более ранние стадии ее развития. При этом мы видим эти ранние стадии

со всех сторон от нас - в любом направлении. Мы видим их на поверхности «горизонта», которая представляет собой **сферу** все большего и большего диаметра. А ведь мы при этом видим вещество в начале расширения, тогда, когда оно занимало «гораздо меньший объем»! Если бы мы проникли взором сквозь непрозрачную плазму первого миллиона лет (допустим с помощью нейтринного телескопа) до самой сингулярности, то и это «образование» размером $<10^{-33}$ см мы увидели бы размазанным по сфере радиусом примерно в 15 миллиардов световых лет!

Математикам такое представляется легко: у них давно существует понятие «бесконечно удаленная точка» (заметьте: она одна). Есть только одна наиболее удаленная точка (от данной) на поверхности сферы, если сферу бесконечно раздувать она превратится в бесконечно удаленную точку. Если Вселенная замкнута, то она подобна трех- или четырехмерной сфере. А если незамкнута? Тем не менее сингулярность мы можем увидеть только вокруг себя.

После рекомбинации атомов вещество, заполняющее Вселенную, представляло собой газ, который вследствие гравитационной неустойчивости стал собираться в сгущения. Результаты этого процесса мы видим в виде скоплений галактик, галактик и звезд. Структура Вселенной весьма не проста, и изучение механизма ее образования - это одна из самых интересных задач настоящего времени. Как ни странно, она далека от решения - мы более ясно представляем себе что происходило в первые секунды после большого взрыва, чем в период от миллиона лет до нашего времени.

Первичные неоднородности должны были быть очень малы по амплитуде (разность возмущенной и невозмущенной плотностей была очень мала) - об этом говорит чрезвычайная однородность реликтового излучения. Пока не решенная задача - выяснение природы, размеров и конкретного механизма роста первичных неоднородностей. Выбор между существующими теориями помогут сделать только наблюдения, важнейшие из которых - это наблюдения Вселенной на самой ранней стадии возникновения галактик, то есть наблюдение таких далеких ее областей, из которых свет вышел на этой ранней стадии, а также повышение точности измерений интенсивности реликтового излучения с целью поиска неоднородностей в его распределении.

В целом структура Вселенной возникла в результате роста случайных флуктуаций плотности вещества разного масштаба, но конкретная механика этого процесса, объясняющая всю структуру от скоплений галактик до звезд и планет качественно и количественно еще не вполне ясна, и над ней активно работают.

4.2. Основные компоненты Вселенной

Как же выглядит Вселенная в настоящий момент? Практически все видимое вещество заключено в галактиках - звездных системах размерами в десятки тысяч световых лет, содержащих десятки и сотни миллиардов звезд, а также облака газа и пыли. Галактики объединяются в скопления и сверхскопления. Сверхскопления - крупнейшие неоднородности во Вселенной. Их размер может достигать порядка сотни миллионов световых лет, но в масштабах многих сотен миллионов и миллиардов световых лет Вселенная однородна. Размеры скоплений галактик отвечают размерам первичных неоднородностей, способных эволюционировать в космические объекты согласно существующим теориям. Кроме галактик во Вселенной присутствует равномерно заполняющее ее реликтовое электромагнитное излучение, небольшое количество очень разреженного межгалактического обычного вещества и неизвестное количество пока не поддающегося наблюдению, но проявляющего себя в некоторых гравитационных эффектах вещества, образующего так называемую **скрытую массу**.

Основной элемент Вселенной - галактика. Основной элемент галактики - звезда - массивный плотный газовый (точнее - плазменный) очень горячий шар, излучающий в окружающее пространство огромную энергию в основном в виде электромагнитного излучения. Во всех галактиках большая часть вещества заключена в звездах - в крупнейших, так называемых эллиптических галактиках на звезды приходится свыше 95 процентов массы. В спиральных галактиках, таких как наша, доля газа и пыли значительно больше 5%, но все же гораздо меньше чем доля звезд.

Общее строение галактик определяется силами гравитации, вращением, коллективными «газодинамическими» эффектами при взаимодействии газовых облаков и звезд и галактическими магнитными полями. Важным результатом взаимодействия этих сил (прежде всего газодинамики) являются наблюдаемые у многих галактик и у нашей в том числе спиральные рукава, в которых сосредоточены основные массы газа и образуется основная масса молодых горячих звезд. Спиральные рукава по современным воззрениям представляют собой волны плотности галактической материи - динамические образования, подобные «орографическим» облакам, возникающим над вершинами гор.

Недавно процесс образования спиральных ветвей был смоделирован в лаборатории с помощью вращающейся «мелкой воды» с изменяющейся по радиусу скоростью вращения. На модели наблюдалось образование спиральных ветвей и антициклонических вихрей у основания этих ветвей. Специально поставленные очень трудоемкие наблюдения и измерения позволили открыть такие гигантские вихри и в спиральных галактиках. Мы уже привыкли к моделированию в лаборатории динамики потоков воздуха и воды, обтекающих корабли, самолеты и гидротехнические сооружения, но здесь *динамическое подобие* было успешно использовано при моделировании процессов, протекающих на объектах превосходящих модель по размерам в 10^{21} раз и находящихся на расстояниях в миллионы световых лет от нас. Удивительный пример единства мира!

Каковы размеры и массы звезд? Для их выражения обычно пользуются соответствующими величинами для Солнца, которое среди звезд типичный середнячок. Радиус Солнца – $6,96 \cdot 10^8$ м, масса Солнца – $1,99 \cdot 10^{30}$ кг. Минимальная возможная масса звезды чуть меньше 0,1 солнечной – Звезда меньшей массы уже не будет светиться; максимальная - около 90 солнечных - при больших массах в рождающейся звезде возникают колебания, которые ее разрывают на более мелкие части еще до окончательного созревания.

Излучает нормальная звезда за счет ядерных реакций синтеза тяжелых элементов из водорода в ее недрах, в основном за счет реакции превращения водорода в гелий. После «выгорания» такого ядерного «топлива» звезды превращаются в высокоплотные, горячие, медленно остывающие объекты - **белые карлики**, **нейтронные звезды** и до сих пор загадочные **черные дыры**. При этом значительную (часто больше половины) часть своей массы под конец “жизни” они рассеивают в окружающем пространстве, пополняя запасы межзвездного рассеянного вещества, из которого снова могут образовываться звезды. Среди наблюдаемых нами звезд подавляющее большинство – нормальные звезды, которые обычно называют звездами *главной последовательности*. Это связано с тем, что в стадии устойчивого ядерного “горения” звезда проводит большую часть своей жизни. Такая средняя звезда как Солнце существует как звезда примерно 10 миллиардов лет, и лишь порядка 10 миллионов из них занимает процесс формирования ее из газопылевого облака и еще меньше завершающие стадии сброса части массы и превращения в звездный остаток.

Рассеянное вещество состоит из газа (главным образом водорода) и пыли. Космическая пыль - это в основном мельчайшие, субмикронные частицы сконденсировавшихся химических соединений тяжелых атомов, образовавшихся в недрах звезд. Как газ, так и пыль в галактиках распределены неравномерно, образуя большие

облака, размером в десятки световых лет и массой в десятки тысяч солнечных. Некоторое количество рассеянного вещества с очень низкой плотностью находится и в межгалактическом пространстве. Плотности материальных объектов во Вселенной (кроме черных дыр, о плотности которых говорить трудно) следующие:

Наиболее плотные - «нейтронные» звезды - $3 \cdot 10^{17} \text{ кг/м}^3$.

«Средняя» звезда - Солнце - 1400 кг/м^3

Галактические газовые облака - $\sim 10^{-17} \text{ кг/м}^3 = 10^{10}$ атомов на 1 м^3 .

В межзвездном пространстве галактик - 10^6 атомов на 1 м^3 .

Межгалактическое пространство - 1 атом на 1 м^3 .

Все это плотности «вещества», имеющего массу покоя. Кроме того Вселенная пронизана излучением, прежде всего *реликтовым* излучением - первичным излучением, оставшимся от «большого взрыва» - и излучением звезд и прочих светящихся объектов. Масса реликтового излучения в 30 раз больше, чем масса всего остального излучения, но примерно в 2 тысячи раз меньше, чем масса вещества.

Еще во Вселенной присутствуют космические лучи - потоки элементарных частиц и атомных ядер высокой энергии, испущенные при грандиозных космических взрывах или получивших ускорение некоторыми другими способами, нейтрино, как реликтовые, так и испущенные при ядерных реакциях в недрах звезд и, пока гипотетические, гравитационные волны. Масса космических лучей по оценке по крайней мере на 5 порядков меньше массы вещества звезд и газа, а массу нейтрино и гравитационных волн пока оценить невозможно, но она (особенно нейтрино) может быть значительной, соизмеримой с массой вещества. Так же неизвестно насколько равномерно эти объекты распределены в пространстве.

Черные дыры - это массивные объекты, напряженность гравитационного поля на поверхности которых так велика, что даже свет неспособен их покинуть. Они могут быть результатом *коллапса* массивных (с массой остатка после коллапса и взрыва большей примерно 2,5 солнечных) звезд после истощения в них ядерного горючего. Падение дополнительного вещества на такую черную дыру может увеличить ее массу значительно. Предполагается, что сверхмассивные черные дыры (миллионы солнечных масс), образовавшиеся таким образом, находятся в ядрах некоторых галактик.

С черными дырами, повидимому, связаны и такие удивительные объекты как *квазары*. Первые квазары были открыты в 1960 году. Они представляют собой объекты с огромными красными смещениями, говорящими об их удаленности на расстояния во многие миллиарды парсек. Их истинная светимость, подсчитанная с учетом этих огромных расстояний, оказалась в десятки и сотни раз превосходящей светимость гигантских галактик, содержащих сотни миллиардов звезд. В то же время размеры квазаров по крайней мере в сотню тысяч раз меньше галактических. Такая мощность, выделяющаяся в столь малом объеме, по современным представлениям может быть обеспечена только выделением гравитационной энергии при падении больших масс вещества на сверхмассивную черную дыру. Истинную природу квазаров нельзя пока считать окончательно выясненной, но с наибольшей вероятностью она такова же как и у так называемых *активных ядер галактик* и связана с выделением гравитационной энергии. Предполагается, что квазары и представляют собой такие активные ядра, а свечение окружающей ядро галактики не видно из-за огромной удаленности. Квазары наиболее далекие и, значит наиболее ранние объекты в наблюдаемой Вселенной.

С галактиками связана и так называемая **проблема «скрытой массы»**. Эта проблема возникла в результате изучения собственных скоростей галактик в скоплениях. Случайные собственные скорости стремятся разбросать галактики по пространству, в то время, как взаимное тяготение - уплотнить скопление. Структура некоторых скоплений указывает на то, что они находятся в равновесном состоянии, и в этом случае теория

позволяет по распределению собственных скоростей галактик найти величину полной массы скопления. Такие расчеты были проведены для многих скоплений и оказалось, что гравитирующая масса каждого из них в 20-30 раз больше, чем суммарная масса всех входящих в них наблюдаемых объектов. То есть большая часть массы Вселенной *невидима*.

Природа этой, так называемой **скрытой массы** до сих пор неясна, хотя существует много предположений. Это могут быть и полностью потухшие звезды и другие темные тела, а могут быть и нейтрино, если они не безмассовые частицы, а обладают хотя и очень малой, но конечной массой покоя. Если скрытая масса заключена в нейтрино, отделившихся от остального вещества на ранних стадиях расширения Вселенной, то именно неоднородности в плотности этих нейтрино должны служить основой для возникновения скоплений галактик. Возможно, решение проблемы скрытой массы поможет разобраться и в до сих пор загадочном механизме образования самих галактик. Главный же интерес к скрытой массе связан с проблемой будущего Вселенной: будет ли она расширяться вечно или в какой-то момент расширение сменится сжатием?

4.2.1. Эволюция звезд

Механизм образования и эволюции основных объектов Вселенной - звезд - изучен наиболее хорошо. Здесь ученым помогла возможность наблюдать огромное количество звезд на самых разных стадиях развития - от рождения до смерти, - в том числе множество так называемых «звездных ассоциаций» - групп звезд, родившихся почти одновременно. Помогла и сравнительная «простота» строения звезды, которое довольно успешно поддается теоретическому описанию и компьютерному моделированию.

Звезды образуются из газовых облаков, которые при определенных обстоятельствах распадаются на отдельные «сгустки», которые дальше сжимаются под действием собственного тяготения. Сжатие газа под действием собственного тяготения препятствует повышающемуся давлению. При адиабатическом сжатии должна повышаться и температура - в виде тепла выделяется гравитационная *энергия связи*. Пока облако разреженное все тепло легко уходит с излучением, но потом в плотном ядре сгущения вынос тепла затрудняется и оно быстро разогревается. Соответствующее повышение давления тормозит сжатие и оно продолжает происходить только за счет продолжающего падать на рождающуюся звезду газа. С ростом массы растет давление и температура в центре, пока наконец последняя не достигает величины примерно 10 миллионов Кельвинов. В этот момент в центре звезды начинаются ядерные реакции превращающие водород в гелий, которые поддерживают стационарное состояние вновь образовавшейся звезды миллионы, миллиарды или десятки миллиардов лет в зависимости от массы звезды.

Звезда превращается в огромный термоядерный реактор, в котором устойчиво и стабильно протекает в общем та же реакция, которую человек пока научился осуществлять только в неуправляемом варианте - в водородной бомбе. Выделяемое при реакции тепло стабилизирует звезду, поддерживая внутреннее давление и препятствуя ее дальнейшему сжатию. Небольшое случайное усиление реакции слегка «раздувает» звезду, и соответствующее уменьшение плотности приводит снова к ослаблению реакции и стабилизации процесса. Звезда «горит» с почти неизменной яркостью.

Температура и мощность излучения звезды зависит от ее массы причем нелинейно. Грубо говоря, при увеличении массы звезды в 10 раз мощность ее излучения увеличивается в 100 и более раз. Поэтому более массивные, более горячие звезды расходуют свои запасы топлива гораздо быстрее, чем менее массивные и живут относительно недолго. Наше Солнце по понятным причинам является наиболее изученной

из звезд и оно же имеет близкие к средним параметры. Поэтому, как мы уже говорили, характеристики звезд принято выражать через солнечные.

Нижний предел массы звезды, при котором еще возможно достижение в центре температур достаточных для начала термоядерных реакций, составляет примерно 0,06 солнечной. Верхний предел - около 90 солнечных масс. Соответственно, самые слабые звезды светят в несколько сот раз слабее Солнца и могут так светить сотню миллиардов лет, гораздо больше времени существования нашей Вселенной. Массивные горячие звезды могут светить в сотни тысяч раз сильнее Солнца и живут лишь несколько миллионов лет. Известна звезда со светимостью в 1 миллион солнечных. Время стабильного существования Солнца примерно 10 миллиардов лет, и из этого срока оно прожило пока половину.

Стабильность звезды нарушается, когда выгорает значительная часть водорода в ее недрах. Образуется лишенное водорода *гелиевое ядро*, а горение водорода продолжается в тонком слое на его поверхности. При этом ядро сжимается, в центре его давление и температура повышается, в то же время верхние слои звезды, расположенные выше слоя горения водорода, наоборот расширяются. Диаметр звезды растет, а средняя плотность падает. Благодаря росту площади излучающей поверхности медленно растет также и полная светимость, хотя температура поверхности звезды падает. Звезда превращается в **красного гиганта**. Если масса звезды достаточно велика, в какой-то момент температура и давление внутри гелиевого ядра достигает величины достаточной для начала следующих реакций синтеза более тяжелых элементов - углерода и кислорода - из гелия, а на следующем этапе и еще более тяжелых. В недрах звезды могут образоваться из водорода и гелия все элементы Периодической Системы вплоть до железа, обладающего наибольшей энергией связи, приходящейся на одну частицу. Более тяжелые элементы образуются в других более редких процессах, и поэтому в природе их мало.

Отметим интересное, парадоксальное на первый взгляд обстоятельство. Пока вблизи центра звезды идет горение водорода температура там не может подняться до порога гелиевой реакции. Для этого необходимо, чтобы горение прекратилось и ядро звезды начало остывать! Остывающее ядро звезды сжимается, при этом повышается напряженность поля тяготения и выделяется гравитационная энергия, которая нагревает вещество. При повышенной напряженности поля необходима более высокая температура, чтобы давление могло противостоять сжатию и гравитационной энергии оказывается достаточно, чтобы обеспечить эту температуру. Аналогичный парадокс мы имеем при снижении космического аппарата: чтобы перевести его на более низкую орбиту, его надо *притормозить*, но при этом он станет ближе к Земле, где сила тяжести больше, и скорость его возрастет. Остывание увеличивает температуру, а торможение увеличивает скорость! Такими кажущимися парадоксами полна природа, и далеко не всегда можно доверяться «здравому смыслу».

После начала горения гелия расходование энергии идет очень быстрыми темпами так как энергетический выход всех реакций с тяжелыми элементами намного ниже, чем при реакции горения водорода и, кроме того, общая светимость звезды на этих этапах значительно возрастает. Если водород горит миллиарды лет, то гелий миллионы, а все остальные элементы - не более тысяч лет. Когда в недрах звезды все ядерные реакции затухают, ничто уже не может препятствовать ее гравитационному сжатию, и оно происходит катастрофически быстро. Верхние слои падают к центру с ускорением свободного падения, выделяя огромную гравитационную энергию. Вещество сжимается. Часть его, переходя в новое состояние высокой плотности, образует *звезду-остаток*, а часть (обычно большая) выбрасывается в пространство в виде отраженной ударной волны с огромной скоростью. Происходит взрыв **Сверхновой** звезды. (Помимо гравитационной энергии в кинетическую энергию ударной волны вносит свой вклад и термоядерное

догорание части оставшегося во внешних слоях звезды водорода, когда падающий газ сжимается вблизи звездного ядра – происходит взрыв грандиозной “водородной бомбы”).

На чем остановится сжатие и что будет представлять собой остаток Сверхновой зависит от его массы. Если эта масса менее 1,4 солнечной - это будет **белый карлик** - звезда с плотностью 10^9 кг/м^3 , медленно остывающая без внутренних источников энергии. От дальнейшего сжатия ее удерживает давление *вырожденного электронного газа*, образующегося после разрушения огромным давлением электронных оболочек атомов. Дальнейшему уплотнению такого электронного газа препятствует принцип запрета Паули. При большей массе (примерно от 1,4 до 2,5 солнечной) образуется **нейтронная звезда** с плотностью примерно равной плотности атомного ядра. В этом случае электроны как бы вдавливаются в протоны, образуя нейтроны, и дальнейшему уплотнению препятствует также принцип запрета, уже по отношению к «нейтронному газу». При еще большей массе образуется **черная дыра** - безудержно сжимающийся объект, который, однако, должен казаться внешнему наблюдателю застывшим из-за релятивистского замедления времени. Черная дыра ничего не излучает сама, так как огромное гравитационное поле на ее поверхности не может выпустить даже фотоны, но может быть наблюдаема по излучению падающего на нее вещества (оно излучает за счет различных механизмов в процессе падения до того как уйдет под *горизонт*, откуда ничто уже выйти не может). Интересно, что процесс падения вещества на черную дыру – это самый мощный из известных нам источников энергии: теоретически при этом может перейти в излучение до половины энергии покоя падающего вещества.

Именно при взрывах Сверхновых происходит образование элементов тяжелее железа, для которых нужны чрезвычайно плотные потоки частиц высокой энергии, чтобы были достаточно вероятны многочастичные столкновения.

Таким образом, звезды являются не только мощным источником энергии высокого качества, рассеяние которой способствует возникновению сложнейших структур, включающих и жизнь, но и реакторами, в которых производится вся таблица Менделеева - необходимый материал для этих структур. Взрыв заканчивающей свою жизнь звезды выбрасывает в пространство огромное количество разнообразных элементов тяжелее водорода и гелия, которые смешиваются с галактическим газом. За время жизни Вселенной закончили свою жизнь очень много звезд. Все звезды типа Солнца и более массивные, возникшие из первичного газа уже прошли свой жизненный путь. Так что сейчас Солнце и ему подобные звезды - это звезды *второго поколения* (а может быть и третьего), существенно обогащенные тяжелыми элементами. Без такого обогащения вряд ли около них могли бы возникнуть планеты земного типа.

4.2.2. Образование планетных систем

Теперь рассмотрим может быть самый близкий человеку вопрос - об образовании планет. Как образовались планеты Солнечной системы и почему? Насколько распространены планетные системы во Вселенной? Насколько распространены во Вселенной системы, подобные Солнечной, с планетами, подобными Земле, где могла бы существовать подобная нашей жизнь?

Вернемся снова к моменту рождения звезды.

На сжатие газового облака и на дальнейшую судьбу звезды оказывают влияние кроме тяготения еще много факторов. Отметим сейчас первый из них - момент количества движения. Газовые облака находятся в беспорядочном турбулентном движении, что и приводит к образованию вращательного момента в отдельных их частях. При сжатии во много раз момент вращения сохраняется неизменным, а момент инерции уменьшается

пропорционально квадрату степени сжатия, и, значит, во столько же раз должна возрасти скорость вращения.

Высокая скорость вращения препятствует сжатию в сферу. По этой причине большинство галактик имеют дискообразную форму, но звезды, как правило - шарики, они как-то избавляются от своего момента. Наблюдения указывают на два пути: первый - образование двойных звезд; второй - образование планетных систем. В первом случае момент вращения облака переходит в момент вращения звезд вокруг общего центра тяжести; во втором - передается планетам, вращающимся вокруг центральной звезды. В нашей Солнечной системе на планеты приходится всего 0,13% массы, но примерно 98% момента количества движения.

Двойные звезды удалось получить в компьютерных моделях, пути их образования довольно ясны, и наблюдения показали, что по крайней мере 70% всех звезд - двойные или еще большей кратности - тройные, четверные и т.д. (максимум, что наблюдалось - семерная).

Существование планет надежно, прямым способом, удалось пока доказать лишь у нескольких звезд кроме нашего Солнца, и это, в основном, планеты, превосходящие по массе Юпитер – почти звезды, но можно предполагать, что большинство одиночных звезд (которых в нашей Галактике многие миллиарды) должны иметь планетные системы и среди них должны быть и планеты, подобные Земле.

Насчет механизма образования планетных систем (конкретнее - нашей системы) до сих пор нет окончательно сформированного мнения. Есть довольно стройные теории, но ни одна пока не может объяснить *всех* фактов, относящихся к планетам. В настоящее время можно считать достаточно точно установленными следующие два положения:

1) Планеты образовались приблизительно одновременно с Солнцем из материала того же газо-пылевого облака.

2) Образование планет происходило из холодной материи и планеты никогда не проходили через стадию полного расплавления (хотя расплавление большей части вещества на ранних стадиях жизни некоторых планет вероятно).

Исходя из этих положений строятся основные теории образования и начальной эволюции планет.

В Солнечной системе всего насчитывают 9 больших планет: 4 планеты «земной группы» - Меркурий, Венера, Земля и Марс; 4 планеты-гиганта - Юпитер, Сатурн, Уран и Нептун; и стоящий особняком Плутон. Кроме того к Солнечной планетной системе относится большое число так называемых «малых планет» или астероидов, расположенных в основном между Марсом и Юпитером, относительно "крупных" малых планет (200-500 километров диаметром), расположенных за Нептуном в поясе Койпера, комет, образующих так называемое *облако Оорта*, расположенное за орбитой Плутона, и многочисленные спутники больших планет.

Планеты земной группы расположены ближе к Солнцу и представляют собой твердые шары, состоящие в основном из силикатов с относительно тонкими газовыми атмосферами. Повидимому у всех этих планет присутствует железное ядро различного размера (относительно наибольшее у Меркурия). Атмосферы сильно различаются по плотности и составу: у Меркурия - примерно на 10 порядков менее плотная, чем земная атмосфера состоит в основном из гелия, поставляемого солнечным ветром; у Марса и Венеры преобладающим компонентом (свыше 95%) атмосферы является углекислый газ, но плотность атмосферы Марса в 160 раз меньше, чем Земли, а Венеры - в 90 раз больше.

Земля единственная обладает кислородной атмосферой и гидросферой - жидкой водой на поверхности. Не исключено, что когда-то жидкая вода была и на Марсе, а сейчас она присутствует в виде захороненного под пылью льда.

Внутреннее строение планет изучено весьма слабо. Больше всего мы знаем о Земле, о которой дальше поговорим особо. Модели внутреннего строения для остальных планет земной группы строятся по аналогии с Землей.

Планеты-гиганты представляют собой огромные газовые шары, возможно не имеющие твердой поверхности, как у планет земной группы. Благодаря своим большим массам и достаточной удаленности от Солнца они удержали почти полностью легкие газы, преобладавшие в протопланетном облаке, - водород и гелий, из которых и состоят, в основном, их необычайно мощные атмосферы. В глубине вероятно все же присутствуют твердые ядра, составляющие очень небольшую часть планеты по массе.

Причина различий в строении планет земной группы и планет-гигантов очевидно связана с их расстоянием от Солнца: самая удаленная планета земной группы - Марс - находится всего в 1,52 а.е. (а.е. - астрономическая единица, равна среднему расстоянию Земли от Солнца - 149,5 млн. км.) от Солнца, а ближайший гигант - Юпитер - в 5,20 а.е. Вблизи Солнца практически все легкие газы протопланетного облака были «выметены» солнечным излучением в более далекие области, и атмосферы планет земной группы вторичны – они образованы газами, выделившимися из недр в процессе дифференциации вещества уже полностью сформировавшейся планеты.

4.3. Строение и жизнь Земли

Теперь поговорим подробнее о Земле.

Что мы знаем о Земле? Непосредственные наблюдения показывают, что Земля представляет собой твердое тело, окруженное водной и газовой оболочками - гидросферой и атмосферой.

Средний радиус Земли - 6371 км, плотность - 5517 кг/м³, масса - $5,973 \cdot 10^{24}$ кг, на гидросферу приходится около $1,4 \cdot 10^{21}$ кг (чуть менее 0,025%) и на атмосферу - $5,16 \cdot 10^{18}$ кг (около одной миллионной полной массы).

Поверхность Земли сильно неоднородна. Прежде всего бросаются в глаза такие крупнейшие образования как океаны и материки. Затем - неровность поверхности самих этих образований и их вещественная неоднородность (в основном на материках). Твердое тело Земли изучает геология, которая начиналась как прикладная наука, призванная разрабатывать методы поиска полезных ископаемых.

Геологи довольно быстро установили, что земная твердь отнюдь не незыблема. Эрозия понижает высокие горы в среднем где-то на несколько десятых долей миллиметра в год. То есть на несколько сотен метров за миллион лет. Это большая скорость. Даже если она была бы в 10 раз меньше, первых сотен миллионов лет хватило бы чтобы разровнять любые горы. А Земля существует по современным оценкам примерно 4,6 миллиарда лет. Следовательно горы не только разрушаются, но и растут, так же как образуются и месторождения полезных ископаемых. Все это сейчас наблюдается и изучается.

Средняя скорость роста гор одного порядка со средней скоростью их разрушения – где-то около миллиметра в год и меньше, но это *средняя скорость*. На коротких отрезках времени скорость может очень сильно отличаться от средней. Горы растут очень неравномерно, иногда при землетрясениях они могут “подскочить” сразу на метры, а могут и остановиться в росте и даже понизиться на короткое время на фоне продолжающегося, в среднем, поднятия. Так же неравномерно идет и разрушение: крупный обвал (который также может быть связан с землетрясением) может понизить высоту горы сразу на десяток метров, а потом она будет сохраняться десятилетиями неизменной.

Все геологические структуры являются живыми, диссипативными структурами, которые возникают и поддерживаются за счет диссипации внутренней энергии Земли и одновременно изменяются за счет поглощения и рассеяния энергии Солнца.

Что такое внутренняя энергия Земли? Земля возникла в результате аккреции первоначально холодного рассеянного вещества. Предполагается, что большая часть массы Земли собралась за сравнительно короткое время (порядка сотен тысяч лет) в основном за счет объединения довольно крупных (порядка километров) тел - планетезималей. После того как масса Земли достигла заметной доли современной падение очередных порций материи приводило к выделению значительной гравитационной энергии и нагреву. Причем доля тепла, идущая на нагрев недр молодой планеты была тем больше, чем крупнее были падающие тела. Сильные удары приводили к частичному плавлению вещества в ограниченной области, но в целом температура растущей Земли далеко не достигала температуры плавления.

Кроме тепловыделения за счет аккреции существовал и другой значительный источник тепла. Солнце - звезда второго поколения, то есть оно образовалось не из первичного газа, а в значительной степени из вещества, выброшенного взрывами сверхновых звезд первого поколения, обогащенного тяжелыми элементами, в том числе и радиоактивными. Причем, кроме известных нам долгоживущих радиоактивных элементов - урана, тория и калия в нем присутствовали и короткоживущие радиоактивные элементы (с периодом полураспада порядка десятков миллионов лет). Оценки показывают, что радиоактивного тепла могло быть достаточно для сильного разогрева и расплавления значительной части объема планеты.

Разогрев и расплавление способствовали ускорению дифференциации недр планеты. Гравитационная дифференциация привела к расслоению вещества, в соответствии с плотностью тех или иных химических соединений - тяжелые, нелетучие компоненты тонули, а легкие, летучие - всплывали (так, в частности, возникло железное ядро в центре и атмосфера с гидросферой на поверхности). Дифференциация также приводила и к дополнительному выделению гравитационной энергии.

Сейчас выделение радиоактивного тепла продолжается только за счет трех долгоживущих радиоактивных элементов и примерно уравнивает потери в окружающее пространство. Возможно, оно несколько меньше этих потерь (и Земля понемногу остывает), хотя точно этого утверждать нельзя. Во всяком случае, несмотря на довольно эффективное расслоение Земля еще далека от равновесия и продолжает жить и совершенствовать свою структуру.

Сведения о внутренней структуре Земли нам дают сейсмологические, гравиметрические, электрические и магнитные измерения в сочетании с лабораторным исследованием вещества при высоких температурах и давлениях.

В самом грубом приближении строение Земли можно представить в виде концентрических слоев. Сверху до глубины в несколько десятков километров простирается **земная кора**. Толщина ее неравномерна: максимальна под горами - до 70 км - и минимальна под океанами 5-10 км. Подошва коры определяется как граница раздела, на которой скорость сейсмических волн скачком увеличивается на 1,5-2 км/с. Это увеличение связано с изменением плотности, которое, в свою очередь, скорее всего, связано с изменением химического состава вещества.

Кора в свою очередь также подразделяется на несколько слоев: самый верхний - осадочный, состоящий из плохо консолидированных осадков - продуктов разрушения коренных пород, - затем следует «гранитный» или "гранито-метаморфический" слой (скорости сейсмических волн соответствуют таковым в гранитах) и нижний «базальтовый». Толщины этих слоев варьируют очень сильно. Везде присутствует лишь самый нижний - "базальтовый" слой; "гранитный" слой практически отсутствует в

океанах, то есть на большей части поверхности Земли; осадочный слой может превышать по толщине 10 километров в областях длительного прогибания земной коры и вообще отсутствовать в областях поднятий.

Под корой расположена **мантия**, для которой предполагается так называемый ультраосновной состав (меньше, чем в базальтах, кремния и алюминия и больше железа и магния). Кора вместе с самой верхней частью мантии образует **литосферу** – состоящую из жесткого непластичного материала сферу, толщиной около 100 км, покрывающую Землю. Ниже находится **астеносфера** (ослабленная сфера) – слой с пониженной по сравнению с литосферой вязкостью и скоростью сейсмических волн. Глубже 250 км скорость волн и вязкость снова нарастают.

Мантия простирается до глубины 2900 км, где проходит граница с **ядром**. Ядро Земли расплавленное, жидкое до глубины 5000-5100 км и состоит в основном из железа и никеля. Глубже находится внутреннее твердое ядро по видимому того же состава. Его твердое состояние говорит о том, что рост температуры плавления, обусловленный ростом давления, на этой глубине опережает увеличение температуры.

Все наблюдаемые на поверхности Земли крупные *тектонические* процессы – поднятия гор, опускания котловин, перемещения крупных блоков земной коры связаны с процессами в мантии Земли, а точнее, по-видимому, лишь в так называемой *верхней мантии*. Первопричиной тектонических движений является конвекция в мантии, обусловленная диссипацией внутренней энергии Земли.

Общую структуру этих движений по современным воззрениям следует описывать в рамках так называемой «новой глобальной тектоники» или «тектоники плит». Согласно этой теории литосфера разбита на сравнительно небольшое число независимых жестких блоков – *литосферных плит*, и все изменения, происходящие на поверхности планеты, связаны с движением по ней этих плит. Плиты могут двигаться поступательно, разворачиваться, сталкиваться и расходиться. Они могут нырять одна под другую и тонуть в мантии в так называемых *зонах субдукции*, и могут вновь создаваться из мантийного вещества, поднимающегося к поверхности в зонах *спрединга*. Рождение плит и их уход обратно в мантию происходит в океанах. Зоны спрединга расположены вдоль *срединноокеанических хребтов*, а зоны субдукции – по границам океанов, они отмечены узкими и глубокими впадинами – *глубоководными желобами* и *островными дугами*. У наших берегов такой зоной является Курило-Камчатская островная дуга.

Почти все эти движения плит сейчас подтверждены непосредственными измерениями с использованием методов высокоточной астрономической геодезии, измерены их скорости, которые составляют сантиметры в год, но окончательной точной модели структуры мантийной конвекции их порождающей пока еще нет.

Тем не менее, независимо от деталей механизма, порождающего изменения лика Земли, установлено твердо, что этот лик непрерывно меняется, причем глобально. Главным открытием последнего времени явилась нестабильность и относительная молодость океанов. Возраст Атлантического океана находится в пределах первых сотен миллионов лет. Он моложе многих горных систем, моложе многих рек. (Крупные реки, кстати, как правило, весьма старые объекты: река Ганг, например, гораздо старше Гималайских гор, которые она прорезает). Такие крупные перестройки как изменение конфигурации материков и океанов очень сильно влияют на все процессы в верхних оболочках Земли, в частности на атмосферные процессы и на климат.

Ядро вряд ли влияет непосредственно на тектонику, по крайней мере определить это влияние трудно, но одна важнейшая характеристика планеты, проявляющаяся на ее поверхности, должна зависеть только от ядра. В ядре Земли находится источник земного магнитного поля, которое по современным воззрениям генерируется конвективными движениями в жидком железном ядре по принципу динамомашины с самовозбуждением.

Земной магнетизм хорошо изучен, причем не только в настоящее время, но в далеком прошлом по «магнитным записям», оставшимся в горных породах. Оказалось, в частности, что в истории Земли магнитное поле сильно и резко менялось и по величине и по направлению, причем неоднократно меняло свою полярность на обратную. Такие изменения также могли сильно влиять на процессы в атмосфере и на поверхности Земли. Так в периоды отсутствия магнитного поля в момент смены его полярности Земля оказывалась без магнитной защиты от потоков частиц солнечного ветра и мягких космических лучей.

Точной модели конвекции в ядре, которая позволила бы объяснить все особенности поведения магнитного поля пока нет, так же как и модели мантийной конвекции, объясняющей все детали глобальной тектоники. Но познание процессов, происходящих в недрах Земли и построение адекватных моделей дело не очень далекого будущего. Ученые активно работают над этими проблемами, которые имеют не только теоретическое, познавательное, но огромное практическое значение, так как соответствующие процессы существенным образом влияют на состояние *географической оболочки*, в которой протекает жизнь и осуществляется вся деятельность человека.

4.6. Географическая оболочка и биосфера

Верхняя часть, прежде всего поверхность, земной коры, включающая гидросферу, и атмосфера образует **географическую оболочку** - особую глобальную структуру, жизнь и развитие которой определяется как результатами диссипации внутриземной энергии, так и преобразованием потока энергии, получаемой от Солнца (и в малой степени воздействием других планет и дальнего космоса). Географическая оболочка - это та *окружающая среда*, в которой происходит жизнь человека. Поэтому изучение ее, глубокое понимание всех происходящих в ней процессов - жизненно важная задача.

Географическая оболочка представляет собой сложнейшую динамическую систему, относительная стабильность которой поддерживается системой обратных связей, обеспечивающих баланс *конструктивных* и *деструктивных* процессов. Неоднородности поверхности Земли и внутренней структуры самого верхнего ее слоя, входящего в географическую оболочку, создаются в основном внутренними тектоническими - **эндогенными** - силами, возникающими за счет диссипации внутренней энергии планеты. Эти неоднородности разрушаются и сглаживаются в основном за счет внешних - **экзогенных** - факторов - действия перепадов температуры, текучей воды, ветра, живых организмов. Экзогенные факторы действуют за счет энергии солнечного излучения. В основном это факторы деструктивные, однако они не только разрушают, но и создают. Результат действия экзогенных сил - разнообразные осадочные горные породы, специфические формы рельефа и, в значительной степени, такой созидающий и разрушающий фактор как **жизнь**.

Совсем коротко охарактеризуем отдельные компоненты географической оболочки.

Земная кора. В географическую оболочку входит не вся земная кора, а лишь верхняя ее часть, толщину которой точно определить затруднительно. Можно сказать, что это та часть коры, вещество которой непосредственно участвует в круговороте, непрерывном взаимном обмене с другими компонентами - гидросферой и атмосферой - обеспечивающем стабильность географической оболочки. Это несколько верхних километров.

Рельеф твердой земной поверхности создают, прежде всего, вертикальные и горизонтальные движения, порождаемые эндогенными силами. Конфигурация наиболее крупных, глобальных структур - материиков и океанов - определяется горизонтальными

движениями литосферных плит. Более мелкие особенности рельефа - в основном локальными вертикальными поднятиями и опусканиями связанными с глобальными горизонтальными движениями. Средние скорости поднятия одних блоков земной коры и опускания других обычно составляют несколько миллиметров в год; продолжительность однонаправленных движений может достигать десятков миллионов лет. Соответственно амплитуда движений - первых десятков километров.

Поднимающиеся горы сразу начинают разрушаться экзогенными силами, а прогибающиеся впадины - заноситься продуктами этого разрушения, образующими слои осадков. Поэтому высота гор и глубина впадин не превышает нескольких километров. В то же время толщина слоя осадков, заполняющих внешне неглубокую впадину, может достигать 20 км, а на вершине горы могут оказаться породы, сформировавшиеся на глубине во много километров. Слежавшиеся, сцементированные осадки образуют **осадочные** горные породы. На большой глубине под действием высоких температур и давлений осадочные породы сильно изменяют свой облик и превращаются в так называемые **метаморфические** породы. Слабо метаморфизованные породы не очень сильно отличаются от осадочных, а сильно метаморфизованные очень похожи на **магматические**. Магматические породы представляют собой поднявшиеся из глубины и застывшие расплавы. Такие расплавы пронизывают метаморфические и осадочные толщи, они могут останавливаться и застывать, не достигнув дневной поверхности, и образовывать *плутонические тела*, а могут изливаться на поверхность при *вулканизме*, в виде *лавы*.

Вертикальные движения земной коры обычно знакопеременны - глубокое погружение сменяется поднятием столь же большой амплитуды. Например, вершина пика Хан-Тенгри (6995 м. над уровнем моря) сложена мрамором - метаморфической породой, для образования которой из осадочной породы - известняка - необходимы температуры и давления, соответствующие глубинам более 10 километров под поверхностью Земли.

Таким образом, поверхность Земли слагают три основных типа горных пород: магматические, осадочные и метаморфические. Последние - результат переработки осадков действием высоких температур и давлений.

Атмосфера - воздушная оболочка Земли, имеющая примерный состав: азот - 78%, кислород - 21%, благородные газы (в основном аргон) - 1% и сотые доли процента углекислого газа. Состав атмосферы Земли не похож на состав атмосфер других планет солнечной системы, так как в основном обусловлен наличием жизни.

Гидросфера включает воду морей и океанов, рек и озер, ледников полярных и горных, грунтовые воды, лед вечной мерзлоты, водяной пар атмосферы. Таким образом, гидросфера пересекается с литосферой и атмосферой: лед, особенно лед вечной мерзлоты - это, по существу нормальная горная порода, а водяной пар - один из компонентов атмосферных газов. И все же всю воду выделяют в отдельную оболочку, так как только она способна в пределах географической оболочки *одновременно* существовать во всех трех фазах - твердой, жидкой и газообразной - и играет в ней такую исключительную роль.

Географическая оболочка Земли практически совпадает с **биосферой** - областью распространения **жизни**. Жизнь не только располагается в этой зоне Земли, но является ее неотъемлемым компонентом, в значительной степени определяющим весь ее состав и структуру. Состав атмосферы Земли в основном сформирован жизнью, и ею же создана значительная часть горных пород (например, известняки). Полностью обязан жизни такой важный компонент географической оболочки как **почва**. На огромную геологическую роль живого вещества впервые указал крупнейший русский ученый-геолог и мыслитель Владимир Иванович Вернадский.

О геологическом эффекте жизни говорит, например, такой факт: если вернуть в атмосферу всю углекислоту, заключенную в органических карбонатных горных породах,

то атмосфера Земли станет такой же плотной, как на Венере. Живые организмы резко ускоряют процесс разрушения горных пород, как непосредственно воздействуя на них химически и механически, так и за счет поддержания состава химически агрессивной кислородной атмосферы. Жизни обязаны своим происхождением огромные месторождения горючих ископаемых – угля, нефти и газа. Но не только они. Оказывается многие месторождения металлических руд также связаны с деятельностью живых организмов, например болотные железные руды или железо-марганцевые конкреции на дне океанов. Колонии живых организмов способны тысячекратно концентрировать и накапливать определенные химические вещества, создавая необходимые геохимические барьеры. И, наконец, разумная жизнь, человек, тоже стал геологической силой, как разрушающей, так и созидающей.

Жизнь - это высшая (наиболее сложная) известная нам форма организации материи, представляющая собой систему живых организмов - диссипативных структур, способных к самовоспроизведению с накоплением и передачей информации от одного поколения к другому. Это лишь одно из возможных определений жизни. Высшей формой жизни стала **разумная жизнь**, способная к познанию окружающего мира и самой себя, а также к активному **сознательному** приспособлению окружающего мира к своим нуждам. Живое настолько резко отличается от неживого, что до сих пор жизнь представляется необъяснимой загадкой, хотя в общем она укладывается в общую концепцию диссипативных структур - это новая сложная структура, *ускоряющая, усиливающая* общий процесс диссипации, производства избыточной энтропии.

Жизнь стала определяющим фактором эволюции на Земле. Существует ли она где-либо еще во Вселенной? Если существует, то способна ли она стать определяющим фактором эволюции мира в целом? На эти волнующие вопросы пока нет ответа. Мы поговорим о них подробнее в конце нашего изложения, а сейчас остановимся на эволюции нашей биосферы, роли и месте человека в этой эволюции и перспективах развития человеческой цивилизации.

Вопросы к главе 4.

1. Как была доказана *нестационарность* нашей Вселенной?
2. Как измеряются межзвездные и межгалактические расстояния?
3. Что такое *сингулярность*? С какого момента после начала расширения Вселенной современная наука способна описывать ее состояние?
4. Какими методами наука выясняет состояние вещества на ранних стадиях расширения Вселенной?
5. Чем доказывается *горячее* начало Вселенной?
6. Опишите основные этапы эволюции Вселенной от начала до момента появления нейтральных атомов? Каким был химический состав вещества в этот момент?
7. Эволюция Вселенной после возникновения нейтральных атомов.
8. Кратко охарактеризуйте *основные компоненты* Вселенной.
9. Что такое *скрытая масса*?
10. Как рождаются, живут и умирают звезды?
11. Во что превращаются умирающие звезды?
12. Роль звезд в эволюции вещества Вселенной.
13. Как образуются *планетные системы*?
14. Основные *типы* планет?
15. Эволюция планет *земной группы*?
16. Внутреннее строение Земли.
17. *Географическая оболочка* Земли и *биосфера*.
18. Что такое *жизнь*?

5. Эволюция биосферы

5.1. Возникновение жизни и механизм ее эволюции

Мы установили, что наш мир нестационарен и непрерывно направленно эволюционирует. Расширение Вселенной задает направление течения времени, во Вселенной происходит непрерывное рассеяние энергии и вещества, рост энтропии, которая является мерой беспорядка. Однако, рассеяние и рост беспорядка во Вселенной в целом порождает локальные структуры, сложность которых постоянно растет. Последовательно возникли элементарные частицы - атомы - молекулы - химические соединения. А также сгущения материи - галактики - звезды планеты. Планеты структурировались, опять-таки в результате рассеяния сконцентрировавшейся в них энергии, вещество планет дифференцировалось, возникли сложно взаимодействующие между собой оболочки. В определенных планетных структурах происходило дальнейшее усложнение химического состава и взаимоотношений компонентов. При этом планета (как и вся Вселенная) эволюционировала как *целостная система*.

И, наконец, по крайней мере на одной из планет - Земле - возникло такое явление как жизнь. Что такое жизнь? Сейчас ясно, что живые организмы - это устойчивые диссипативные структуры, устойчивость которых обеспечивается непрерывным обменом с окружающей средой. Но такого определения не достаточно. Наверное главнейшее свойство, которое отличает живое от неживого, - это способность к высокоточному воспроизводству сложнейших структур с сохранением непрерывно накапливающейся, возрастающей информации. Поразительна чрезвычайная устойчивость этой системы воспроизводства.

Как она возникла впервые? Это наверное самый интересный, но и самый трудный вопрос в проблеме жизни. На него пока нет ответа. Именно это обстоятельство сильнее всего подталкивает человека к признанию существования некой высшей нематериальной силы - Создателя. Вся история развития жизни на Земле, вся последовательность ее усложнения, включающая резкие скачки, говорит в пользу естественного возникновения жизни, однако, окончательно в этом убедиться можно будет, лишь экспериментально воспроизведя процесс перехода от неживого к живому.

Биологические системы развивались в сторону усложнения в течение всей истории Земли. Причем это развитие и усложнение шло параллельно на нескольких уровнях. Можно назвать такие уровни: биохимический, клеточный, многоклеточных организмов, биоценозов, биосферы. Причем надо подчеркнуть, что вся эта иерархия существует параллельно и одновременно. Эволюция каждого отдельного вида неотделима от эволюции всей системы биосферы.

Дело в том, что для существования каждого вида живых существ необходим сложный комплекс условий: определенный диапазон температур окружающей среды, наличие необходимых источников вещества и энергии, причем источников возобновляемых и т. д. Создать и, главное, поддерживать этот комплекс условий один вид живых существ неспособен. Биосфера - это устойчивая система, постоянно питаемая энергией извне, но в которой происходит *замкнутый* круговорот вещества. Именно этот круговорот поддерживает устойчивость биосферы, поддерживает условия, необходимые для существования жизни. Такой круговорот может осуществляться только в **сообществе функционально разнообразных организмов** с принципиально разнообразным набором типов питания. Поэтому уже в самом начале должны были существовать сложные **сообщества** самых простейших организмов. Первый отметил такую необходимость

В.И.Вернадский примерно сто лет назад, в начале двадцатого века, однако это стало ясно многим лишь в последнее время.

Долгое время биология занималась только высокоорганизованными животными и растениями. На базе их изучения была создана Дарвином теория эволюции. Геологическая история жизни простиралась только на 600 миллионов лет назад, на период так называемого *фанерозоя* - эры «скелетной» жизни. Лишь недавно граница жизни на Земле была «отодвинута» резко назад, почти до рождения Земли: из 4,6 миллиардов лет существования Земли не менее 3,5 миллиардов лет на ней существовала жизнь. Первые 2 миллиарда - это были так называемые **прокариоты** - организмы, представленные безъядерными клетками. Примером прокариотов, не изменившихся за миллиарды лет являются синезеленые водоросли или цианобактерии.

Сначала это были **анаэробы**, жившие в бескислородной среде. Многие из них продуцировали кислород, являющийся отравой для них. Такое самоотравление кислородом породило первую глобальную экологическую катастрофу – жизнь могла погибнуть, уничтожив сама себя. Но она не погибла. Впоследствии возникли **аэробы**, живущие в кислородной среде. Кислород способствовал активизации обмена веществ и ускорению эволюции, но аэробы не вытеснили полностью анаэробов, последним удалось сохранить свою экологическую нишу в единой биосфере. Сначала аэробы существовали в меньшинстве в «кислородных карманах», затем они поменялись с анаэробами местами. Эти микроорганизмы образовывали полноценные устойчивые системы с полным набором типов питания: авто- и гетеро-трофы, то есть питающиеся за счет окружающей неживой материи или за счет других организмов, и хемо-, фото-, лито- или органо-трофы – то есть использующие для поддержания своей жизнедеятельности химическую энергию, энергию излучения, минералы горных пород или органические вещества.

Затем в процессе развития возникли многоклеточные организмы. Как они возникли? Повидимому, в результате эволюции систем одноклеточных. Биоценоз одноклеточных, который в некотором смысле представлял собой своеобразный организм с некоторым разделением функций, превратился в многоклеточный организм как мы его наблюдаем сейчас. Дальше следовало образование новых **видов**, которые сменяли друг друга, о чем нам говорит палеонтология. Многоклеточные, высшие организмы имеют уже не все типы питания и не могли бы поддерживать стабильность биосферы без одноклеточных микроорганизмов. Среди них нет ни хемо- ни литотрофов и органотрофы не способны переводить органическое вещество в исходное неорганическое состояние. Мир микробов самодостаточен, мир высших животных и растений – нет.

Первую последовательную теорию образования видов и вообще механизма эволюции живого мира создал Чарльз Дарвин. Это вообще была первая законченная *теория* эволюции, которая оказала огромное влияние на все последующие эволюционные теории, относящиеся не только к живой, но и к неживой природе. Главное в теории эволюции Дарвина - это естественный отбор. Это вы учили в школе: случайные изменения, закрепляемые наследственно, и отбор путем конкуренции, основанный на требовании лучшей приспособляемости. Это общий принцип. Детали оказались не так просты.

Во-первых, чисто случайные малые изменения, из которых отбор выделяет и закрепляет благоприятные, - слишком медленный процесс для объяснения темпа наблюдаемого видообразования. Во-вторых, многое говорит за то, что новые виды образуются не за счет постепенного накопления очень малых изменений, а довольно серьезными скачками. (Например, невозможно представить себе появление птиц, благодаря постепенному преобразованию передних лап пресмыкающегося в крылья: промежуточные формы - уже без нормальных лап, но еще без крыльев - явно пригнали бы в конкурентной борьбе.) В-третьих, если механизм отбора наиболее приспособленных

основан лишь на конкуренции, невозможно объяснить такого огромного разнообразия сосуществующих видов, часто очень близких по образу жизни, способам питания и т. д.: более приспособленные вытеснили бы менее приспособленных, возник бы известный монополизм.

Периодически возникали разные «антидарвиновские» теории. Однако, основа дарвинизма - принцип естественного отбора устоял, только стало ясно, что механизмы его сложнее. Во-первых, малые случайные факторы должны быть способны вызывать *крупные мутации*, перестраивающие уже *не случайным* образом значительные блоки информации. Это вытекает из общего механизма эволюции структур, включающего неустойчивости и скачкообразные перестройки. Во-вторых, биологический вид нельзя рассматривать отдельно от биоценоза и биосферы в целом, точно так же как нельзя рассматривать клетку, входящую в состав многоклеточного организма, отдельно от всего организма. Оказалось, что отдельные виды, несмотря на конкуренцию за отдельные необходимые компоненты среды (пищу, воздух, воду, свет) помогают друг другу, поддерживая на нужном уровне *общее состояние среды*. Эволюция биоценоза основана не столько на *конкуренции* сколько на *кооперации*. Поэтому в наше время возник термин **коэволюция**, то есть **совместная эволюция**.

Биосфера эволюционирует как **сбалансированная система** с замкнутыми циклами, устойчивое существование которой требует всего разнообразия видов. Когда мы говорим о сбалансированности, мы подразумеваем, прежде всего, баланс **продукции** биологического вещества и его **деструкции** или **редукции**, то есть обратного превращения в исходную неорганическую материю. В естественном биоценозе эти процессы осуществляют соответственно организмы-*продуценты* и организмы-*деструкторы*.

Как мы уже знаем для того, чтобы о динамической системе можно было говорить как о структуре, она должна обладать таким свойством как *устойчивость*, то есть сохранять свою идентичность при определенных изменениях параметров окружающей среды. Биосфера и биологические системы вообще обладают большой устойчивостью, которая обеспечивается их **избыточностью**.

Избыточность заключается во-первых в огромной **потенциальной способности к воспроизводству**, во много раз превышающей реальную потребность, во-вторых, в огромном **разнообразии видов и форм** жизни, во много раз превышающем минимально необходимое для поддержания равновесия и стабильности окружающей среды, и, в-третьих, значительное превышение по эффективности деструкторов над продуцентами.

Почему нужна избыточность? Дело в том, что различные естественные факторы постоянно нарушают природный баланс, и иногда эти нарушения очень значительны. Необычайно резкий всплеск вулканической активности может резко повысить содержание оксидов углерода и серы в атмосфере и ее запыленность; к очень сильным нарушениям климата может привести падение на Землю крупного метеорита-астероида; к огромным и резким изменениям может привести и перестройка океанической и атмосферной циркуляции, вызванная постепенной тектонической перестройкой структуры земной поверхности. Все эти катастрофы не только изменяют среду, но и сильно ослабляют биоту. Чтобы достаточно быстро, прежде чем они станут необратимыми, скомпенсировать разрушительное влияние таких катастрофических изменений на биосферу последняя должна обладать большим запасом "мощности".

Сохранение устойчивости возможно только при очень большом разнообразии организмов и их чрезвычайно большой способности к размножению. Тогда даже при значительном изменении условий, при котором погибнут 99% видов и организмов, оставшиеся смогут быстро поднять свою численность и сохранить достаточное разнообразие, чтобы поддержать круговорот вещества. Именно эта потребность в *устойчивости* и привела в процессе эволюции к такому огромному **разнообразию видов**

и форм жизни и к такой огромной потенциальной способности к воспроизводству, во много раз превосходящей минимально необходимую. Исторически выработались полностью сбалансированные биоценозы, такие как тропический лес или северная тайга, включающие десятки и сотни тысяч видов. Огромная избыточность необходима для устойчивости.

5.2. Общая схема эволюции и биосфера

Итак, повторим еще раз: все существующие научные данные и обобщения говорят нам, что наш мир - это мир направленно эволюционирующий. Направление эволюции задано процессом рассеяния первоначально чрезвычайно сконцентрированной энергии. В процессе этого рассеяния в результате гравитационных и гидродинамических неустойчивостей возникают разнообразные структуры возрастающей сложности. Эти структуры представляют собой диссипативные динамические системы, устойчивость которых поддерживается тем же потоком рассеяния энергии. Теоретические прогнозы говорят, что такой процесс усложнения должен будет смениться упрощением, когда поток рассеяния станет недостаточным для поддержания всей сложной иерархии диссипативных структур. Однако **сейчас локальное усложнение структур в отдельных частях Вселенной - это основной, определяющий эволюцию процесс.** И таким он останется еще многие миллиарды, а возможно и десятки миллиардов лет.

Можно отметить такую закономерность: возникающие по мере эволюции Вселенной более сложные структуры все более локальны, занимают меньший объем и связаны со все меньшими потоками энергии. Системы звезд и галактик включают в себя все вещество Вселенной и связаны с потоком рассеяния энергии "Большого взрыва"; звезды и планетные системы связаны с потоком энергии рассеиваемой звездой; сложная структура планет "земной группы" возникает лишь в планетах, составляющих по массе намного меньше одного процента от массы всех звезд и планет и связана с потоком энергии, рассеиваемой планетой; наконец, жизнь покрывает тонкой пленкой лишь поверхность некоторых, а может быть и всего одной планеты земной группы и обеспечивается энергией медленных химических реакций, преобразующих часть попадающей на планету энергии излучения центральной звезды. (Правда, появившаяся на самом последнем этапе разумная жизнь имеет шанс с помощью техники резко увеличить пространственные и энергетические масштабы своего развития).

Существующие структуры образуют иерархию по масштабам и сложности и обладают устойчивостью в определенном диапазоне условий существования, которые непрерывно меняются. При достаточно сильном изменении условий эта устойчивость нарушается и возникают новые типы структур. Механизм возникновения новых структур можно назвать **бифуркационным**, по сути своей он точно такой же как и в наипростейшем случае прогибания упругой пластинки, который мы разбирали выше. Здесь подключается элемент **случайности**. В точке бифуркации потерявшая устойчивость структура может перейти в одно из нескольких одинаково вероятных состояний, где снова возникает устойчивость и этап детерминированной эволюции. Выбор системой дальнейшего пути в точке бифуркации определяется случаем.

Такой бифуркационной перестройкой стало на Земле возникновение жизни и образование биосферы. Надо подчеркнуть, что биосфера должна была возникнуть сразу как целое, как сбалансированная система, обеспечивающая свою устойчивость благодаря замкнутым циклам преобразования вещества, и можно предполагать, что для Природы

реализовавшийся у нас вариант в то далекое время был не единственным возможным. Усложнение структур – процесс закономерный, но то что возникла именно жизнь, такая какой мы ее видим, определил случай.

Биологическая система - биосфера - в процессе своей эволюции попадала на точки бифуркации меньшего ранга не раз. Наиболее фундаментальных этапов перестройки биосферы можно выделить два. Первый имел место примерно два миллиарда лет назад, когда появилась кислородная атмосфера и аэробная жизнь. При этом изменились не только потенциальные возможности жизни и темп ее эволюции, но и вся географическая оболочка и геологическая среда верхней части земной коры.

Второй такой же по значимости (а может быть и более значимый, равнозначный появлению жизни) этап неустойчивости мы переживаем сейчас. Он связан с появлением **человека**, обладающего **разумом**. Человек принципиально изменил характер эволюции биосферы - он начал превращать ее в **ноосферу**. Этот термин придумал француз Тейяр де Шарден в начале нашего века, но современный смысл ему придал великий русский ученый В.И.Вернадский. В *ноосфере* фактором, определяющим развитие структуры, становится разум. Он меняет коренным образом структуру географической оболочки и темпы эволюции. Сейчас мы стоим на точке бифуркации - состояние биосферы неустойчиво, человек ломает, преобразовывает сбалансированные структуры и каково будет новое устойчивое состояние - возникнет ли стабильная *ноосфера*, как она будет выглядеть будет ли это искусственная *техносфера*, или что-то другое, или разум уничтожит сам себя и развитие биосферы пойдет совсем иным путем - пока можно строить только предположения. Ясно одно: никакая простая экстраполяция тенденций предшествовавшего развития не поможет нам сделать прогноз и разработать стратегию выживания. Ноосферу будет создавать разум, и только изучение самых общих законов мироздания и познание самого себя может ему в этом помочь.

5.3. Эволюция биосферы после появления человека. Проблемы экологии

Так что же такое человек? Когда и как он появился?

Поисками предков современного человека, поисками разных «недостающих звеньев» в цепочке от обезьяны к человеку ученые занимаются давно. Мы знаем питекантропов, синантропов, австралопитеков, зинджантропов, неандертальцев. Возраст «первочеловека» отодвигался чуть ли не до 3 миллионов лет, а ответвление наших предков от предков современных обезьян - до 15 миллионов лет.

Однако последние исследования (1987 год), основанные на изучении генетического материала (ДНК митохондрий клетки), показали, что род человеческий, повидимому, начался всего лишь примерно 200 тысяч лет назад от общей праматери. Все люди генетически практически тождественны, а такие «предки» как неандерталец и синантроп оказались тупиковой ветвью генеалогического древа, не приведшей к человеку разумному. Все указывает, что человека породила некая *единственная* эпохальная мутация, запустившая механизм **мышления**, которая произошла не очень давно.

Мышление выделило человека из остальной живой природы. Человек - это живой организм, впервые *осознавший* сам себя, свою самоидентичность и отличие от всего остального мира. Животное находится в гармонии с окружающим миром, и эта гармония устанавливается на инстинктивном уровне, животное автоматически встраивается в естественную сбалансированную систему. Человек же, осознав самого себя, оказался в изоляции, и ему пришлось заново, сознательно, «строить мир», чтобы найти свое место в нем и снова соединиться с ним. В результате человек создал новый уровень организации,

называемый **человеческим обществом**, занялся познанием мира и самопознанием и начал покорять и переделывать природу, создавать **техносферу**.

Что ждет человека дальше? Ответ затрагивает два аспекта: что ждет человека как отдельный уникальный биологический вид? и что ждет человека, как компонент биосферы? (Что ждет биосферу после того, как главным ее компонентом стал человек?)

Как считают некоторые биологи, биологическая эволюция человека прекратилась, так как, создав себе искусственно стабилизированную среду, человек исключил фактор естественного отбора. Но так считают не все. И я полагаю, что нет достаточных оснований для такого вывода, а для экспериментальной проверки срок пока слишком мал. Имеют основания и пессимистические прогнозы физического вырождения человечества, так как успехи медицины сейчас позволяют выживать слишком многим дефектным особям, которые нормально должны были погибнуть, не дав потомства.

Есть и оптимистические прогнозы. Да, человек выделился из природы, нарушил естественные механизмы регуляции здоровья и процветания вида, но он если еще не научился, то научится компенсировать эти потери и достигнет лучших результатов, чем неразумная природа.

Здоровью человека больше всего вредят чрезмерные стрессы, связанные с ускоренным ритмом жизни и скученностью, и гиподинамией. Отсутствие физических нагрузок приводит к очень большому разбалансу в функционировании организма. Инфаркты и инсульты как результат детренированности и переедания. Авитаминозы, так как потребность в еде уменьшается, и человек вынужденно недобирает витамины: либо он должен сильно переедать и жиреть, либо жить с авитаминозом, так как концентрация витаминов в продуктах питания невелика. Например, суточная доза витамина В₁ содержится в 900 граммах ржаного хлеба (одного из самых богатых этим витамином продукта), а сейчас человек съедает в день едва одну десятую этого количества.

Человек борется со всем этим витаминными таблетками и физкультурой, но эффект невелик. Психология плохо перестраивается.

А еще наркотики, болезни типа СПИДа и т.д.

Однако, несмотря на все это, сам человек может и не дожить до момента своей полной физической деградации, так как гораздо быстрее деградирует среда его обитания и это может оказаться фатальным. К счастью человечество начинает проникаться сознанием возможности и даже близости **экологической катастрофы**, вызванной его собственной деятельностью, и это вселяет надежду, что ее удастся избежать. В чем же суть катастрофы?

Выделившись из остальной природы благодаря своему разуму, человек стал переделывать окружающую среду, приспособливая ее к своим нуждам. В результате численность человечества перестала регулироваться естественными процессами и начала неудержимо расти. Одновременно росла и интенсивность воздействия на природу каждого индивидуума. Животное извлекало из окружающей среды пищу и очень быстро возвращало все взятое, причем там же, где оно было взято, поддерживая баланс вещества. Человек извлекал гораздо больше, чем необходимо для пропитания и возвращал избыток в радикально преобразованном виде и обычно не там, где брал.

Чтобы прокормиться, человеку пришлось вывести особые высокопроизводительные сорта растений и породы животных, создать отличные от естественных так называемые культурные ландшафты и сообщества живых существ. Продукция этих сообществ изымалась безвозвратно, а обеднение среды полезными компонентами компенсировалось искусственно и неполноценно. В результате уже с древних времен стали возникать локальные кризисы производства продуктов питания, такие как гибель древней цивилизации Двуречья в результате снижения плодородия орошаемых земель. В начале XIX века английский ученый Томас Мальтус пришел к

выводу, что вообще возможности Земли ограничены, и рост производства продуктов питания должен отставать от роста населения, если последний не ограничивается войнами и эпидемиями.

Потребность в продовольствии заставляла человека осваивать все новые и новые территории, преобразуя природу, но все яснее становилось, что неограниченный рост населения Земли неминуемо должен привести к кризису связанному с массовым голодом. А еще позже, во второй половине XX века стало ясно, что при современном способе существования человечества наибольшую опасность представляет собой не угроза голода, а угроза отравления всего живого продуктами человеческой деятельности.

Прежде всего человек обратил внимание на явные случаи губительного воздействия промышленности на его жизнь и природу. Загрязнение атмосферы дымом, оксидами серы, азота, ядовитыми органическими молекулами при сжигании топлива. Загрязнение водоемов жидкими отходами производства, делающими воду непригодной для питья и губительной для большинства живых организмов. Загрязнение воды и воздуха радиоактивными отходами. Оксиды серы и азота в угольном и мазутном дыме, растворяясь в атмосферной влаге породили кислотные дожди, угнетающие и губящие растительность на огромных территориях. Катастрофически разрастающиеся свалки бытовых отходов, которые при возгорании выделяют огромное количество самых разнообразных ядов и, прежде всего, чрезвычайно ядовитые и очень стойкие *диоксины*. Нефть, вытекающая при авариях танкеров, покрывает губительной пленкой огромные площади океанов.

Все эти загрязнения либо вообще отсутствовали в "доиндустриальной" природе либо образовывались в количествах на много порядков меньших чем сейчас. Человек может "задохнуться в собственных отбросах". Однако отбросы, химические и радиоактивные загрязнения не являются столь страшными сами по себе, они не являются непреодолимым злом. Дело в том, что от любого загрязнителя можно избавиться и проблема это чисто экономическая. Например, вредоноснейшие оксиды серы и азота могут быть полностью извлечены из дыма и использованы для получения различных полезных продуктов, при этом станут не нужны многие предприятия по переработке серных руд и по связыванию азота из воздуха. Просто это пока слишком дорого и соответствующая необходимость еще не достаточно осознана обществом. То же можно сказать и обо всех других отходах. Автомобили можно перевести на электричество или на водородное топливо, дающее на выхлопе чистую воду, и т. д. Все это в принципе доступно уже сейчас, но требует очень больших затрат.

Возникает впечатление, что по мере роста общественного сознания и общественного богатства можно будет все технологии сделать "чистыми" и спасти окружающую среду. Однако это не так. Чистые технологии требуют не только больше денег, они требуют также больше энергии. Потребность в энергии не зависит от воли человека и уровня организации производства – она определяется законами природы. Повышение экологической чистоты производства энергии требует дополнительного ее расхода "на собственные нужды", понижает эффективный КПД энергетического предприятия и, таким образом, неминуемо увеличивает то загрязнение, от которого невозможно избавиться – **тепловое**. За совершенство структуры надо платить ростом диссипации, снижением качества энергии, ростом количества рассеянного тепла, которое может привести к **перегреву** окружающей среды. Законы термодинамики неумолимы.

Часто видят выход в использовании так называемых **альтернативных** источников энергии. К ним относят энергию ветра, волн, приливов, тепловую энергию океанической воды и земных недр (геотермальную), солнечное излучение. Иногда и ядерную энергию, но ее уже чаще считают одним из традиционных источников. Из перечисленных видов энергии геотермальная черпается из запасов тепла в недрах Земли, энергия приливов – из кинетической энергии вращения Земли, в обоих случаях тепло добавляется в

географическую оболочку так же как и при сжигании ископаемого химического или ядерного топлива. Преимущество лишь в отсутствии химических и радиоактивных отходов (хотя в геотермальной энергетике на поверхность выводятся высокоминерализованные термальные воды, основательно загрязняющие окружающую среду если не принимать специальных мер). Остальные виды энергии имеют источником солнечное излучение, приходящее на Землю, и дополнительного тепла в географическую оболочку не вносят.

Все эти источники используются уже сейчас, но только в опытном порядке и в так называемой *малой энергетике* – то есть как автономные источники энергии малой мощности, работающие в особых условиях (на таежной метеостанции, космическом корабле и т. д.). Заменить традиционные источники в *большой энергетике* они пока не могут и, повидимому не смогут никогда. Их главные недостатки – неравномерность поступления и очень низкая плотность потока энергии при низком ее качестве. Неравномерность поступления требует использования аккумулирующих систем огромной емкости. Низкая плотность потока и низкое качество энергии приводит к очень большим размерам и материалоемкости энергетических станций и низкому КПД. Такие станции занимают большие площади, а их строительство требует создание целой индустрии, которая также наносит вред природе.

Хороший пример производства "чистой" и "даровой" энергии (так считалось, когда они строились) – это наши гидростанции на Волге. Никаких вредных выбросов, вечный, даровой, возобновляемый источник энергии – раз вложил деньги (хотя и большие), построил, а потом стриги купоны и сто и тысячу лет – в этом убеждали себя и народ строители. Теперь ясно, что затопление и подтопление сельскохозяйственных земель и уменьшение во много раз стада осетровых рыб и ряд других негативных последствий принесли убытки, во много раз превосходящие стоимость всей электроэнергетики. Потеря высокопродуктивных пойменных земель потребовала освоения под сельское хозяйство новых территорий и, соответственно, дальнейшего сокращения сбалансированных биоценозов. Цепочку неблагоприятных следствий можно тянуть очень далеко.

Но воздействие человека на биосферу не ограничивается прямыми загрязнениями, оно гораздо сложнее. Мы говорили, что биосфера представляет собой целостную сбалансированную саморегулирующуюся систему. Эта система поддерживает стабильные условия своего существования, сглаживая, демпфируя все неблагоприятные внешние воздействия, нарушающие стабильность. Для этого необходимо, чтобы способность биосферы к компенсации неблагоприятных воздействий превосходила максимально возможную их интенсивность. Что для этого нужно?

Биосфера потребляет разнообразные химические вещества на строительство своих организмов и возвращает их обратно при разложении этих организмов. Этот круговорот лучше всего проиллюстрировать на примере основного элемента жизни - углерода. Баланс его может быть подсчитан. Ежегодно поступает в биосферу и изымается из нее 10^{11} тонн. Баланс сходится с точностью 10^{-4} . Кроме того, в результате геологических процессов в биосферу поступает ежегодно дополнительно 10^7 тонн неорганического углерода. Как показывает изучение состава пузырьков воздуха, захороненных в кернах полярных ледников, содержание CO_2 в атмосфере было неизменным последние 10 тысяч лет, а запас органического углерода, накопленный в захороненном виде в биосфере соответствует его дополнительному притоку из глубин Земли за 100 тысяч лет. То есть биосфера (точнее **биота** - сбалансированная совокупность организмов, способная компенсировать нарушения баланса в биосфере - домашние животные и культурные растения не отвечают этому условию) с высокой точностью и надежностью компенсировала этот поток и его случайные флуктуации, поддерживая состав атмосферы. (Кстати, поддерживается и содержание кислорода, который изымается геохимическими процессами).

Эта компенсация осуществляется за счет отрицательных обратных связей в соответствии с принципом Ле Шателье, а надежность обеспечивается большой избыточностью: поток вещества, участвующий в круговороте, в 10000 раз превышает

средний поток углерода, поступающий за счет геологических процессов. Также избыточен и круговорот кислорода и других химических веществ. Мы уже говорили, что такая большая избыточность нужна для быстрой компенсации ударных разрушительных воздействий на биосферу, прежде, чем они смогут привести к вымиранию слишком многих видов и нарушению сбалансированности биоты.

Нормально функционирующая биота должна увеличивать потребление и перевод в неактивную форму CO_2 при увеличении его концентрации в атмосфере за счет любых процессов, в частности и за счет сжигания человеком горючих ископаемых. Так и было до начала нашего века, когда человек использовал менее одного процента биологической продукции суши. Сейчас, когда это использование достигло 10%, суша перестала работать компенсатором в соответствии с принципом Ле Шателье. Сейчас биота суши уже не только не компенсирует промышленное поступление CO_2 , но вносит свой отрицательный вклад, сопоставимый с промышленным.

Это результат ее разрушения человеком. Все искусственные, культурные системы - сельскохозяйственные угодья, сады и парки и т.д. - имеют разомкнутый оборот: они поддерживаются в сбалансированном состоянии благодаря искусственному внесению потребляемых веществ и удалению продуктов и отходов. Так поддерживается в стационарном благополучном состоянии данная система, но состояние биосферы в целом при этом ухудшается. В частности, все культурные сельскохозяйственные земли добавляют в атмосферу парниковых газов столько же, сколько и заводы, фабрики и электростанции. Вырубка лесов, осушение болот, распашка целины высвобождают огромное количество запасенного в земле органического углерода.

Но дело не только в малой эффективности культурных садов и полей для поддержания сбалансированности природной среды. Уничтожая естественные сообщества организмов, человек обедняет видовой состав биоты, причем не только на данном участке земной поверхности, но и на Земле в целом - в мире ежегодно исчезают благодаря человеку *тысячи* видов. А обеднение видового состава резко ослабляет способность биоты компенсировать случайные резкие нарушения баланса. *Любая естественная природная катастрофа с каждым годом становится все опаснее для биосферы.*

Полученные к настоящему времени результаты говорят, что биосфера способна работать в соответствии с принципом Ле Шателье в компенсаторном режиме только если изъятие человеком ее продуктов не превышает 1%. Эти условия пока еще существуют только в океане. Океан еще нормально реагирует на нарушение состава атмосферы, но и он уже «на грани». На суше еще остались сбалансированные биоценозы, которые работают в нужном направлении. Но таких сбалансированных систем осталось мало, и площадь их катастрофически сокращается.

Итак. *Устойчивость биосферы поддерживается очень точной сбалансированностью процессов продукции и деструкции и огромной мощностью этих процессов, превосходящих в 10000 раз среднюю мощность естественных процессов, нарушающих баланс. Сбалансированность процессов обеспечивается огромным видовым разнообразием как продуцентов так и деструкторов. Разнообразие и конкурентность обеспечивают быструю и адекватную реакцию системы на внешние флуктуации и относительную малость внутренних случайных флуктуаций - замкнутый круговорот веществ быстро восстанавливается.*

Человек уничтожает естественные замкнутые, богатые и сбалансированные природные сообщества и заменяет их разомкнутыми, не сбалансированными, не способными гасить внешние флуктуации. Эти искусственные сообщества не обладают внутренней устойчивостью и способны сами быть источником огромных флуктуаций. Именно эта неустойчивость искусственных сообществ, создаваемых человеком, и есть неминуемый источник катастрофы, если замена ими естественных пойдет слишком далеко.

Наиболее продуктивные сообщества биосферы - это леса и болота. И стабилизаторами естественной среды они могут быть только в естественном состоянии. Если лес уничтожить на какой-то площади, круговорот вещества на ней разомкнется. Природа восстанавливает его следующим образом: сначала поврежденный участок зарастает быстрорастущими породами, которые образуют временное сообщество, которое уже через 10 лет уменьшает разомкнутость кругооборота со 100% до 10%, затем сообщества последовательно сменяют друг друга и примерно через 300 лет восстанавливается первоначальный девственный лес, сбалансированный до 99,99%. Человек, занимаясь культурным лесопользованием, обрывает этот процесс, производя рубки каждые 50 лет, когда подрастают искусственно посаженные ценные породы деревьев. При этом разомкнутость круговорота остается и такой лес не может выполнять свою стабилизирующую функцию. Необходимо рубить не чаще, чем раз в 300 лет.

Совсем недавно, когда начали бить в набат по поводу уничтожения тропических лесов, их называли «легкими планеты», так как они дают наибольшую продукцию кислорода. Но вскоре стало ясно, что другим регионам планеты они в этом смысле ничего не дают, ибо весь произведенный кислород они сами же и потребляют на разложение растительных остатков. Тропический дождевой лес - *замкнутая* экосистема. Однако именно поэтому роль его в жизни биосферы огромна - он является **стабилизатором** состава атмосферы, реагируя должным образом на вызванные разными факторами отклонения. Недавно было подтверждено точными измерениями, что дождевой тропический лес в бассейне Амазонки отреагировал на повышение концентрации CO₂ в атмосфере сдвигом баланса в пользу преимущественного поглощения этого газа. Но в масштабах планеты вклад оставшихся к настоящему времени как тропических так и северных лесов совершенно недостаточен.

Вообще стабильность биосферы возможна лишь если человеком используется не более 1% продукции биосферы. Остальные 99% должны работать на стабилизацию природной среды в замкнутых, не дающих ничего «на рынок» циклах. Это необходимая плата, своеобразный природный налог ради стабильности.

Что же делать человеку? Если оставить 99% биосферы в естественном состоянии, нынешнее население Земли не прокормить. Выход можно искать в двух направлениях, причем гарантированный результат, повидимому, может дать все-таки только одно.

Первое направление: направить максимум средств и усилий на создание *искусственной среды обитания*, оставив лишь цепь заповедников для сохранения (на сколько это будет возможно) генофонда - не для стабилизации среды. Это, по существу, продолжение нынешней стратегии развития, только с огромным увеличением усилий, направленных на искусственную стабилизацию окружающей среды. Если объединить усилия всех стран и при этом ликвидировать всю военную промышленность, а высвободившиеся средства направить полностью на программу стабилизации, то не исключено, что можно будет достичь успеха. Однако все равно, даже если ее удастся осуществить (что не гарантировано), по эффективности и надежности такая искусственная система будет значительно уступать естественной и все равно потребует стабилизации численности населения.

Второй выход: перевести 99% биосферы в естественное состояние. Этот путь гарантирует максимум надежности, но потребует *сокращения* населения примерно в 10 раз и почти полного отказа от использования невозобновимых органических энергоресурсов.

В любом случае требуются фундаментальная смена самого принципа развития цивилизации - замена **экстенсивного** пути **интенсивным**. В каждом биологическом виде заложена тенденция неограниченного экстенсивного развития. В дочеловеческой биосфере взаимодействие различных видов при огромном их разнообразии ограничивало возможности каждого и стабилизировало систему в целом. Отдельные флуктуации вроде

безудержного размножения саранчи быстро гасились - размножившаяся популяция уничтожала все вокруг себя и погибала сама. Опустошенная территория восстанавливалась, так как вокруг было достаточно территорий нетронутых. Человек как биологический вид сохранил исходную тенденцию к экстенсивному развитию и в тоже время выделился из природы и приобрел небывалое могущество благодаря разуму. Это дало ему способность в отличие от саранчи опустошить не ограниченную территорию, а всю планету, причем опустошить необратимо. Погубив себя, человек способен утащить с собой в могилу и всю высокоорганизованную жизнь. Спасти его может только тот же разум, который дал ему силу все погубить. Однако думать надо очень быстро.

Как же обстоит дело в мире ? Сейчас осознание ограниченности ресурсов Земли и близости экологической катастрофы происходит уже во всем мире, но делается для ее предотвращения крайне мало. Тем не менее положительные тенденции есть. Темпы роста народонаселения сокращаются быстрее, чем предполагали эксперты еще совсем недавно, причем они сокращаются не только в развитых странах, где это началось уже давно, но и в развивающихся. Это связано, прежде всего, с урбанизацией и изменением образа жизни и отчасти с пропагандой и административными мерами (Китай). С середины 90-х годов начали уменьшаться не только темпы, но и величина *абсолютного* прироста.

Огромный источник нестабильности в мире - неравномерность развития отдельных стран. Разница в богатстве и качестве жизни между основными развитыми странами и остальным миром увеличивается. Сейчас стоимость валового национального продукта, приходящегося на душу населения, в первой по этому показателю стране мира - Швейцарии - и в последней - Мозамбике различается почти в 500 раз. В беднейших странах население растет наиболее быстро, а производство (в том числе и продуктов питания) практически не растет вообще. Абсолютная нищета, постоянная жизнь на грани голода заставляет эти страны хищнически губить свою природу, чтобы как-то выжить сейчас. Они производят очень мало по сравнению с развитыми странами, но ущерб, наносимый ими природе, из-за примитивного способа хозяйствования соизмерим с ущербом, наносимым развитыми странами. В этом им сильно помогают сами развитые страны, организуя на чужой территории вредные и опасные производства без необходимых жестких мер защиты, которые требуются в своей стране.

Все должны понять, что наш мир един, и биосфера Земли - это единое целое, единый организм. Невозможно обеспечить экологическое благополучие ни в одной стране, ни в отдельной группе стран. Все развитые страны должны понять, что повысить качество жизни, образовательный уровень и прочие показатели развивающихся стран (лучше их называть просто бедными, так как с развитием у большинства из них, мягко говоря, плохо) до уровня стран развитых необходимо не только ради самих этих бедняков, но ради всей Земли, в том числе и ради населения самых благополучных стран. На это должны быть направлены усилия и средства как минимум такие же, какие тратятся сейчас во всем мире на военные цели.

Об этом напрямую сказано уже на двух международных конгрессах, посвященных проблеме «устойчивого развития», под идеей подписались представители большей части стран мира, но до практического ее воплощения еще далеко. Для этого нужно реальное объединение усилий, международные законы и некое мировое правительство с полномочиями существенно большими, чем те, которые сейчас имеет ООН. И богатые страны должны полностью осознать, что именно им придется вложить в это дело значительную часть своего дохода, ибо больше некому.

Задача перехода к «**устойчивому**», то есть не экстенсивному, не количественному, а качественному развитию весьма трудна. И главное в том, что у человечества осталось слишком мало времени и возможностей для маневра. Для реального объединения усилий всего населения Земли необходимо выровнять образовательный и жизненный уровень всех

стран. Это потребует огромных затрат от богатых стран и значит напряжения их хозяйственного механизма. В то же время уже сейчас необходимо ограничивать потребление энергии, уменьшать вредные промышленные выбросы, переходить к более экономным и, естественно, более дорогим технологиям. Необходимо сбалансировать эти противоречивые требования.

5.4. Есть ли еще жизнь во Вселенной?

Этот вопрос начал волновать человека как только он осознал огромность мира и возможность существования других солнц и планет. Долгое время к нему подходили только с философских мировоззренческих позиций. Исключительность земной жизни и человека, созданного по образу и подобию божьему, утверждала христианская церковь. Множественность обитаемых миров, как противовес этой божественной исключительности утверждали противники монотеистической религии. Говоривший о жизни на других мирах Джордано Бруно был в 1600 году сожжен святой инквизицией за ересь. Еще раньше о существовании других миров, полностью подобных нашей Земле с ее жизнью, говорили античные философы. Однако, все утверждения опирались только на общие философские соображения, никаких доказательств (кроме святого писания у церковников) ни у одной из сторон не было.

После изобретения телескопа, когда прямые наблюдения показали, что поверхность Луны, а потом и Марса имеет сходство с поверхностью Земли, представления о возможности жизни на этих планетах получили дополнительную опору. Стало широко распространяться мнение, что жизнь должна быть на всех планетах и даже на Солнце. Но это тоже были домыслы «из общих соображений». Настоящий научный подход к проблеме распространенности жизни во Вселенной стал возможным лишь во второй половине XX века, когда была получена достоверная информация о строении и эволюции галактик, звезд и планетных систем, с одной стороны, и о сущности и истории развития жизни на Земле – с другой.

До сих пор не имеется экспериментальных свидетельств существования жизни где-либо кроме Земли. Поэтому мы можем заниматься лишь теоретической оценкой возможности возникновения и вероятной распространенности жизни. Особо стоит вопрос о возникновении не просто жизни, а разумной жизни. Задача разбивается на две: 1) существует ли жизнь на других планетах солнечной системы? На этот вопрос ответ будет дан в ближайшее время путем прямой экспериментальной проверки; 2) существует ли жизнь еще где-либо во Вселенной и как широко она распространена?

Современная наука может указать набор условий, необходимых для возникновения жизни. (Мы здесь говорим о земной белковой жизни. В принципе можно допустить возникновение жизни и на другой материальной основе (хотя это мало вероятно), но самые общие условия, нужные для ее возникновения должны быть примерно теми же). Эти условия следующие.

Во-первых, необходимо присутствие достаточно полного набора химических элементов в достаточных количествах - иначе не могут быть построены сложные молекулы нужные для осуществления функций живого организма. Следовательно, жизнь может возникнуть только на планете у звезды как минимум второго поколения из вещества обогащенного элементами тяжелее гелия.

Во-вторых, необходима высокая стабильность условий с умеренными температурами на значительном промежутке времени. Особенно это существенно для возникновения достаточно сложной жизни, не говоря уже о разумной. Судя по тому, что мы видим на Земле, время эволюции от момента зарождения жизни до появления

многоклеточных по сложности равных моллюскам составляет по крайней мере 3 миллиарда лет. В течение этого времени не должно было быть ни повышений среднегодовой температуры до величин, близких к температуре кипения воды, ни длительных понижений до температуры ее замерзания. Такие условия могут быть только вблизи одиночных звезд с массой, не сильно отличающейся от массы Солнца: у заметно более массивных звезд период стабильности слишком короток и от них идет слишком мощный поток жесткой радиации, разрушающей сложные молекулы; у маломассивных звезд наблюдаются очень большие пульсации светимости. У двойных звезд планеты не могут иметь стабильных орбит. Стабильная сама по себе звезда типа Солнца должна находиться в спокойной, не слишком густо населенной области галактики - вдали от ее активного центра, вдали от областей современного звездообразования, и т. д.

В-третьих, необходимо существование жидкой среды, для осуществления реакций обмена веществ, сборки сложных молекул. Такой жидкой средой на Земле является вода. Некоторые исследователи допускают, что в других условиях такой средой может быть аммиак.

Удовлетворяющих всем необходимым условиям звезд не так уж много. Неизвестно какая часть из них имеют планеты. Прямыми наблюдениями пока не обнаружено планет ни у одной звезды кроме Солнца, хотя из теоретических соображений их можно ожидать у большинства одиночных звезд. Однако, остается неясным какова вероятность наличия не просто планет, а планет земного типа.

Для стабильности условий возле стабильной звезды нужно, чтобы и планета находилась на стабильной, близкой к круговой, расположенной на подходящем расстоянии орбите. Всем этим условиям в Солнечной системе отвечает в полной мере только Земля. В какой-то мере приближается к этому Марс. Целый ряд деталей его поверхности говорит о возможном сравнительно недавнем существовании на его поверхности текучей воды. Первоначально Марс, повидимому, имел и более плотную чем сейчас, близкую по плотности к земной, атмосферу. Условия для возникновения жизни в свое время были, а, раз возникнув, жизнь могла постепенно адаптироваться и к нынешним суровейшим условиям. Вопрос о жизни на Марсе пока еще не закрыт.

На поверхности Венеры температура 450 градусов Цельсия не допускает возникновения жизни, но на высоте в несколько десятков километров в ее атмосфере условия соответствуют земным, и можно допустить возникновение плавающих в воздухе микроорганизмов.

Один из галлилеевых спутников Юпитера - Европа - сплошь покрыт панцирем льда. На этом льду видны трещины разломы и другие следы деформаций, говорящие в пользу его подвижности и возможного существования подледного океана, подогреваемого внутрипланетным теплом. В таком океане возможна жизнь вблизи глубинных термальных выходов, подобная той, что имеет место у таких выходов на дне земных океанов. В 2003 году национальное космическое агентство США планирует запуск космического аппарата для радиолокационного зондирования Европы. В случае обнаружения подледного океана будет запущен аппарат со специальной буровой установкой для взятия проб воды на предмет анализа и обнаружения возможной жизни.

Существование планетных систем у других звезд, как мы уже говорили выше, весьма вероятно, хотя пока нет возможности получить прямые наблюдательные свидетельства. Из общих теоретических соображений можно предположить существование миллиардов планетных систем в Галактике, и в них, по крайней мере, нескольких миллионов планет с условиями, подходящими для возникновения жизни земного типа. Какова вероятность возникновения жизни при наличии подходящих условий мы не знаем, но хочется думать, что она возникла не на одной Земле.

Все эти возможности касаются только простейшей жизни. Для перехода к разумной жизни, повидимому, нужны существенно более жесткие требования. Кроме того, нельзя с уверенностью сказать, что разумная жизнь должна быть обязательной закономерной стадией развития. Возможно это редчайший, может быть единственный осуществившийся вариант. И в то же время разумная жизнь с большой вероятностью может проявить себя в космических масштабах таким образом, чтобы ее можно было обнаружить на космических расстояниях. Над этой проблемой уже немало потрудились теоретики и принимался ряд практических попыток обнаружения признаков разумной жизни во Вселенной, прежде всего - поиск радиосигналов искусственного происхождения (программа SETI).

Но пока свидетельств о том, что где-то еще во Вселенной есть братья по разуму, мы не имеем. И более того, теретические оценки возможной распространенности жизни во Вселенной по мере углубления наших знаний дают все меньшие и меньшие величины. Если в начале семидесятых годов эксперты оценивали расстояние до ближайшей, существующей одновременно с нами цивилизации в 1000 световых лет, то в начале восьмидесятых уже в 10000, а сейчас большинство склоняется к тому, что мы единственная цивилизация по крайней мере в нашей Галактике.

6. Сценарии дальнейшей эволюции Вселенной

Итак, в настоящий момент Вселенная расширяется, ее вещество разлетается, наиболее далекие объекты, видимые в крупнейшие телескопы, удаляются от нас со скоростями, превышающими три четверти скорости света. Процесс расширения и рассеяния первоначальной огромной тепловой энергии привел к структурированию материи. Сейчас эволюция материи идет в направлении все большего местного усложнения диссипативных структур. По крайней мере в одной точке Вселенной - на нашей планете - появилась жизнь, которая продолжает усложняться. Усложняются как организмы так и биосферы, разумная жизнь строит все усложняющиеся искусственные системы. Возможно, существуют и другие такие «точки роста» сложности, можно предположить появление каких-то связей между ними. Возникает вопрос: до чего же этот процесс может дойти? Что ожидает нас и всю нашу Вселенную вообще где-то в бесконечно отдаленном будущем?

Для Вселенной возможны два варианта, выбор между которыми зависит от средней плотности вещества в ней. Если плотность вещества меньше некоторой критической величины, Вселенная будет расширяться бесконечно. Если больше - силы гравитации смогут остановить разлет небесных тел и расширение сменится сжатием. Критическую плотность можно оценить, зная гравитационную постоянную G и постоянную Хаббла H :

$$\rho_{\text{крит}} = 3H^2/8\pi G \sim 10^{-32} \text{ кг/м}^3$$

Какова действительная плотность вещества во Вселенной, точнее, больше или меньше она критической, неизвестно. Если учитывать только видимое, светящееся вещество, плотность оказывается значительно (в 30 раз) меньше критической. Однако, многие факты указывают на существование намного большей невидимой, «скрытой» массы. Сейчас считается, что средняя плотность Вселенной скорее всего все же немного меньше критической, но полной уверенности в этом нет. Не исключено, что она в точности равна критической и это не случайное совпадение. Так что имеет смысл рассмотреть оба варианта развития.

Рассмотрим сначала первый - «открытую», бесконечно расширяющуюся Вселенную.

Непрерывное расширение сопровождается рассеянием энергии. Локальные «резервуары» концентрированной энергии - звезды - расходуют свое ядерное горючее, сбрасывают и рассеивают в конце жизни часть своей массы и превращаются в мертвые, медленно остывающие остатки либо (при достаточной массе) в «черные дыры». Из сброшенного газа могут возникать звезды следующего поколения, но их становится все меньше и меньше, пока этот процесс не прекращается совсем. Полное угасание всех звезд должно завершиться примерно через 10^{14} (сто триллионов) лет. Останутся мертвые остывшие звезды и черные дыры, образующие галактики, а также планеты, небольшое количество очень рассеянного газа и пыли и непрерывно теряющее энергию излучение.

На следующем этапе должна произойти потеря звездами своих планетных систем и потеря галактиками звезд. И то и другое будет результатом тесных сближений звезд, когда гравитационное взаимодействие приводит к обмену импульсом, так что отдельные объекты выбрасываются из связанной системы. При этом планеты будут оторваны от своих звезд, большая часть звезд (примерно 90%) будет выброшена, «испарится», из галактик, а оставшиеся, потеряв импульс, соберутся в массивную черную дыру. Этот процесс идет и сейчас, но очень медленно. Зкончиться он должен через 10^{18} лет. К этому времени не будет галактик, останутся лишь равномерно рассеянные погасшие звезды и черные дыры.

Последние этапы эволюции связаны с квантовыми эффектами и следствиями еще во многом гипотетических представлений, вытекающих из теорий объединения фундаментальных взаимодействий. Теория «великого объединения» - объединения сильных и электрослабых взаимодействий - предсказывает конечное времени жизни протона, равное 10^{30} - 10^{32} лет. Если это так, то через промежуток времени такого порядка протоны распадутся и все вещество звезд превратится в электроны, позитроны и нейтрино.

Останутся еще массивные черные дыры. Но оказалось, что и они не вечны. Черные дыры способны «испаряться» благодаря квантовым эффектам. В соответствии с принципом неопределенности вблизи «горизонта» на границе черной дыры возможно возникновение пар частиц, одна из которых остается под горизонтом, а вторая излучается, унося массу и энергию от черной дыры. Этот процесс для массивных черных дыр очень медленный (тем медленнее, чем больше масса дыры) и завершение его требует времени порядка 10^{100} лет. После этого кроме невероятно разреженных электронов, позитронов, нейтрино и фотонов не останется ничего.

Что же будет, если средняя плотность превышает критическую? В этом случае расширение сменится сжатием. Как оно будет происходить зависит от того как долго перед этим будет продолжаться расширение. Если плотность лишь ненамного больше критической в процессе расширения (а реально, если она все-таки больше, то только ненамного), то к моменту начала сжатия Вселенная будет состоять лишь из мертвых звезд, черных дыр, нейтрино и фотонов. При сжатии энергия фотонов будет возрастать (благодаря «фиолетовому смещению») причем возрастать в большей степени, чем она убывала при расширении. Фотоны разогреют и испарят мертвые звезды. При увеличении плотности все рассеянное вещество будет поглощаться черными дырами, а в конце все черные дыры сольются в одну гигантскую. При этом не только все вещество сольется и коллапсирует, но само пространство свернется. Может ли такая коллапсирующая масса перейти в сингулярность с бесконечной плотностью и как бы она могла это сделать - неизвестно, современная наука описать это не может. Правда не исключено, что, прежде чем плотность станет бесконечно большой, какой-нибудь неизвестный нам пока механизм может привести к так называемому «отскоку» Вселенной, и снова начнется процесс ее расширения.

Возможность «отскока» рассматривалась и описывалась теоретиками. Здесь вероятна цикличность, когда циклы расширения и сжатия чередуются. При этом каждый следующий цикл оказывается примерно вдвое продолжительнее предыдущего. Таким образом продолжительность стадии расширения может стать такой большой, что захватит и этап распада протона. Тогда новое сжатие начнется в состоянии, когда отсутствуют адроны, а энергия определяется фотонами, образовавшимися при распаде протонов. В этом случае продолжительность следующего цикла уже не удвоится, а удлинится по крайней мере в 1000 раз. В конце концов очередной цикл практически не будет отличаться от бесконечного расширения. Вообще теоретический анализ такой пульсирующей Вселенной приводит ко многим весьма интересным следствиям, но следует помнить, что сам «отскок» остается гипотезой.

Посмотрим теперь как во все эти сценарии эволюции Вселенной вписывается эволюция структур и, прежде всего, жизни. Динамический диссипативный характер структур требует для их существования потока рассеяния энергии и вещества и соответствующих градиентов концентрации. В начале расширения концентрация энергии и вещества очень высока, а градиенты малы, что препятствует образованию сложных структур. Уменьшение концентраций и усиление неоднородностей в распределении этих концентраций приводит к возникновению все более сложных структур - это мы видим вокруг себя сейчас. Однако, дальнейшее рассеяние вещества и энергии должно привести к уменьшению градиентов и интенсивности потоков энергии, которые окажутся недостаточными для обеспечения существования сложных структур, таких как жизнь. Очевидно, что в развитии расширяющейся Вселенной должен существовать некий **пик структурной сложности**, после которого она пойдет на убыль. Добралась ли наша Вселенная до такого пика, или максимум еще впереди? Точно сказать нельзя, но во всяком случае мы где-то в районе максимума, который должен быть очень пологим, растянутым на десятки миллиардов лет.

Надо сказать, что если наша Вселенная не «открытая» и расширение когда-то сменится сжатием, в развитии ее структурированности ничего не изменится. На стадии расширения точно так же будет пик максимальной сложности структур и затем упрощение. На стадии сжатия нового усложнения структуры уже не будет - цикл несимметричен. Для возникновения структур необходима диссипация.

Посмотрим теперь как может выглядеть наша собственная судьба, связанная с нашей маленькой планетой. Увеличение численности людей, разрастание искусственной среды обитания уже подошло к своему пределу. Необходима стабилизация как численности населения так и уровня потребления всевозможных первичных ресурсов. Причем для многих видов ресурсов необходима не стабилизация а резкое сокращение потребления. Например запасов руд металлов цинка, олова, ртути и свинца при нынешнем потреблении хватает лишь примерно лишь на 20 лет. Других - больше, но все так называемые *невозобновимые ресурсы* должны истощиться.

Это, вообще говоря, не очень страшно. Название «невозобновимые» условно. Любое вещество как-то измененное или рассеянное может быть снова сконцентрировано, очищено и вовлечено в оборот, только по мере истощения богатых природных концентратов - *руд* - это будет требовать все больше затрат *энергии*. Затраты энергии связаны с ее рассеянием, диссипацией. Это все тот же общий закон: *возникновение и существование стабильных структур требует увеличения рассеяния энергии, понижения ее качества - производства избыточной энтропии*. Необходимый поток энергии нам обеспечивает Солнце. Следовательно возможность усложнения структуры среды обитания человека, в принципе, ограничена величиной потока энергии от Солнца. И само существование этой структуры возможно лишь пока светит Солнце.

Солнце будет светить долго, но не вечно. Оно должно погаснуть, предварительно раздувшись и без взрыва или со взрывом сбросив значительную часть вещества. Если предположить, что человечество не исчезнет раньше и достигнет огромной технологической мощи, можно допустить, что оно сможет заблаговременно вместе со своей планетой (или без нее) перебраться к другой подходящей звезде, и так далее. Однако, каждое угасание звезды оставляет мертвый остаток, который исключается из дальнейших преобразований. Количество газа, из которого могут образовываться новые звезды, быстро уменьшается, и в конце-концов звезды погаснут все. Очень развитое человечество сможет держаться и тут еще очень долго, экономно сжигая в термоядерной топке запасы водорода больших планет, но в конце-концов и разумная жизнь и вся накопленная в созданных структурах информация исчезнет вместе с *нашей* Вселенной.

К такому выводу приводит современный уровень знаний. Что будет «потом»? «Потом» не будет, ибо вместе с *нашей* Вселенной умрет и *наше* время и *наше* пространство. Но современная наука говорит о том, что наша Вселенная не может быть единственной. Флуктуации чего-то первичного могут порождать бесконечное множество других вселенных, возможно с другой размерностью и вообще с другими свойствами, в которых тоже развитие может привести к самопознанию.

Мы пришли к выводу, что все реальное и конкретное вокруг нас конечно во времени и пространстве так же как конечна жизнь человека. Бесконечность отодвинулась в область принципиально недостижимого. Сейчас мы можем допустить существование множества миров, возможно и бесконечного множества, возникающих и вырастающих из флуктуаций в некоторой первичной сущности как пузыри в пенящейся жидкости. Эти миры независимы и неспособны обмениваться информацией. Мы способны познать наш мир, который имеет свою специфическую метрику и пространственно-временную структуру. Он, очевидно, имеет «начало» и «конец». Мы ставим эти слова в кавычки, так как в «начале», по крайней мере, само понятие времени еще не существовало. С того момента, как появилось время в качестве характеристики нашего мира, он развивается от рождения к смерти как от начального бесструктурного состояния к конечному также бесструктурному через очень продолжительный этап «зрелости», характеризующийся возникновением очень сложной структуры. Сейчас идет процесс непрерывного усложнения структуры Вселенной, который, повидимому будет продолжаться еще много миллиардов лет.

Вопросы к главам 5 и 6.

1. Что мы знаем о проблеме *возникновения* жизни?
2. Как связана эволюция организмов, видов и биосферы?
3. Причина и механизм эволюции жизни по Дарвину. Трудности дарвиновской теории.
4. Как в настоящее время “подправлена” дарвиновская теория?
5. Особенности биосферы как системы. Чем обеспечивается ее устойчивость?
6. Связь эволюции жизни с общей эволюцией нашей Вселенной. Единство общих механизмов.
7. Особенности эволюции человека как биологического вида и эволюции биосферы после появления человека.
8. Каковы основные неблагоприятные результаты воздействия человека на биосферу?
9. Чем опасно создание искусственной благоприятной для жизни человека среды – интенсивное сельское хозяйство, культурные парки, “безотходная” промышленность с замкнутыми циклами, - к чему стремятся густонаселенные “развитые” страны?

10. Какие возможны варианты выхода из глобального экологического кризиса?
11. Есть ли жизнь на других планетах Солнечной Системы?
12. Есть ли жизнь в других частях Вселенной?
13. Какова дальнейшая судьба нашей Вселенной?
14. Какой может быть дальнейшая судьба человечества?

Общее заключение

Мы нарисовали современную **научную картину мира** и показали в самом общем виде каким образом она строилась человеком. Представление о мире в целом, как об упорядоченной **системе** и понимание своего места в ней необходимо человеку для его существования. Человек начал упорядочивать окружающий мир как только осознал себя, создавая систему мифов. Позже основой системы мира стала наука.

Наука - сфера человеческой деятельности, функция которой - выработка и теоретическая систематизация объективных знаний о действительности. Потребность в таких систематических знаниях, в *упорядочении* окружающего мира заложена в самой природе человека.

Две стороны науки - добывание фактов, характеризующих окружающий мир и их систематизация - связаны неразрывно. Получение новых объективных *научных* данных при отсутствии какой-либо исходной теоретической концепции так же невозможно, как и построение чисто умозрительной теории. С первого взгляда представляется, что научная деятельность должна начинаться с «непредвзятого» накопления фактов, но присмотревшись внимательнее нетрудно заметить, что это практически неосуществимо. Ответ на вопрос: «с чего следует начинать?» столь же труден, как ответ на вопрос: «что было раньше: курица или яйцо?».

Наука отвечает на вопрос: «**как** устроен мир?». Работа науки заключается в поисках **связей** между фактами, в обнаружении **закономерностей**, которые позволяют *предсказывать* новые факты. При этом наука опирается на определенные **фундаментальные концепции**, которые в известной мере находятся за пределами собственно науки и играют примерно такую же роль как основные постулаты в геометрии. Это концепции **объективного существования, единства и простоты** мира.

Знание закономерностей позволяет объяснять и предсказывать новые факты посредством **логических умозаключений**, однако логическая экстраполяция закономерности за пределы той области, в которой она была установлена эмпирически, рано или поздно приводит к противоречиям с существующими фактами. Новые факты не всегда удается вообще логически увязать со старыми путем простого эмпирического обобщения в рамках существующего общего взгляда на мир. В этом случае движение вперед возможно только с помощью **радикального пересмотра** основных положений, включения новых идей, рождающихся **интуитивно**, на основе подсознательной обработки всего предшествовавшего опыта.

Конкретным продуктом науки является последовательность теоретических **моделей** природных процессов и явлений. Модель всегда *приближенно* отражает явление, так как исчерпывающее полное знание об объекте не достижимо за конечный промежуток времени. Но, несмотря на это, возможно построение **адекватных**, то есть правильно описывающих все важные для нас стороны явления, моделей, что вытекает из *фундаментальных концепций*.

В построении картины окружающего мира участвуют более конкретные концепции, главные из которых это концепции **стационарности** и **нестационарности**, **элемента**, **континуальная** и **корпускулярная**, **пространства**, **времени**, **взаимодействия**.

Пространство и время согласно современным представлениям образуют единый **пространственно-временной континуум**, свойства которого неразрывно связаны со свойствами **материи**. В то же время для описания устройства и эволюции множества структур нашего мира обычно достаточно рассматривать материю, распределенную в независимом от нее пространстве, и изменяющуюся независимо в текущем времени.

Сейчас можно считать доказанным, что *наш мир нестационарен*, однако, при описании большого количества процессов и явлений успешно используется концепция стационарности, процессы и явления описываются в рамках **стационарной модели**.

Концепции **континуальная** и **корпускулярная** стали выглядеть по-новому после появления квантовой механики. Основная идея квантовой механики - пространственно-временная **дискретность** всех свойств материи. Но в то же время принцип неопределенности, принципиально вероятностный характер квантовых процессов размывает эту дискретность в соответствии с **непрерывным** распределением плотности вероятности проявления того или иного свойства.

Основные свойства объектов макромира могут быть выведены из свойств элементарных частиц и их взаимодействий на основе корпускулярной концепции, но успешно описываются и анализируются с помощью континуальной концепции при использовании усредненных характеристик.

Связи, возникающие в результате *взаимодействий*, приводят к возникновению **структур**. Закономерное, упорядоченное расположение элементов и тел в пространстве мы называем **пространственной структурой**, упорядоченный процесс изменения пространственной структуры во времени может быть назван **временной структурой**. В едином пространстве-времени наш мир образует **пространственно-временную структуру**.

Хотя в основе всех сложных взаимодействий лежат лишь четыре **фундаментальных**, используя *только* законы этих фундаментальных взаимодействий, невозможно объяснить образование всех наблюдаемых структур. В больших, многочастичных системах возникают **коллективные эффекты**, приводящие к качественно новым явлениям. Изучением больших систем с помощью их обобщенных характеристик занимается **термодинамика**. Изучение коллективных эффектов и механизма образования **макροструктур** - предмет **синергетики**.

Основными понятиями термодинамики являются **энергия** и **энтропия**. *Энергия* определяется как фундаментальное, сохраняющееся во всех процессах свойство материи, количественно измеряемое величиной механической работы, в которую она при определенных условиях может быть превращена. *Энтропию* можно определить как меру **качества** энергии, содержащейся в системе, или меру ее **реальной способности** произвести работу без привлечения внешних воздействий или меру **вероятности состояния системы** (степени ее неупорядоченности).

Через эти понятия формулируются два основных закона или **начала** термодинамики - закон **сохранения энергии** и закон **возрастания энтропии**. Второй из них гласит, что в изолированной системе могут протекать только процессы, связанные с увеличением ее энтропии.

Наша Вселенная в целом представляет собой изолированную систему и поэтому энтропия ее должна возрастать, что мы и наблюдаем. Возрастание энтропии означает возрастание беспорядка, сглаживание всех неоднородностей, градиентов, понижение качества энергии, исчезновение структур. Однако, реально мы видим, что Вселенная

глубоко структурирована, а непосредственно вокруг нас эволюция идет в сторону повышения сложности. Такова эволюция географической оболочки Земли и биосферы.

Причина этого в том, что расширение Вселенной порождает **направленный поток диссипации**, который приводит к катастрофическому росту отдельных **флуктуаций** и возникновению **диссипативных структур**. Возникающие структуры связаны с **избыточным** производством энтропии, хотя локально и наблюдается ее уменьшение. Диссипативные структуры представляют собой **динамические системы**, далекие от равновесия, существующие благодаря непрерывному обмену энергией и веществом с окружающей средой. На определенных этапах они могут переходить в **метастабильные** или **кавзиравновесные** системы.

С понятием *структура* тесно связано понятие **устойчивость**, которое означает сохранение всех основных качественных характеристик системы при любых изменениях *управляющих параметров* в пределах некоторого конечного диапазона. Без устойчивости потеряло бы смысл само понятие *структура*.

Эволюция структур происходит через *потерю устойчивости* путем **скачкообразного** перехода в новое устойчивое состояние, к новой структуре. Скачки при эволюции означают **дискретность во времени - неминуемое следствие самого наличия структур - дискретности в пространстве**. Можно сказать и наоборот, что **дискретность в пространстве есть следствие дискретности во времени**. пространственно-временная структурированность – это общее свойство нашего мира.

Эволюция сейчас идет в сторону повышения сложности структур, но более сложные структуры охватывают все меньшую часть материи. Простейшие макроструктуры - первоначальные гравитационные неоднородности – охватывали все вещество; объединенные в галактики звезды главной последовательности включают лишь какие-то проценты всей массы Вселенной; возникшие вместе со звездами второго поколения планеты земной группы составляют лишь малую долю процента от массы звезд; и, наконец, наиболее сложная структура – жизнь – составляет лишь тонкую пленку на поверхности, ничтожную долю процента от массы некоторых планет земной группы. А может быть и не "некоторых", а всего одной, хотя это кажется маловероятным, противоречащим концепции единства мира. Но доказательств обратного – более широкой распространенности жизни во Вселенной – пока нет.

Последний структурный *скачок усложнения* связан с появлением *разумной* жизни, осознавшей себя и начавшей переделывать остальную биосферу, превращая ее в **ноосферу**. Этот скачок еще не завершился. Какой будет ноосфера и возникнет ли такая устойчивая структура вообще пока неизвестно. Главная проблема стоящая перед человеком – это не погибнуть в результате потери устойчивости биосферы и ее разрушения из-за его деятельности прежде чем возникнет новая устойчивая структура.