

Л.В.Краснов

Концепции современного  
естествознания

Санкт-Петербург

2008

Книга представляет учебник по курсу "Концепции современного естествознания" и предназначена для студентов гуманитарных специальностей ВУЗов.

©2008 Л.В.Краснов Концепции современного естествознания

## Содержание

1	Предисловие.	3
2	Научные концепции , их место в человеческом обществе. Две культуры.	4
3	Основные этапы развития научных представлений о мире.	7
4	Методология выявления закономерностей в природе.	22
5	Виды взаимодействий в природе.	27
6	Пространственно - временные масштабы в природе.	33
7	Классическая физика и механистическая модель физических явлений.	35
8	Специальная (или частная) теория относительности Эйнштейна.	43
9	Общая теория относительности Эйнштейна.	51
10	Расширяющаяся вселенная и Большой Взрыв.	58
11	Современные данные о средней плотности вещества во Вселенной.	67
12	Эволюция Вселенной. Возникновение и развитие звезд.	70
13	Законы микромира и квантовая механика.	79
14	Явление интерференции в квантовой механике.	90
15	Закон возрастания энтропии и стрела времени.	93
16	Антиматерия	99
17	Элементарные частицы.	101
18	Понятие вакуума в современной физике.	107
19	Что такое элементарная частица с точки зрения современной науки?	109
20	Симметрии в физике и законы сохранения.	110
21	Механизм передачи наследственной информации.	114
22	Жизнь.	120
23	Процесс возникновения жизни на Земле.	123

24	Случайно или закономерно возникновение жизни. Антропный принцип.	127
25	Естественный отбор с точки зрения генетики.	131
26	Понятие о ноосфере	134
27	Возможность внеземной разумной жизни.	138
28	Экологический кризис и пути его преодоления.	140
29	Как возникла наша Вселенная и является ли она единственной.	145

## 1 Предисловие.

Перед каждым автором, читающим данный курс или пишущим учебник, с неизбежностью встает вопрос, какой уровень изложения выбрать. Этот курс предназначен для слушателей гуманитарных специальностей ВУЗов, которые в своем большинстве не считали своими любимыми предметами физику и математику при обучении в средней школе. Положение усугубляется отсутствием в последние годы единого общеобразовательного стандарта в школе, что приводит к большому различию в подготовке по этим предметам у слушателей.

Конечно, можно следовать примеру известного физика. Издательство потребовало, чтобы в тексте его книги отсутствовали формулы. Он согласился, но обошел это требование - на рисунке была изображена классная доска с написанной необходимой формулой. Можно при изложении не использовать никаких формул, и есть примеры подобных изданий. Но, по мнению автора, у читателя в лучшем случае создается иллюзия понимания, а в большинстве случаев многословные объяснения не могут прояснить суть дела. Поэтому книга ориентирована на человека, окончившего среднюю общеобразовательную школу с преподаванием физики и математики.

Если преследовать цель рассказать, как устроен наш мир, то придется говорить о физических законах и теориях. Автор считает необходимым объяснить, как возникли эти законы, каково содержание этих теорий. При выполнении этой задачи неизбежно использование какого-то количества формул, но для их понимания вполне достаточно школьного курса алгебры. Та категория читателей, которая не желает вникать в содержание формул, может принять на веру те положения, которые вытекают из этих формул. Во всяком случае, предлагаемая книга ни в коей мере не является учебником физики.

Содержание государственного стандарта по курсу "Концепции современного естествознания" намного шире содержания книги. Рассмотренный в книге материал может быть изложен в 32 часовом курсе лекций. Это подтверждается опытом чтения этого курса в указанном количестве часов автором на филологическом факультете Санкт-Петербургского государственного университета в течение ряда лет.

Данный текст не является окончательным. Он будет совершенствоваться в дальнейшем.

Задача, решаемая опубликованием этого варианта учебника, состоит в облегчении слушателям усвоения материала курса.

Автор был бы благодарен читателям за сообщение о замеченных ошибках, а также за замечания по содержанию учебника. Свои замечания Вы можете сообщить мне лично или отправить электронной почтой по адресу *krasnov@nuclpc1.phys.spbu.ru*

## 2 Научные концепции , их место в человеческом обществе. Две культуры.

О чем мы будем говорить в нашем курсе? Если не претендовать на точность, мы будем обсуждать вопросы, связанные с объяснением того, как устроен наш мир. Поскольку он называется "Концепции современного естествознания" то уточним понятие термина "концепция". Концепция - это система взглядов, то или иное понимание явлений, процессов. С точки зрения такого определения мифология древних греков является концепцией, которая объясняла причины многих явлений в их жизни: все природные явления происходят по воле богов. Они всемогущи и поэтому нет необходимости искать объяснения тому, как именно и из чего Зевс изготавливает те молнии, которые он мечет в недостойных.

В наше время мы придерживаемся иных концепций о природе мира. Эти концепции являются плодом развития науки и практики, непрерывно происходящего в человеческом обществе. Предметом нашего внимания будут концепции, развитые естественными науками. Эти достижения являются неотъемлемой частью общечеловеческой культуры. Знание основ современного естествознания необходимо каждому образованному человеку: оно формирует научный метод мышления и адекватное отношение человека к окружающему миру. Любой человек должен знать, что можно установить законы, действующие в природе, которые являются объективными, т.е. не могут быть отменены, и их нельзя обойти, прибегая к помощи потусторонних сил. Образованный человек должен отчетливо понимать бесплодность и вредность ненаучных концепций, таких как мистика, магия, астрология, суеверия. Задача курса "Концепции современного естествознания" состоит в ознакомлении слушателя на уровне общих представлений с наиболее важными результатами естественных наук, объясняющих устройство мира. Другая задача состоит в том, чтобы дать представление о месте и значении естественных наук в общечеловеческой культуре.

Вы, вероятно, откажетесь считать образованным человеком того, кто никогда не читал произведений Толстого или Шекспира, и будете правы. Но так же сомнительно признавать вполне образованным человека, который не знает, что наша Вселенная имела начало около 14 млрд. лет тому назад, что жизнь на Земле не может длиться вечно, так как Солнце, в конце концов, перестанет излучать свет, и почему это произойдет.

На протяжении веков важнейшим способом познания и освоения окружающего мира для человечества являлась наука. И все это время человечество решает вопрос о месте и роли в его мире науки, философии и религии. Роль науки состоит в создании системы знаний, состоящих только из экспериментально полученных данных об этом мире, и заключений, сделанных на этом основании, путем логических рассуждений. В мире науки самому человеку - субъективному элементу этого мира и его ценностным ориентациям отводится незначительная роль. Рассмотрение этих сторон человеческого существования составляет предмет философии и религии, которые по-своему отражают реальность и создают свой собственный мир. Но все эти части культуры должны взаимодействовать между собой, дополняя друг друга для того, чтобы решать основную функцию культуры - обеспечивать и облегчать жизнь человека, являясь связующим звеном между человеком и природой. Преобладание одной из этих частей общечеловеческой культуры приводит к замедлению прогресса

или к накоплению опасных тенденций в развитии человечества.

Так, например, власть религии над средневековой наукой замедлила развитие науки на тысячелетие, только в эпоху Возрождения начался бурный прогресс науки. Главным элементом в мировоззрении образованных людей того времени являлась философия. Остатки этого почитания философии как главной части науки сохранились до сих пор: на Западе ученая степень доктора наук называется доктор философии, независимо от того, по какой конкретной области знания (математика, физика, химия) защищена диссертация. С 19 века на первый план выходит комплекс естественных наук, претендуя на господствующее положение в культуре и мировоззрении человека. Право обладать истиной в последней инстанции с тех пор оспаривается наукой и философией.

Вера в науку как в спасительную единственную силу человечества в последние годы подвергнута серьезному сомнению. Достижения науки дали человечеству необычайные возможности, но вместе с тем и поставили перед ним серьезные проблемы, угрожающие самому существованию человека. Овладение ядерной энергией в перспективе позволит долгие годы обеспечивать энергией цивилизацию, но вместе с тем породило опасность ядерной войны, проблему захоронения отходов атомных станций. Успехи генетики решают проблемы получения высоко эффективных сельскохозяйственных сортов растений и пород животных, но угрожают человечеству вольным или невольным созданием болезнетворных видов бактерий и микробов, против которых человеческий организм не сможет бороться. Стремление к сиюминутным улучшениям качества жизни человека порождает многочисленные экологические проблемы. Поэтому резко возрастает роль гуманитарных наук, задача которых состоит в воспитании в человеке духовных ценностей, понимания его места в природе, ответственного отношения к ресурсам Земли, которые должны служить не только нынешнему поколению, но и всем будущим.

Наука только одна из сфер культуры человечества, имеющая свою специфику; она не должна претендовать на роль высшей ценности человеческой цивилизации. В гармонически развитом обществе должны иметь свое место наука, искусство, философия, религия. С этой точки зрения наука есть часть общечеловеческой культуры, представляющая совокупность объективных знаний об окружающем нас мире.

Достижения науки и основанные на них производственные процессы достигли такой стадии, что влияют на саму материальную основу жизни человечества - природу Земли. Изменение климата, вызванное производственной деятельностью, создание растений и животных методами генной инженерии являются примерами того, как человек вмешивается в естественные процессы, протекающие на Земле.

Скорость процессов, инициированных деятельностью человека, как направленных сознательно на изменение каких-то характеристик окружающей среды, так и являющихся нежелательными последствиями его деятельности, намного превышает скорость естественных эволюционных процессов. Природа действует методом проб и ошибок, но в ней ошибки влияют только на судьбу отдельного представителя или ограниченного числа видов животного мира, не затрагивая заметно всего сообщества живых существ. Так как человек сам стал осуществлять ряд функций ранее принадлежащих природе вся ответственность за неизбежные ошибки и их последствия лежит на нем. Но поскольку эту власть над природой человеку дала наука, то можно все отрицательные последствия прогресса возложить на науку, что порождает с неизбежностью вопрос об отношении человечества к науке и о разрешенных и

запретных областях научного исследования. Эти вопросы не относятся к сфере собственно науки, а являются вопросами этики, морали, философии, которые в свою очередь относятся к гуманитарной сфере деятельности человечества.

Отсюда возникает представление о двух культурах, созданных человечеством - комплекс естественных наук и комплекс проблем, решаемых гуманитарными науками, искусством и религией. Действительно, разъяснение целей, поставленных наукой перед собой, и смысла полученных ею результатов представителями естественных наук остальному человечеству - нелегкая задача, учитывая, что современные научные достижения основываются на представлениях, не имеющих аналогов как в полученном человеком комплексе знаний в образовательном процессе, так и в житейском опыте обычного человека. Поэтому, кроме чисто научных задач, перед научным сообществом стоит необходимость проведения просветительской работы для информирования общества о достижениях и целях проводимых исследований. Эта задача становится все более актуальной, так как проведение исследований потребляет заметную долю материальных ресурсов человечества, которая могла бы быть использована непосредственно на удовлетворение его потребностей.

Примером такой дилеммы является вопрос о согласии общества на выделение весьма больших сумм на строительство ускорителей частиц на еще большие энергии. С точки зрения науки такое строительство необходимо для исследования строения материи на самых глубинных уровнях, что может дать новые фундаментальные данные для понимания принципов строения нашего мира. Однако наука не может гарантировать того, что эти знания приведут к существенному улучшению качества жизни человечества. Более того, как неоднократно бывало в истории, новейшие открытия науки использовались во вред человечеству. Создание биологического, химического, ядерного оружия являются примером этого.

Однако винить только науку в этих бедствиях человечества вряд ли справедливо: решение о создании и применении такого оружия принималось политиками - представителями гуманитарной сферы деятельности человечества. С другой стороны, снимать ответственность с ученых за последствия их разработок также нельзя. Выход из такой ситуации может лежать во все большем взаимодействии представителей двух культур, во взаимном разъяснении и согласовании основополагающих ценностей и целей, которые должны достигаться человечеством.

Очень опасно появление ученых, лишенных моральных устоев, считающих, что они несут ответственность только перед самой наукой. Эта ответственность, с их точки зрения, состоит только в добросовестном получении нового знания, но ответственность за возможные последствия при использовании их открытий не может быть возложена на них. Лучшие представители мировой науки очень ясно осознавали свою ответственность за использование полученных ими результатов. Примером может служить борьба Эйнштейна против использования ядерной энергии в военных целях. Вся ядерная энергетика основана на соотношении  $E = mc^2$ , связывающем массу и энергию, полученным Эйнштейном, и в этом смысле он ответственен за последствия использования ядерной энергии. Однако не следует думать, что добровольный отказ от продолжения исследований в потенциально опасной для человечества области науки отдельным исследователем может решить проблему.

История науки показывает, что, как правило, несколько ученых либо одновременно совершали такие открытия, либо один из них опережал других на исторически малый промежуток времени и, не совершив этого открытия, оно неизбежно было



бы сделано другим. Такова внутренняя логика развития науки. Поэтому необходимо овладение учеными - естествоиспытателями основ гуманитарных знаний и принятие сообществом ученых принципов безопасного развития человеческого общества.

Не менее важным представляется задача понимания роли науки представителями человечества, не принадлежащими к ученым. Можно, испугавшись тех отрицательных последствий, которые несет ядерная энергетика, прекратить ее использование. Но использование только невозобновляемых ископаемых ресурсов для этих целей, в конечном счете, бесперспективно - эти ресурсы иссякнут в исторически короткие сроки. Выход один - обществу и представителям науки совместно разработать стратегию развития создания источников энергии, выделить необходимые средства для ее реализации учеными.

Примеров таких противоречий между выгодой и вредом, возникших в результате использования новых технологий, предложенных наукой, можно приводить еще множество. Единственный путь решения этих проблем лежит во все большем понимании ценностей, сформулированных этими двумя культурами, представителями этих культур и во взаимном согласовании целей и методов развития человечества.

## Основные выводы.

1. Естественнаучные концепции являются плодом развития науки и практики, непрерывно происходящего в человеческом обществе.
2. В гармонически развитом обществе должны иметь свое место наука, искусство, философия, религия. Наука есть часть общечеловеческой культуры, представляющая совокупность объективных знаний об окружающем нас мире.
3. Производственные процессы, основанные на достижениях естественных наук, влияют на саму материальную основу жизни человечества - природу Земли.
4. Проблемы, связанные с определением ответственности естественных наук за негативные последствия применения их достижений, решаются этикой, моралью, философией, т.е. науками, относящимися к гуманитарной сфере. Это порождает сосуществование двух культур: естественнаучной и гуманитарной.
5. Решение проблем, порождаемых развитием науки, состоит во взаимном согласовании целей и методов развития человечества представителями этих двух культур.

## 3 Основные этапы развития научных представлений о мире.

Наука появляется тогда, когда человек начинает задавать наиболее общие вопросы. В таком случае, какова форма этих вопросов? В широком смысле слова они равносильны поиску закономерности там, где обычный наблюдатель видит лишь ряд случайностей, случайные события. Посмотрим, когда появляется понятие закона. Человек, согласно Аристотелю, существо политическое. Он живет не сам по себе,

а в обществе. Даже на самом примитивном уровне это предполагает элементы организованности; отсюда выводится понятие порядка. Порядок - это прежде всего и больше всего, социальный порядок, который регулируется принятыми всеми членами общества правилами или законами.

Вместе с тем, человечество на самой ранней стадии своего развития заметило закономерности в природных явлениях. Некоторые регулярные изменения в природе, такие, как смена дня и ночи, периодичность времен года, были, без сомнения, обнаружены человеком очень давно и требовали объяснения причин их возникновения. Впервые эти изменения человек осознал по-своему, так как объективные научные знания отсутствовали, их заменили вымышленные причинные связи явлений - мифы. Небесные тела - боги, силы природы - духи, созданные человеком в его воображении.

Проблема выживания состоит в том, что человек должен попытаться направить силы природы на свои нужды. Прежде чем это стало осуществляться способами, которые мы можем назвать научными, человек пытался это делать при помощи не научных методов, а, например, колдовства или обращения к божеству. Так колдовство - это попытка получить определенные результаты на основе строго выполняемых ритуалов. Оно основано на признании принципа причинности, который заключается в том, что при одних и тех же заданных условиях и последующих действий будут получены одни и те же результаты. Этот же принцип используется и в науке. Колдовство, таким образом, - это преднаука, т. е. это некая система представлений о мире, и в этом смысле это концепция.

Религиозная концепция построена на других понятиях о законах, управляющих миром. Это выражается в вере в сверхъестественные явления - чудеса, т.е. события, нарушающие естественную причинную связь явлений. Здесь мы видим попытку получить результаты против или несмотря на регулярную последовательность событий. Религия действует в области сверхъестественного, и это означает уничтожение причинности. Таким образом, эти два способа мышления совершенно различны, хотя обыденное мышление часто смешивает их.

Всякая человеческая цивилизация строила свою концепцию строения мира. История развития человечества знает периоды существования различных цивилизаций. Любая цивилизация занимается поиском истины. Люди всегда пытались понять сущность явлений природы, установить связи между различными природными явлениями, решить загадку появления жизни на Земле, понять смысл жизни и предназначение человека на Земле. Если обратиться к решению этих мировоззренческих проблем древними цивилизациями, то мы увидим, что во всех цивилизациях, за исключением одной, ответы на эти вопросы формулировались в виде религиозных учений, сказаний и мифов.

Единственным исключением является греческая цивилизация, которая совершила, быть может, самое важное из открытий, сделанных людьми. Греки поняли, что человек наделен разумом, способностью мыслить, что дает ему возможность, опираясь на наблюдение, опыт, открывать истины.

Естественно, что такой взгляд на способ получать ответы на вопросы, возникающие у пытливых умов, возник у древних греков не сразу, а в процессе многовекового развития их цивилизации.

Но известно, что историческим центром рождения цивилизации и культуры, явился Древний Восток. Тогда почему же именно Греции отдается приоритет рождения науки?

По сравнению с другими мировыми цивилизациями греческая появилась довольно поздно. Цивилизации Египта и Месопотамии старше ее на несколько тысячелетий. Эти земледельческие общества возникали вдоль великих рек. Ими управляли обожествленные цари, военная аристократия и влиятельный класс жрецов, которые возглавляли развитую религиозную систему многобожия - политеизм. Основная масса населения - рабы - обрабатывала землю.

И Египет, и Вавилон обладали некоторыми знаниями, которые греки позднее переняли у них. Но ни в той, ни в другой стране не развились наука или философия. Все концепции, объяснявшие природные явления, являлись составной частью религии.

В Египте религия большей частью была направлена на объяснение жизни после смерти. Пирамиды - это надгробные памятники. Некоторое знание астрономии было необходимо, чтобы эффективно предсказывать паводки на Ниле, и влиятельное жречество поддерживало одну из форм письменности - пиктографию. Но больших возможностей для развития в других направлениях там не было.

В Месопотамии религия больше интересовалась достижением благоденствия в этом мире. Наблюдение за движением звезд и предпочтение колдовства и предсказаний были направлены к этому.

Для восточных цивилизаций характерно получение конкретных знаний в области математики, астрономии на основе практического опыта. Это знание представляло набор практических рецептов, не подлежащих сомнению и улучшению. Хотя эти знания и были получены отдельными личностями, но как система знаний они считались дарованными Богом, а посему не подлежащими сомнению. Носителями знания были жрецы и передача знаний следующим поколениям происходила только внутри этой касты жрецов и состояла в пассивном запоминании этих рецептов и правил. Этот способ хранения знаний характеризуется его передачей членам одной касты, здесь отсутствует роль индивида в этом процессе, а его место выполняет коллективный хранитель группового знания. В процессе накопления знаний главной их особенностью было то, что они все носили прикладной характер.

Основное их предназначение состояло в использовании их для решения конкретных повседневных задач (составление календарей для определения начала тех или иных сельскохозяйственных работ, измерения площадей земельных участков и т.п.), для применения в религиозных ритуалах, имевших важное место в повседневной жизни.

Эти знания не претендовали на фундаментальность, не создавались теории явлений. Если и проявлялся интерес к астрономии, то только потому, что нужно было определять время разлива рек, составлять гороскопы. Движения небесных светил управляются Богами, поэтому бессмысленно и даже кощунственно пытаться искать причины их движения. Хотя древние цивилизации умели решать достаточно сложные задачи (например, квадратные и кубические уравнения, алгебраические уравнения), но отсутствовала система, общий подход к решению однотипных задач, система доказательств. Эти знания были сводом профессиональных тайн в виде правил и рецептов, применение которых давало нужный результат, но почему это происходило, не интересовало их обладателей.

Каковы же качественные различия между греческой и восточными цивилизациями, которые привели к возникновению науки только в первой? Одно из возможных объяснений состоит в том, что только в греческой цивилизации появилась частная

собственность, Во всем остальном мире существовал другой тип государства - восточная деспотия: власть принадлежит верховному правителю и чиновникам различных рангов. Командно-административная система подчиняла себе все институты этого общества. Человек в таком обществе полностью зависит от воли правителя и чиновников, отношения с которыми не могут быть построены на логической и рациональной основе. В свою очередь эти отношения рождают у людей такие черты как фатализм, отказ от попыток рационального способа постижения мира, мистицизм.

Иные отношения сложились в Греции первой трети первого тысячелетия до н.э. Там появилась частная собственность, товарное производство, ориентированное на рынок. Форма правления состояла в слабой централизованной власти и сильном самоуправлении общин. Экономической основой общества стало рабство. Существование частной собственности привело к развитию системы демократического самоуправления с правом и обязанностью каждого гражданина принимать участие в общественных делах, системы гарантий собственности и прав гражданина, прав личной свободы и достоинства. Отношение к закону как демократической норме, принятой большинством в процессе совместного обсуждения, приводило к развитию ораторского искусства для убеждения противников и вводило использование аргументации для доказательства своей правоты. Истина появлялась не как продукт догматической веры, а как результат рационального доказательства, основанного на логике, аргументах и понимании. Хотя в обыденной жизни присутствовала вера в судьбу, во влиянии богов на нее, в вопросах познания все иррациональные причины исключались.

Этот подход к общественной жизни сформировал у греков аппарат логического рационального обоснования, который затем был распространен как универсальный метод производства знания в целом и как способ передачи знания от индивида обществу. Рабовладение сформировало образ мыслей древних греков, для которых достойным свободного гражданина являлось созерцательное, абстрактно-умозрительное отношение к действительности, а практическая деятельность, направленная на удовлетворение жизненных потребностей, считалась уделом рабов. Наука, как занятие свободного человека, противопоставлялась ремеслу - занятию рабов.

Это противопоставление порождало идеализацию - очень важную черту науки. Возникает абстрагирование, состоящее в выделении наиболее существенных признаков явления, что также является важным приемом в арсенале науки. Таким образом, в древней Греции возникли формы познавательной деятельности, явившиеся основой для возникновения науки, такие, как доказательство, рациональное обоснование, идеализация, абстрагирование, логика. Существенным недостатком нарождающейся науки явился отказ или недостаточное использование эксперимента, как метода получения знаний. Это вызывалось пренебрежением к практической деятельности, свойственной свободному гражданину, а только он и мог заниматься наукой.

В XXII - XII вв. до н.э. научные представления о механизме природных явлений и сил в природе отсутствовали и их заменяли мифы, в которых божества олицетворяли силы природы. Миф - это отражение реальности в фантастическом виде тех или других одушевленных существ. Миф связывает человека с двумя мирами - реальным и божественным, отчужденным от обыденного мира. Мифологическое мышление необходимо человеку, оно дает ему указания на нормы поведения в общественной жизни, формирует его отношение к силам природы. Оно обладает своей внутренней стройной логикой, только это не научная логика. Наука использует разум человека, а миф

опирается еще и на чувства, эмоции, он в большей степени опирается на внутренний мир человека. Миф не видит границ между реальным и нереальным, объективным и субъективным, что недопустимо в научном подходе.

К VIII - VI в. до н.э. появляются различные философские системы, претендующие на описание природы уже не на основе традиционных верований в божества, а как на гармонически устроенную, саморазвивающуюся и саморегулирующуюся систему. Этот подход близок к стихийному материализму. Впервые его развивали Фалес, Анаксимандр и Анаксимен, все трое были жителями Милен.

Они утверждали, что Вселенная не создана никем из богов и никем из людей и должна существовать вечно. Законы, управляющие миром природных явлений, доступны человеческому пониманию, в них нет ничего мистического, непостижимого. Таким образом, был сделан первый шаг на пути от религиозно-мифологического восприятия окружающего мира к его постижению средствами человеческого разума. Естественно, что те представления о природе вещей, которые развивали эти философы, не могли дать достоверную картину природы. Значение их идей в развитии науки состоит в том, что они заложили методологические основы процесса познания. Особенно ценным является развитое ими положение о том, что основой всякого знания является опыт, эмпирические изыскания и наблюдения.

Научная система, развивавшаяся древними греками, получила название натурфилософии. Натурфилософия - изучение природы путем наблюдения за природными явлениями и установления чисто логическим путем причинно-следственных связей между явлениями. Основа натурфилософии - созерцание, умозрительное истолкование природы, рассматриваемое в ее целостности. У греков созерцание не случайно ставилось выше деятельности, даже деятельности государственного человека, которую так уважали в греческих республиках; созерцание приобщает человека к тому, что вечно есть, к самой сущности природы. Натурфилософия - исторически первая форма философии, которая заменяет неизвестные еще действительные связи явлений идеальными, фантастическими связями и замещает недостающие факты вымыслами. При этом ею были высказаны многие гениальные догадки и предугаданы многие позднейшие открытия, но было совершено и много ошибок при объяснении природы явлений.

В V в. до н.э. продолжается развитие натурфилософии, и основная задача, решаемая ее представителями, состоит в построении всеобъемлющей космогонической системы. Одно из главных мест в таких системах занимали поиски первичных элементов. Одни философы считали, что существует единственный первичный элемент (у Гераклита это огонь), другие полагали, что их несколько (у Эмпедокла это огонь, воздух, земля, вода).

Развитие этих идей привело к появлению атомистической философии, суть которой состоит в утверждении существования пустоты и движущихся в ней атомов. Под атомами понимались малые, неделимые частицы, качественно однородные и неизменяемые, но различные по форме и размерам. Соединения этих атомов и образуют все вещества, а стало быть, и предметы. Эти воззрения являются предтечей современного подхода к пониманию строения вещества.

Натурфилософия древних греков не основывалась на результатах обширных и тщательно проведенных исследований. Но их огромной заслугой явилось смелое заключение о том, что миром управляют не боги, не мистические силы. Они предложили материалистическое объяснение мироздания и природных явлений. Конечно, так

как сумма накопленных к этому времени знаний была еще мала, они строили картину мира в целом, минуя промежуточные этапы. Их понимание мира сформулировал Анаксагор в словах "Разум правит миром".

Решающим шагом на пути устранения ореола таинственности, мистицизма, окружавшем явления природы, явилось применение математики. Этот шаг также потребовал от древних греков не меньшей смелости и прозорливости, чем решение об использовании человеческого разума для понимания мироздания. И поэтому они высказали глубокую идею о том, что мир построен по математическому плану. Эта идея жива до сего времени и обсуждается в различных аспектах и в настоящее время.

Каким же путем греки пришли к мысли, что природные явления должны описываться математическими закономерностями. Первой научной школой, предложившей свой вариант "математизированного плана" строения Вселенной были пифагорейцы, возглавляемые Пифагором Самосским. Отправной точкой в их учении было наблюдение факта, что весьма различные в качественном отношении явления обладают одинаковыми математическими свойствами. Отсюда следует их вывод о том, что именно математические свойства выражают сущность вещей, или, выражаясь более точно, сущность явлений состоит в числе и числовых соотношениях. Именно пифагорейцы начали рассматривать числа как абстрактные понятия, а уже затем реально существующие объекты как конкретную реализацию этих чисел.

Наиболее известной реализацией ими этой идеи является сведение музыки к простым отношениям чисел. Они совершили два открытия: первое - высота тона, издаваемого колеблющейся струной, зависит от ее длины; второе - гармонические созвучия издают одинаково натянутые струны, длины которых относятся как целые числа. Например, гармонические созвучия издают две одинаково натянутые струны, одна из которых вдвое длиннее другой. На современном языке интервал между тонами, издаваемыми двумя такими струнами, называется октавой. Другое гармоническое созвучие издают две струны, длины которых относятся как 3:2. В этом случае более короткая струна издает ноту, которая на квинту выше тона, издаваемого более длинной струной. Пифагорейцы разработали знаменитую музыкальную шкалу.

По их мнению, тела, двигаясь в пространстве, издают звуки, тон которых тем выше, чем быстрее движется тело. Планеты также издают звуки, и тон этих звуков зависит от скорости движения планет, который тем выше, чем дальше от Земли планета. Звуки, издаваемые планетами, образуют гармоническое созвучие. Но эта "музыка сфер" подобно всякой гармонии сводится к числовым отношениям. Почему же мы не слышим эту музыку? А просто потому, что мы привыкли к ней с рождения и не замечаем ее. Число 10 считалось у пифагорейцев идеальным числом и символизировало Вселенную; отсюда следует, что в небесах должно быть ровно десять тел. Им были известны восемь небесных тел: Земля, Солнце, Луна и пять планет, чтобы их было десять, они ввели центральный огонь, вокруг которого вращаются восемь тел и дополнили до десяти число небесных объектов, введя Противоземлю, расположенную по другую сторону от центрального огня. Не видим же мы центральный огонь и Противоземлю, потому что их закрывает от нас поверхность Земли.

Это достаточно фантастическая картина строения Вселенной, имеющая мало общего с реальным положением дел. Историческая ценность ее состоит в идее о том, что управляет Вселенной не Зевс, а некие, объективно существующие числовые соотношения, постичь и объяснить которые способен человеческий разум.

Таким образом, несмотря на то, что натурфилософия пифагорейцев не могла не

приводить к утверждениям, не согласующимися с реальностью, она содержала два положения, сохранившие свою значимость при всем дальнейшем развитии науки. Первое положение - основополагающие принципы, на которых основано мироздание, можно выразить на языке математики; второе - все явления природы и процессы, происходящие в ней, содержат какие - либо числовые соотношения, которые выражают гармонию и порядок природы.

В IV в. до н.э. были созданы две самые известные философские системы, оказавшие влияние на развитие и становление науки на столетия вперед, - Платона и Аристотеля.

Наиболее известным и важным для развития философии был тезис Платона о том, что реальный окружающий нас мир - лишь приблизительное отражение истинного мира идей, а сами идеи и понятия от природы присущи нашему сознанию, неотделимы от него. Эти идеи находятся вне времени и пространства, наше общение с ними состоит в постижении их разумом, который и связывает два мира - реальный (существующий) и потусторонний (мир идей). Тела и отношения в материальном мире несовершенны, преходящи и тленны. Истины существуют в идеальном мире, они абсолютны и неизменны. Именно эти истины и следует рассматривать философу. О физическом мире мы можем иметь только мнения. Видимый, чувственный мир - не более чем смутная, расплывчатая и несовершенная реализация идеального мира.

Платон утверждал, что реальность и рациональность физического мира могут быть постигнуты только с помощью математики идеального мира. То, что идеальный мир подчиняется математическим законам, не вызывает у него сомнений. Платон пошел дальше пифагорейцев в том, что хотел не только понять природу с помощью математики, но заменить математикой природу. Это значит, по мнению Платона, что если удастся открыть основные истины, то, зная их, можно построить с помощью математики все остальное, то есть объяснить любые природные явления. В этом случае физическое исследование природы было бы излишним. Например, истинная астрономия должна заниматься изучением истинных звезд в математических небесах, несовершенным подобием которых является видимое небо. Астрономические наблюдения нужны только как способ получения вспомогательных чертежей, облегчающих поиск высших истин.

Заметим, что эта платоновская концепция в каком-то виде дожила до наших дней. Теории, претендующие на объединение всех известных взаимодействий, строят такую модель, в которой все эти взаимодействия являются проявлением одного и того же взаимодействия, но это их объединение происходит при такой большой энергии взаимодействующих частиц, которая намного превышает достижимую на современных ускорителях.

Считается, что именно Платон разработал метод доказательств, положенный в основу математики.

Аристотель, в отличие от своего учителя Платона, полагал, что материальный мир первичен, а мир идей вторичен. Подлинное знание достигается на основе чувственного опыта с помощью интуиции и абстрагирования. Математика играет вспомогательную роль в изучении природы при описании таких внешних свойств, как форма и размеры. Кроме того, математика помогает объяснять причины тех явлений, которые можно наблюдать в материальном виде. Например, геометрию можно использовать для объяснения наблюдений в области оптики или астрономии, а арифметические пропорции могут объяснить природу гармонии в музыке. Но ма-

тематические принципы заведомо являются абстракциями явлений реального мира, и поэтому применимы к нему. Человеческий разум способен строить на основе чувственных ощущений идеализированные свойства физических объектов (абстракции); созданные таким способом абстракции с необходимостью должны быть истинными.

Большая заслуга Аристотеля в истории науки состоит в том, что он являлся первым ученым - энциклопедистом, собравшим и систематизировавшим в своих сочинениях все достижения греческих ученых, полученные к IV в до н.э. Взгляды Аристотеля господствовали в науке вплоть до XVII в.

Походы Александра Македонского познакомили греков с научными достижениями Востока. Особенно большой объем новых знаний они получили в области астрономии, ознакомившись с трудами вавилонских ученых V - IV в до н.э. Аристарх из Самоса (310 -230 гг. до н.э.) выдвинул гипотезу о том, что Земля и планеты вращаются вокруг Солнца по круговым орбитам. Эта гипотеза не получила признания. Людям той эпохи казалось невероятным, что Земля движется, ведь в этом случае считали они, например, тяжелые предметы, падая с высоты, отставали бы от поверхности Земли. Точка приземления отклонялась бы к востоку от точки начала падения. Наука признала принцип относительности движения спустя два тысячелетия. Этот принцип, сформулированный Галилеем, утверждает, что механические явления не зависят от того, неподвижна или равномерно движется система, с которой связаны тела. Неприятие гелиоцентрической системы привело к тысячелетнему господству неверной геоцентрической системы Птолемея.

В эту эпоху начинается дифференциация до этого слабо расчлененного комплекса научных представлений на отдельные науки: отчленяются от философии и зарождаются как особые науки математика, астрономия, ботаника, география, медицина, филология.

Достижения античной науки являются той основой, на которой выросла современная наука. Однако тогдашняя наука использовала эксперимент в очень ограниченной мере, что можно объяснить уровнем развития техники, не способной создать точные инструменты, необходимые для проведения опытов. Но в тех областях, где экспериментирование было возможно, античные ученые проводили опыты. Особенно это относится к медицине, где были получены многие сведения об организме человека и животных. Именно врач Секст Эмпирик сформулировал необходимые для науки условия получения новых знаний - наблюдение, опыт и метод обобщения.

Достижения античной науки ограничено применялись на практике, в материальном производстве. В качестве примеров использования можно упомянуть математику, несомненно, употреблявшуюся при конструировании грузоподъемных механизмов, метательных и водонапорных машин. Достижения геометрии использовались на практике для измерения площадей участков земли, при планировке городов, военных лагерей.

Наше рассмотрение становления науки в ходе исторического развития человечества ограничено рассмотрением греческой цивилизации. А что можно сказать о вкладе в этот процесс других древних культур? Несомненно, большие достижения в этом смысле были у многих других исчезнувших цивилизаций, среди которых выдающаяся роль принадлежит культурам древнего Египта и Вавилона. Эту роль мы рассмотрим позднее. Но есть принципиальное отличие в понимании роли науки у этих цивилизаций и греков, которое мы продемонстрируем на примере математики.

Математика, в широком смысле слова понимаемая как всевозможное использова-



ние чисел и геометрических фигур, была разработана за несколько тысячелетий до того, как ее стали использовать греки. Но у всех древних цивилизаций математика предназначалась только для решения самых непосредственных практических задач, таких как составление календарей, определение сроков полевых работ, проведение финансовых операций и т.п. В арсенале математики был набор простых правил, которые были получены методом проб и ошибок, верных только приближенно. Такая математика называется эмпирической, она является предтечей математики как науки, которую и создали греки.

Греки видели в математике инструмент, с помощью которого можно постичь строение Мира, так как Мир построен по некоему математическому плану. В поисках этого плана нельзя было ограничиться грубыми эмпирическими правилами, полученными до них египтянами и вавилонянами. Необходимо было построить математику как свод абсолютных истин и разработать правила математических рассуждений (или, как сказали бы мы сейчас, правил математических доказательств), которые приводили бы к неоспоримым заключениям. Реализуя эту программу для математики, греки заложили методологию науки вообще, которая входит как составная часть в современную науку.

Первый принцип, которого придерживались греки, состоял в том, что математика должна иметь дело с абстрактными понятиями, охватывающими существенные черты всех физических реализаций этого понятия. Например, математическая прямая должна в равной степени описывать наиболее существенные свойства натянутых нитей, границ земельных участков, траекторий лучей света. Следовательно, математическая прямая не должна иметь толщины, цвета, какой либо структуры. Основные абстрактные понятия греков - точка, прямая, целое число. Остальные понятия, например, треугольник, окружность можно выразить через них.

Второй принцип состоял в утверждении существования аксиом - истин, столь очевидных, что в справедливости их усомниться невозможно.

Из аксиом с помощью логических рассуждений выводятся заключения. Греки превратили математику из набора неясных, эмпирических, разрозненных правил в обширную, систематическую и глубокую науку. Однако не следует считать, что греки занимались математикой ради математики. Их главной целью было изучение природы, и этой цели было подчинено все. Так, например, геометрия требовалась при изучении строения космоса, и сферическая геометрия была создана для нужд астрономии. Заметим, что у греков слово сфера имело смысл не только как обозначение шара, но и как термин, обозначающий раздел науки - астрономию.

Суммируем достижения человеческой цивилизации, накопленные к концу классического периода. Величайшее достижение было достигнуто в астрономии. Была построена трудами многих ученых так называемая птолемея система мира, Это была модель, которая предполагала, что Солнце и планеты вращаются вокруг Земли. Она основывалась на довольно сложной математической модели, но объясняла видимое движение планет и была способна предсказывать время наступления лунного затмения с точностью одного - двух часов, время солнечного затмения предсказывалось менее точно. Были заложены основы механики - науки, изучающей движение тел под действием сил. Аристотель систематизировал достижения механики в своем труде "Физика основные положения которой использовались в течение двух тысячелетий, пока ее не сменила механика Ньютона. Были заложены основы оптики. Эмпедокл (490 г. до н. э.) высказал априорное утверждение, что свет распространяется с ко-

нечной скоростью. Греки знали законы отражения света от плоских и сферических поверхностей. Архимед явился основоположником гидростатики. Птолемей изложил сведения по географии в труде "География" в восьми томах. В ней содержались широты и долготы для восьми тысяч пунктов на поверхности Земли, которые совпадают со значениями, используемыми в настоящее время. Птолемей изложил методы построения карт, которые применяются и в современной картографии. Греки имели достижения и в области медицины и физиологии, напомним имена Гиппократ и Галлея.

Признавая вклад в возникновение науки цивилизаций, отличных от греческой, мы все же считали, что основной вклад принадлежит греческой. Однако существует и другая точка зрения на соотношение вкладов греческой и египетской культуры в возникновение науки. Известный российский математик В.И. Арнольд отдает приоритет в этом вопросе египтянам. Он ссылается на Ньютона, который утверждал, что вывод законов, описывающих траектории движения планет, исходя из обратной пропорциональности силы притяжения квадрату расстояния между притягиваемыми телами, был известен египтянам. Они содержались в книгах Александрийской библиотеки, сгоревших в пожаре. Свою роль Ньютон сводил к восстановлению этих знаний. Однако заметим, что ссылки на древних были исключены Ньютоном из его книги во втором издании.

Греки перенесли знания египтян в Европу. Носителями знаний в Египте были жрецы, знания составляли их секрет. Освоение их другими было возможно, но лишь при обязательстве неразглашения их. Египетские жрецы в своих священных книгах указывают, что в разное время Египет посетили поэт Гомер, Ликург, Солон, Платон, Пифагор и многие другие известные греки. Пифагор провел в Египте 20 лет и перенес в Грецию большой объем математических знаний. В частности, способ передачи знаний в виде устных бесед с учениками в его академии объясняют тем, что Пифагор в свое время обязался египетским жрецам не публиковать полученные от них научные сведения.

Египетские ученые обладали большим объемом научных знаний. Так, например, египтяне вычислили радиус Земли с точностью в 1%. Позже греки, которые не доверяли полностью засекреченной египетской науке, сами определили радиус Земли, но их значение отличается от истинного значения вдвое. Когда в средние века Колумб рассчитывал количество воды, которую нужно было запасти для достижения Индии, он пользовался значением радиуса Земли, вычисленным египтянами. Португальская королева поручила ученым провести экспертизу проекта Колумба. Они использовали греческое значение радиуса Земли. В результате проект Колумба был отвергнут на том основании, что невозможно построить такой большой корабль, который может вместить необходимое количество воды. И только благодаря настойчивости Колумба, он получил разрешение проделать свой эксперимент с большой вероятностью погибнуть от недостатка пресной воды.

Евклид, живший на много столетий позже Пифагора, не был связан обязательствами перед египтянами. Поэтому он использовал египетские математические тексты при написании учебника геометрии для греческих учеников. Отличие подхода египтян к построению геометрии состояло в том, что они не заботились о независимости аксиом, положенных в основу, друг от друга. Евклид сократил исходный текст, выделил независимые аксиомы и включил в них знаменитый пятый постулат о параллельных прямых. Содержание этого учебника вплоть до настоящего времени

в основных чертах повторяется в учебниках геометрии.

В монографии "История математики с древнейших времен до начала XIX века" (изд. Наука, 1970) так суммированы достижения древнейших цивилизаций Египта и Вавилона в области математики.

В древнем Египте математика представляла собрание правил для численного решения простейших арифметических, алгебраических и геометрических задач. Многие решения находились методом проб и ошибок и их применение требовало громоздких вычислений. Во втором тысячелетии до н.э. начинают вырабатываться приемы геометрических и арифметико-алгебраических преобразований, что является составной частью математической дедукции. Греки признавали, что многие начальные сведения приобретены ими при посещения Египта.

Математика в древнем Вавилоне достигла более высокого уровня, чем в древнем Египте. Здесь впервые возникла позиционная система записи чисел (похожая на современную десятичную систему), разработаны методы решения линейных и квадратных уравнений, была открыта теорема Пифагора, рассматривались свойства правильных многоугольников, решались первые задачи из теории чисел.

Научное наследие этих цивилизаций было освоено древними греками, которые преобразовали математику из совокупности отдельных правил и приемов в совокупность стройных дедуктивных систем, которая и явилась началом математики как науки. Но оставив вопрос о приоритете в научных достижениях, можно утверждать, что многие цивилизации внесли свой вклад в массу научных знаний, составляющих достояние всего современного человечества. При этом подход к извлечению и использованию научных знаний, у каждой цивилизации имеет свои особенности.

В этот период (первое тысячелетие н. э.) большой вклад в развитие математики внесли арабы и индусы. Они освоили греческое наследие и развили его. Они ввели новые, верные правила счета для иррациональных чисел, понятие об отрицательных числах, признание нуля полноправным числом, ввели десятичную систему. Индусы и арабы больше развивали арифметику и алгебру, причем их подход в отличие от греков был более эмпирическим, они не всегда доказывали правильность предлагаемых методов, оставив это следующим поколениям.

Развивались и отдельные разделы физики: геометрическая оптика, статика, гидравлика.

Сменившая греческую римская цивилизация не внесла сколь-либо заметного вклада в развитие наук. Римляне использовали достижения греков в области естественных наук в прикладных целях. Но римляне оставили из достижений греческой науки лишь то, что, по их мнению, имело практическое применение. Это имело пагубные последствия для развития науки - на тысячелетие было остановлено развитие науки, прекратилось получение новых фундаментальных знаний. В Европе в течение тысячелетия развиваются только прикладные науки. Интерес к фундаментальным наукам возобновляется только в эпоху Возрождения.

Античность сформулировала первые научные программы (V-III вв. до н. э.), в число которых входили геометрия Евклида, механика Архимеда, астрономия Птолемея (если называть только самые крупные достижения).

В противоположность античности средневековые никакие радикально новых фундаментальных научных программ не создало. Средневековая наука предложила целый ряд интерпретаций и уточнений как в области математики, особенно оптики (последняя входила в состав математических наук), так и в области физики (прежде

всего механики). Средневековье создало целый ряд новых понятий и методов исследования, которые, хотя и разрабатывались в рамках античных программ, тем не менее, постепенно разрушали их изнутри, подготавливая тем самым почву для создания механики нового времени.

У греков научное знание рассматривалось как нечто само по себе ценное, как самоцель: познание истины ради самой истины, а не только ради тех практически полезных результатов, которые могут быть получены с помощью науки, - вот пафос Архимеда, Птолемея и их современников.

В средние века вопросы, связанные с истиной, решались не в науке и даже не в философии, а в теологии. И лишь постепенно, к концу XII в., мы видим некоторый сдвиг в этом пункте; философское мышление, а рядом с ним, хотя и в меньшей степени, также и научное исследование приобретают пусть и не вполне самостоятельное, но намного большее значение. Что же касается роли науки в период раннего средневековья, то она рассматривалась главным образом как средство для решения практических задач. Не только медицина, которая всегда выполняла практические задачи, но и математика, физика изучались не ради них самих, как мы это видели в античности, а для решения с их помощью прикладных задач. Ученый должен заниматься изучением арифметики и астрономии, чтобы вычислить даты религиозных праздников, прежде всего Пасхи; изучение им приливов связано с развитием мореплавания у берегов, необходимостью найти удобные бухты.

Такая ситуация отнюдь не способствовала развитию науки, и не случайно средневековье не только не дало новых научных программ, но поначалу вообще утратило тот высокий уровень научного мышления, достигнутый в античности.

В силу специфики средневекового отношения к знанию вообще как к интерпретации того, о чем говорится в освященных авторитетом книгах, и в результате отсутствия самостоятельности, научное знание в средние века имеет характерные особенности. Прежде всего, оно выступает, как правило, в форме комментария. На протяжении всего средневековья мы имеем дело с различными комментариями: к работам Аристотеля, Платона и т. д. В форме комментария к этим важнейшим сочинениям Аристотеля велось преподавание соответствующих научных дисциплин в средневековых университетах, возникших в начале XIII в. Преподавание было замкнуто в твердо установленные формы. Само содержание занятий в существенных чертах дано было раз и навсегда. В основе их повсюду лежали книги, имевшие каноническое значение. На богословском факультете нормы даны были Священным писанием и церковной догмой; лишь толкование, систематизация и способ аргументации оставляли для индивидуальной мысли некоторый простор. Содержание лекций на юридическом факультете также было строго нормировано: церковное право изучалось по решениям соборов и римской курии; римское право - по Юстинианову кодексу; здесь тоже дело шло главным образом об интерпретации и систематизации. На факультетах философии и медицины субъективному мышлению предоставлялась, может быть, несколько большая свобода, но все-таки и здесь имелось известное принятое учение, изложенное в одобренных книгах. Творения Гиппократов и Галена на медицинском факультете, Аристотеля на философском были своего рода канонами и изучение их содержания и являлось предметом научных занятий.

В отличие от античности в это время мир не воспринимался как рационально построенный по некоторым законам, которые доступны человеческому сознанию. Считалось, что природа создана Богом для блага человека. Бог всемогущ и он управляет

ходом естественных процессов. Человеку не дано познать божественный замысел, по которому Бог создал мир. Решение любых проблем и объяснение необычных природных явлений следует искать в Священном писании, истолковывая его текст. Поэтому наши знания всегда будут ограничены и возможно существование чудес - явлений, происходящих по воле творца и не подлежащих рациональному объяснению. Все это приводило объективно к упадку науки, так как проблемы истины решались теологией (философским учением о Боге). Роль науки была опять как в древнем Востоке сведена к решению практических задач. Развиваются лженауки: алхимия, астрология, магия, но парадоксальным является факт зарождения в их недрах экспериментальных методов, одной из основ будущей науки.

Ситуация в науке медленно менялась и в XII веке вновь пробудился интерес к античной науке. Начинало использоваться все научное наследие Аристотеля, что привело к столкновению науки с теологией. Разрешением этих противоречий стала концепция двойственной истины - могут существовать естественный разум, способный постичь относительную, но не абсолютную истину, и вера в Бога как источник абсолютной истины. Представления о соотношении между разумом и верой постепенно менялись, пока в эпоху Возрождения разум не был признан более надежным способом получения истинных знаний. Главенствующая роль религии в духовной жизни общества имела и некоторое положительное влияние на развитие методологии будущей науки. Средневековые школы и университеты столетиями развивали нормы логического мышления и искусство аргументации, хоть и в применении к схоластическим религиозным дискуссиям. Но это заложило основы доверия к логическим доказательствам, выработало высокий уровень умственной дисциплины, т.е. того, что и сейчас находится в арсенале научных методов.

Возрождение выработало новый взгляд на место и роль человека в объективном мире. Человек стал пониматься не как природное существо, а как творец самого себя, что и выделяет его из всех прочих живых существ. Античность предпочитала созерцание как способ постижения сущности природы; средние века считали главным деятельностью в нравственно-религиозной сфере, что также является созерцанием. Возрождение же представляло человека творцом мира, красоты, самого себя. Человек подобно Богу, сотворившему мир, создает мир вещей и механизмов. Для такой деятельности человек должен знать законы, управляющие явлениями, и использовать их при построении механизмов. Этот подход формирует сознание, в корне отличающееся от античного: наука не только постижение существующего мира, но и непосредственная практическая деятельность. Отсюда появление таких разносторонних творцов как Леонардо да Винчи - ученый, инженер, художник.

Новый взгляд на мир и человека привел к выдающимся научным достижениям Коперника, Джордано Бруно - обоснованию гелиоцентрической системы, бесконечности Вселенной. Галилео Галилей сформулировал новую научную программу, которая содержала экспериментальный и математический подход к изучению естествознания, разработал методологические и философские принципы науки, которые явились основой дальнейшего развития науки. С предложенного Галилем плана исследования и постижения природы берет начало современная математическая физика. Он утверждал, что природа проста и в высшей степени упорядочена, все ее явления регулярны и необходимы. Она действует в полном соответствии с математическими законами. Божественный разум - источник рационального в природе. При сотворении мира Бог вложил в него строгую математическую необходимость, которую люди пости-

гают лишь ценой больших усилий. Математическое знание превосходит Священное писание, поскольку по поводу последнего существует много споров и толкований тогда, как математические истины бесспорны.

Новаторский подход Галилея состоял в том, что он считал необходимым получение количественного описания явлений, независимо от каких-либо физических объяснений. Пример, мяч падает на землю. Почему он падает? Объяснений и гипотез можно приводить много, и нет способа выбрать правильные. Галилей предлагает оставить поиски объяснений причин падения мяча, а заняться поисками математической формулы, которая предсказывала бы скорость мяча и пройденный им путь в любой момент времени, и он находит ее. Это известные формулы для скорости и пути равноускоренного движения. Они содержат в себе всю информацию о физическом процессе - падении мяча в гравитационном поле. Но важно то, что формула описывает явление, не объясняя причинной связи, т.е. ничего не говорит о том, почему мяч падает. Такой подход, состоящий в поиске математических формул, описывающих явления природы без попыток объяснить природу явления, оказался наиболее ценным на этом этапе при получении знаний о природе. Все выдающиеся научные достижения человечества стали возможны вследствие того, что человечество накопило количественное описательное знание и научилось пользоваться им.

Итак, положительное физическое знание следует отделять от вопросов причинной зависимости, а всякого рода предположения о физических причинах оставить в стороне. Стремление Галилея сосредоточить все усилия на количественном описании явлений было весьма глубокой и плодотворной идеей научной методологии. Смысл ее, по-настоящему уясненный лишь позднее, состоял в том, чтобы науку о природе как можно теснее увязать с математикой. Следующий важный аспект подхода Галилея к науке состоял в утверждении необходимости при исследовании следовать какой-либо математической модели. Он полагал, что можно и нужно найти законы природы, истинность которых будет казаться неоспоримой, они явятся теми аксиомами, из которых логическим путем можно будет вывести другие физические истины. Эти аксиомы должны быть получены в результате созерцания, экспериментирования, наблюдения. Галилей подчеркивал, что если мы хотим установить правильные основополагающие принципы (аксиомы), то необходимо изучать природу, а не следовать тому, что кажется предпочтительным нашему разуму. Он критиковал исследователей и философов, принимавших те или иные принципы на том лишь основании, что они согласуются с их априорными представлениями об явлениях природы.

Галилей проводил эксперименты в современном смысле слова, но не так много. Очень многие его эксперименты - мысленные, т.е. он представлял, каким должен быть результат реального эксперимента, и на основании этого делал вывод.

Основу метода Галилея составляло небольшое число фундаментальных принципов, почерпнутых из наблюдения природы, и широкое использование математических рассуждений. У Галилея было несколько априорных представлений о природе, которые вселяли в него уверенность, что и небольшого числа экспериментов достаточно для выявления первопринципов. Он являлся одним из первых в ряду мыслителей, стоявших у истоков современной науки, к числу которых мы можем причислить Декарта, Гюйгенса, Ньютона, Коперника, Кеплера, подходивших к исследованию природы как математики. Они надеялись постичь широкие, глубокие, но вместе с тем простые, ясные и незыблемые математические принципы, а затем вывести из этих фундаментальных истин новые законы точно таким же образом, каким в самой

математике строится геометрия. Предлагаемый Галилеем план изучения природы включал четыре пункта:

1. получить количественное описание физических явлений и облечь их в математические формулы.

2. выделить и измерить наиболее фундаментальные свойства явлений. Эти свойства, допускающие количественное выражение, надлежало принять за переменные в формулах.

3. построить физику на основе логических рассуждений, использующих фундаментальные физические принципы.

4. при изучении явления прибегать к его идеализации.

Главный вклад Галилея в методологию науки состоит в том, что он направил ее по математическому пути и создал прообраз современной научной мысли. Ньютон, восприняв методологию Галилея, сделал следующий гигантский шаг в развитии науки.

## Основные выводы.

1. Естественнаучные концепции являются плодом развития науки и практики, непрерывно происходящего в человеческом обществе.
2. Наука есть часть общечеловеческой культуры, представляющая совокупность объективных знаний об окружающем нас мире. Наука только одна из сфер культуры человечества. В гармонически развитом обществе должны иметь свое место наука, искусство, философия, религия.
3. Зачатки науки появились в древних восточных цивилизациях. Это знание представляло набор практических рецептов, не подлежащих сомнению и улучшению.
4. Греческая цивилизация исходила из того, что человек наделен способностью мыслить, что дает ему возможность постичь устройство мира. Греки сформулировали глубокую идею о том, что мир построен по математическому плану и задача науки состоит в установлении этого плана.
5. Греки разработали правила математических доказательств, чем заложили методологию науки.
6. Римская цивилизация не внесла сколь-либо заметного вклада в развитие наук. Возрождение выработало новый взгляд на место и роль человека в объективном мире. Человек стал пониматься не как природное существо, а как творец самого себя.
7. Галилей сформулировал новую научную программу, которая содержала методологические и философские принципы изучения естествознания, состоявшие в экспериментальном и математическом подходе к изучаемым явлениям с целью получения количественного описания.

## 4 Методология выявления закономерностей в природе.

Наука начинается с того, что ученые называют данными или наблюдениями, а в обыденной жизни фактами. Например, видимое движение небесных светил в течение времени. На следующем этапе творческое воображение ученого создает объясняющую их теорию или гипотезу. Так, например, мы говорили, что еще в древней Элладе была высказана гипотеза о том, что Земля движется вокруг Солнца.

Существуют различные философские течения, среди которых есть и такие, которые отрицают существование внешнего мира. Сторонники этих взглядов полагают, что существуют только чувственные восприятия, или ощущения, и выводимые из них идеи. Идеи порождаются нашим разумом, и не существует материальных объектов, внешних по отношению к воспринимающему разуму. С этой точки зрения, внешний мир не более реален, чем те искры, которые сыплются из глаз человека, если его ударить по голове.

Не будем далее углубляться в изложение таких философских систем, а примем точку зрения, которой придерживаются ученые, занимающиеся исследованиями в области естественных наук - математики, физики, биологии и других. Основой их подхода является утверждение - внешний мир существует, и его свойства не зависят от ощущений изучающего его субъекта. Это означает, что даже, если бы люди исчезли, то внешний физический мир продолжал бы существовать. Так, мы уверены, что в доисторические времена происходили извержения вулканов, сопровождавшиеся взрывами и выбросами лавы, хотя никто из людей не наблюдал этих явлений и соответственно никто не получал никаких ощущений, вызванных этими явлениями.

Способ постижения внешнего мира базируется на получении ощущений, порождаемых им и воспринимаемых нашими органами чувств и далее обрабатываемых человеческим разумом. Однако органы чувств человека весьма несовершенны и могут вводить нас в заблуждение. Самым ценным из пяти органов чувств является зрение. Но легко привести примеры, когда зрение обманывает нас, заставляя нас делать неверные заключения по увиденной картине. Ошибки свойственны и другим органам чувств. Например, если опустить одну руку в таз с горячей водой, а другую в таз с холодной, а затем опустить обе руки в таз с теплой водой, то та рука, которая была в холодной воде, будет ощущать воду как теплую, а та, что была в горячей, будет ощущать эту же воду как прохладную. Таким образом, для получения правильных данных о наблюдаемом нашими органами чувств явлении необходима обработка этих ощущений разумом с использованием логического аппарата, процесса, являющегося в той или иной степени творческим актом.

Творческое воображение необходимо, так как самый широкий набор данных сам по себе не перейдет в теорию, необходим творческий акт - абстракция и идеализация, т.е. выделение только основных характеристик явления, выявление и устранение искажений данных другими явлениями, не имеющими отношения к изучаемому явлению. Например, все тысячелетиями наблюдали перемещение предметов по поверхности Земли и считали, что для равномерного движения тела необходимо прикладывать к нему постоянную силу. Галилей понял, что наблюдаемое равномерное движение в обычных условиях искажается явлением трения, которое не имеет отношения к рассматриваемому явлению, если представить себе идеализированное



равномерное движение, на которое не действует трение, то такое движение будет продолжаться неопределенно долго.

К сожалению, не существует никакого правила, с помощью которого на основании имеющихся данных можно было бы создавать научные теории. До сих пор, несмотря на все усилия, не удается с помощью самых мощных вычислительных машин разработать программу, создающую теории.

Наиболее эффективным средством познания природы является использование математики. Этот метод познания был предложен древними греками и с тех пор и поныне является основным в научных исследованиях.

Однако для математики метод построения теории значительно отличается по своей методологии от методов, используемых другим естественными науками. Это связано с тем, что в математике мы можем сами конструировать основные объекты, не связывая их с реальными явлениями.

Со времен Евклида в математике полноправно царствует аксиоматический метод, или дедуктивный. Математик строит некую абстрактную, или дедуктивную систему. Это означает следующее.

1) Вводится некоторое число первичных объектов или понятий. Они не определяются, а только называются. Например, в обычной геометрии - это точка, прямая и т.д.

2) Вводятся первичные неопределяемые соотношения (связи) между этими объектами. Например, точка А лежит между точками В и С; или точка А принадлежит прямой Р.

3) Эти понятия и соотношения образуют язык, которым мы далее и оперируем.

Доказать какую либо теорему в дедуктивной системе значит показать: эта теорема есть необходимое логическое следствие ранее доказанных теорем, которые были следствием других теорем, которые ... и т.д.

Понятно, эту нескончаемую цепь необходимо оборвать волевым образом, иначе процесс любого доказательства окажется нескончаемым и, следовательно, бессмысленным. Поэтому некоторые теоремы принимаются истинными и доказательств не требуют. Это теоремы называются аксиомами или постулатами.

На основе аксиом математик доказывает или опровергает все другие теоремы чисто логическим путем.

Выбранные нами базисные аксиомы должны удовлетворять достаточно жестким требованиям. Необходимо, чтобы:

1) система аксиом была непротиворечива, т.е. логическим следствием аксиом не могут оказаться противоречащие друг другу теоремы

2) система была полной. Это означает, что любое утверждение в нашей аксиоматической системе можно доказать или опровергнуть.

3) система аксиом была независима, т.е. среди аксиом не должно быть теоремы, которую можно вывести из прочих аксиом.

4) аксиом не должно быть слишком много и они должны быть достаточно просты. В противном случае от них мало пользы.

Таков был идеал математиков. Однако в 1930 г. К.Гедель доказал теорему о том, что для любой аксиоматической структуры пункт 2) не выполним: всегда найдется утверждение, которое нельзя ни доказать, ни опровергнуть. Конечно, это утверждение можно объявить новой аксиомой. Но тогда в исправленной системе снова найдется утверждение, которое нельзя ... И так до бесконечности.

Построенная теория будет удовлетворять всем законам логики, но может не иметь никакого отношения к реальным явлениям и являться, так сказать, игрой воображения. Это значит, что мы не можем указать никаких природных процессов, законы протекания которых описывались с помощью уравнений и соотношений в построенной математиком конкретной теории. Однако, как показывает опыт столетий, часто такие абстрактные математические теории в течение десятилетий не находили себе применения вне математики, как вдруг оказывалось, что использование их в физических теориях позволяет объяснить явление, причины которого ранее были совершенно неясны. Примером может служить теория групп. Этот раздел математики, исследует математические объекты, имеющие одинаковые свойства относительно некоторого математического преобразования. Через сто лет после создания теории групп оказалось, что, используя эту теорию, можно единым образом описать строение сотен частиц, которые считались элементарными, как составных, построенных из других составляющих, число которых всего три.

Подход представителей других естественных наук - физика, химика, биолога отличается от рассмотренного аксиоматического подхода. Они используют интуицию, догадки, аналогии, сравнение с экспериментом. Ньютон сказал, что при изучении наук примеры полезнее правил. Это означает, что использование таких нестрогих методов как аналогии может быстрее привести к цели, чем точное следование установленным правилам, поскольку они могут быть просто не применимы к новым явлениям.

Если построенная с малой степенью строгости теория, но внутренне непротиворечивая логическая схема приводит к совпадению с опытом - значит в ней содержится доля истины. А какая именно - прояснит будущее.

Требования к теории, построенной на основании полученных в эксперименте данных состоят в следующем:

- 1) теория должна хорошо и последовательно объяснять известные эксперименты.
- 2) теория должна быть эвристичной, т.е. предлагать новые эксперименты и, самое важное, предсказывать их результаты. Если теорию нельзя проверить, потому что с ней согласуется любой набор фактов, ее называют бессодержательной, поскольку она не позволяет предсказывать новые явления.

При формулировке новой фундаментальной идеи от автора не требуют какого-либо последовательного обоснования. Но дальше при разработке идеи автор обязан следовать законам логики.

Наука строится так, что если возникшая новая теория применяется к тем же явлениям, которые описывала какая-то старая теория, то новая теория включает в себя старую как предельный случай, справедливый при некоторых ограничениях параметров, входящих в новую теорию. Так, например, механика теории относительности Эйнштейна применима к движению тел с любой скоростью, но если ограничить скорость величиной, много меньшей скорости света, она перейдет в механику Ньютона.

После построения новой теории она существует до тех пор, пока не будут получены экспериментальные факты, не объясняемые этой теорией. По мере накопления таких данных возникает необходимость построения новой теории. Пример: классическая механика оказалась неприменимой к явлениям в микромире - мире ядер, атомов, элементарных частиц. Ее сменила квантовая механика, предельным случаем которой является классическая механика. Таким образом, в науке происходит цикл: на-

копление экспериментальных данных, построение новой теории для объяснения их, проверка новой теории в эксперименте по поиску новых явлений, предсказываемых новой теорией, появление со временем экспериментальных данных, не объясняемых новой теорией, и т.д. Кратко этот цикл может быть сформулирован как эксперимент - теория - эксперимент. Иногда в этот цикл добавляют еще один шаг, стоящий перед теорией - гипотезу, понимая под ней теорию на первой стадии ее развития, когда она еще не полностью разработана и требуются экспериментальные факты, подтверждающие эту гипотезу. Например, мы знаем, что динозавры существовали, но вымерли. Почему? Одна из гипотез объясняет этот факт тем, что произошло столкновение Земли с крупным астероидом, повлекшим за собой неблагоприятные для динозавров климатические изменения. Это только гипотеза, так как никаких других явлений, которые были бы связаны с этим катаклизмом, она не предсказывает, и проверять нечего.

В области естественных наук важным этапом в исследовании является построение модели явления. Модель явления это теория, описывающая только часть характеристик изучаемого явления, наиболее важных для рассматриваемой задачи. Поскольку мы искусственно сужаем число характеристик, то это приводит к упрощению задачи, и как следствие, к возможности ее решения. Примером этого может служить история построения гидродинамики - науки, описывающей движение жидкостей. В XVIII веке эту задачу пытались решить многие выдающиеся математики, но безуспешно. Они исходили из правильной модели жидкости - жидкость состоит из большого числа движущихся молекул, каждая из которых может рассматриваться как материальная точка. Движение точки хорошо описывается механикой Ньютона, следовательно, нужно только правильно ее применить. Однако на этом пути построить теорию, описывающую течение жидкости, не удалось. Успех был достигнут Эйлером. Он использовал другую модель жидкости, которая была менее правильной с точки зрения представлений о молекулярном строении жидкости, но зато более адекватной поставленной задаче. Эйлер предложил рассматривать жидкость как непрерывную среду, характеризующуюся малым числом параметров таких, как плотность жидкости, ее упругость, давление в жидкости. С помощью этой модели, смысл которой состоял в переходе от модели жидкости как совокупности большого числа материальных точек, к рассмотрению жидкости как однородной среды, удалось построить математическую теорию гидромеханики.

Однако, если мы будем решать задачу об описании процесса испарения жидкости, нам необходимо использовать молекулярную модель строения жидкости. Если задача будет касаться другого агрегатного состояния жидкости, например, льда, и для проектирования ледокола будет необходимо знать, какое усилие нужно приложить для разрушения льда, то следует использовать для воды модель, описывающую ее как твердое тело. Таким образом, мы видим, что для естественных наук выбор модели явления должен соответствовать поставленной задаче и при этом эта модель не обязательно должна описывать все свойства изучаемого объекта.

Теория явления считается построенной, когда получены математические соотношения, позволяющие вычислить характеристики явления. Но математика равным образом используется как для предсказания численных значений характеристик явления, доступных нашим ощущениям, так и для явлений, восприятие которых невозможно нашими органами чувств. Примером первых являются характеристики движения небесных тел в механике Ньютона. Значения координат небесных тел полу-

чены астрономами в результате визуальных наблюдений. Примерами вторых являются характеристики электромагнитных волн - радиоволн, которые не воздействуют непосредственно на наши органы чувств, но, несомненно, существуют, что подтверждается нашей ежедневной практикой, когда мы слушаем радио или смотрим телевизионные передачи.

Сейчас в арсенале науки есть много теорий явлений недоступных непосредственному восприятию их человеческими органами чувств. Уверенность в самом существовании подобных явлений основана на совпадении предсказаний, сделанных на основе математической теории явления, с экспериментальными фактами. Человек не способен увидеть ядро атома, или каким - то другим способом ощутить его существование. Однако существует теория ядра, на основе которой строятся ядерные энергетические установки, вырабатывающие энергию, которая используется для приведения в движение судов, или в виде электричества в быту. Квантовая механика описывает поведение микрообъектов, недоступных непосредственному чувственному восприятию, но она позволяет рассчитать, а затем и создать устройства, применяемые в технике. Пример этого - лазер на кристаллах, работающий во всех устройствах чтения информации, записанных на лазерных дисках.

Современное понятие реальности физического явления радикально отличается от концепций реальности предыдущих эпох, которые использовали только чувственно воспринимаемые характеристики явлений: массу, силу, движение, теплоту, свет и т.п. Современная наука весьма ограниченно апеллирует к чувственным восприятиям. Наука признает реальность явлений и объектов, не доступных непосредственно чувственным восприятиям. Природа богаче, чем говорят о ней наши органы чувств. В ней существуют объекты, которые невозможно описать с помощью аналогий, построенных на здравом смысле - атомы, электроны, электромагнитные поля. Поэтому современная наука считает, что реальный мир есть совокупность объектов, которые мы познаем нашими органами чувств, плюс явления и объекты, недоступные нашим органам чувств и описываемые созданными человеком математическими теориями. Крайняя точка зрения состоит в утверждении того, что математическим знанием исчерпываются все наши знания о реальности. Конечно, это не означает отрицания существования объектов, математическая теория которых еще не построена.

Итак, мы видим, что математика занимает исключительное место в процессе познания реальности. Однако, какие основания имеются для того, чтобы утверждать, что совпадение численных значений некоторых характеристик явления, вытекающих из математического описания явления, с экспериментальными значениями свидетельствует о соответствии лежащих в основе этой математической теории положений реальному миру. Следует признать, что таких оснований нет. Существует масса примеров, когда научная теория, прекрасно описывавшая известные экспериментальные данные и предсказавшая подтвержденные затем новые явления, тем не менее заменялась новой теорией, которая включала старую теорию как предельный случай, но объясняла более широкий круг явлений. Классический пример - соотношение между механикой Ньютона и теорией относительности Эйнштейна. Принципиальным является то, что фундаментальные представления о свойствах реального мира в таких двух теориях различаются: в теории Ньютона пространство и время не зависят от наблюдателя, в теории относительности время и размеры зависят от скорости движения наблюдателя. Природа не предписывает и не запрещает никаких математических теорий. Выбор теории остается за человеком, но и доказательство

соответствия теории реальному миру также ложится на человека.

Действенность математики в объяснении устройства мира состоит в совпадении вычисленных с ее помощью величин с измеренными на опыте значениями. В качестве примера приведем вычисленное в квантовой механике значение величины магнитного момента электрона (в единицах магнетона Бора) с экспериментально измеренным значением (в скобках приведено значение ошибки в двух последних знаках):

$$\mu(\text{эксперимент})=1.00115965231(20)$$

$$\mu(\text{теория})=1.00115965936(28)$$

Совпадение теории с экспериментом с точностью до седьмого знака не может не вызвать доверия, как к теории, так и лежащим в ее основе представлениям об устройстве микромира.

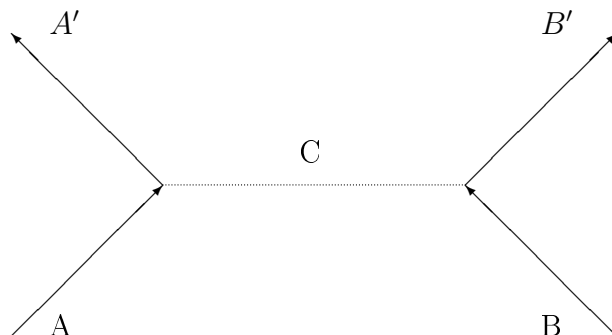
Наука должна дать ответ на вопрос: почему, когда для построения теории физического явления приняты соответствующие аксиомы и на их основе построена математическая теория явления, следствия из этих математических соотношений совпадают с экспериментальными значениями измеренных величин. Этот вопрос относится скорее к философии, чем к конкретным наукам. Заметим только, что окончательного ответа на этот фундаментальный вопрос не существует, имеются разные точки зрения, но рассмотрение их хотя и весьма интересно, но выходит за рамки нашего курса.

## Основные выводы.

1. В математике используется аксиоматический подход для построения теории. При этом вводится некоторое число неопределяемых первичных объектов и первичные неопределяемые соотношения между этими объектами.
2. К введенной системе аксиом предъявляются требования непротиворечивости, полноты, независимости и малого их числа.
3. Для других естественных наук требования к создаваемой теории менее строгие и для построения теории явления необходимо выбрать модель, заведомо упрощающую явление.
4. Требования к новой теории: она должна объяснять известные эксперименты и должна быть эвристичной.
5. Новая теория включает в себя старую как предельный случай, справедливый при некоторых ограничениях параметров, входящих в новую теорию.

## 5 Виды взаимодействий в природе.

Установлено, что за все природные явления ответственны четыре вида взаимодействия: сильное, электромагнитное, слабое и гравитационное. Современное представление о том, как осуществляется взаимодействие между частицами, исходит из того, что любое взаимодействие является близкодействующим. Это значит, что взаимодействие между частицами осуществляется с помощью передачи от одной частицы другой некоего объекта, называемого переносчиком взаимодействия. На рисунке схематически представлен акт взаимодействия между частицами.



Ось времени на рисунке направлена снизу вверх. Частица А перемещается во времени и в некоторый момент времени испускает частицу С: она изображена на рисунке штрихованной линией. При испускании С частица А изменяет свое состояние: изменяется ее скорость, как по величине, так и по направлению. Частица В поглощает частицу С, и при этом частица В также изменяет свое состояние. Таким образом, в результате испускания и поглощения частицы С первоначальные состояния частиц А и В изменяются, что мы и считаем следствием взаимодействия между ними.

Частица С называется переносчиком взаимодействия. Ее характеристики различны в каждом из видов взаимодействия. В процессе взаимодействия на время существования частицы С нарушается закон сохранения энергии - рождается новая частица, для чего необходимо затратить энергию. Но при поглощении этой частицы энергия выделяется, и в конечном счете, закон сохранения энергии выполняется. Возможность нарушения закона сохранения энергии на короткий интервал времени объясняется в квантовой механике, и мы рассмотрим этот процесс позднее. Рассмотрим основные характеристики видов взаимодействия, начиная с наиболее сильного.

Сильное взаимодействие действует между протонами и нейтронами, обеспечивая существование стабильных ядер, которые и образуют все многообразие химических элементов, а, следовательно, и существование живой и неживой природы. Сила этого взаимодействия велика, что выражается в большой вероятности протекания процессов превращения частиц, испытывающих это взаимодействие, и, как следствие, малого времени жизни частиц, способных распадаться под действием этого взаимодействия.

Расстояние, на котором две частицы могут почувствовать взаимодействие, называется радиусом взаимодействия. Радиус действия любого взаимодействия определяется массой переносчика этого взаимодействия, причем чем больше масса переносчика, тем меньше этот радиус.

Для сильного взаимодействия между протонами и нейтронами в ядрах переносчиком является частица, называемая пионом. Его масса велика - 140 МэВ. Поэтому радиус сильного взаимодействия очень мал и спад его до нуля происходит очень резко. Практически частицы вступают в это взаимодействие, когда они соприкасаются друг с другом. Как мы увидим далее, протон и нейтрон являются составными частицами, образованными из частиц, называемых кварками. Взаимодействие между кварками переносится частицами, называемыми глюонами. Масса глюона равна

Таблица 1: В таблице приведены длины волн и энергия электромагнитных волн различных диапазонов.

Название диапазона	Длина волны в м	Энергия излучения в эВ
Гамма	$10^{-14} - 10^{-11}$	$10^8 - 10^5$
Рентген	$10^{-11} - 10^{-8}$	$10^5 - 10^2$
Ультрафиолет	$10^{-8} - 10^{-7}$	$10^2 - 10$
Видимый свет	0.4- 0.75 мкм	$\sim 1$ эВ
Инфракрасный	$10^{-6} - 10^{-4}$	$1 - 10^{-2}$
Микроволновое излуч.	$10^{-3} - 10^{-1}$	$10^{-3} - 10^{-5}$
Радиоволны	$10^{-1} - 10^3$	$10^{-5} - 10^{-8}$

нулю. Сила, действующая между взаимодействующими кварками, растет с ростом расстояния между ними. Это означает, что для увеличения расстояния между взаимодействующими кварками нужно затратить энергию. При некотором расстоянии эта энергия станет достаточной для рождения пары новых кварков, что и произойдет. Это расстояние порядка радиуса сильного взаимодействия между протоном и нейтроном -  $10^{-13}$  см. Такой процесс объясняет невозможность образования свободного одиночного кварка.

Энергия, выделяющаяся при протекании ядерных реакций, вызываемых сильным взаимодействием, преобразуется в недрах звезд в электромагнитное излучение, обеспечивающее возможность нашего существования на планете Земля.

С середины XX столетия ядерная энергия становится одним из источников энергии для существования нашей цивилизации. С исчерпанием запасов природных источников энергии (нефть, газ, уголь) единственным способом производства энергии останется проведение контролируемых ядерных реакций - строительство силовых атомных станций. При этом возникает масса проблем, связанных с экологией, удовлетворительного решения которых до настоящего времени не найдено.

Электромагнитное взаимодействие испытывают все частицы и тела, обладающие электрическим зарядом. Движение этих зарядов и есть то, что мы называем электрическим током, он порождает магнитное поле. В свою очередь переменное по величине магнитное поле вызывает в проводниках протекание электрического тока. Свет является проявлением этого взаимодействия, с ростом частоты этого взаимодействия его энергия растет, поэтому лучше говорить о спектре электромагнитного излучения. В таблице приводятся характеристики электромагнитного излучения в зависимости от его длины волны.

Переносчиком электромагнитного излучения является безмассовая частица - фотон, поэтому спадание силы взаимодействия медленное, обратно пропорционально квадрату расстояния (закон Кулона).

Слабое взаимодействие действует между некоторыми частицами в микромире. Оно названо так из-за своей малости. Его сила в  $10^{16}$  меньше, чем у сильного. Слабое взаимодействие ответственно за распады многих частиц в том случае, когда

существует запрет на распад под действием сильных и электромагнитных взаимодействий.

При взаимодействии любой природы должны сохраняться некоторые физические величины. Так всегда сохраняются в любых процессах энергия, электрический заряд.

Протон, нейтрон и другие частицы, участвующие в сильных взаимодействиях, характеризуются барионным числом. Для протона и нейтрона оно равно 1, для пиона равно 0. В процессах реакций или распада частиц это число должно сохраняться. Закон сохранения барионного числа запрещает распад протона на пион и гамма-квант:  $p \rightarrow \pi^+ + \gamma$ . В этом распаде протон имеет барионное число равное 1, а продукты его распада имеют барионные числа равные 0.

Для процессов превращения частиц, вызываемых слабым взаимодействием, должно сохраняться лептонное число. Каждая частица, способная испытывать слабое взаимодействие, среди всех своих характеристик обладает и приписываемым ей лептонным числом. Так электрон, нейтрино имеют лептонное число  $L = 1$ , а их античастицы - позитрон и антинейтрино -  $L = -1$ . Частицы, не участвующие в слабом взаимодействии, имеют  $L = 0$ . Лептонное число должно сохраняться в процессах превращения частиц, что запрещает некоторые способы распада частиц.

Наиболее характерный пример распад нейтрона. Распад под действием сильных взаимодействий в реакции  $n \rightarrow p + \pi^-$  невозможен; т.к. сумма масс протона и пиона больше массы нейтрона. Закон сохранения энергии запрещает такой распад.

Рассмотрим с точки зрения законов сохранения распад  $n \rightarrow p + e^-$ .

$n \rightarrow p + e^-$ $m_n > m_p + m_e$ Закон сохранения энергии выполняется	$Z_n = 0; Z_p + Z_e = 1 + (-1) = 0$ Закон сохранения электрического заряда выполняется	$L_n = 0; L_p = 0; L_e = 1$ $L_n \neq L_p + L_e$ Закон сохранения лептонного числа не выполняется
--	---	---

Распад под действием электромагнитного взаимодействия на протон и электрон  $n \rightarrow p + e^-$  запрещен законом сохранения лептонного числа. Остается единственная возможность распада за счет слабого взаимодействия  $n \rightarrow p + e^- + \tilde{\nu}$ , где появляется наряду с протоном и электроном беззарядовая и безмассовая частица - нейтрино (точнее антинейтрино  $\tilde{\nu}$ ). Появление третьей частицы антинейтрино в распаде обеспечивает выполнение закона сохранения лептонного числа.

$$L_n = 0; L_p = 0; L_e = 1; L_{\tilde{\nu}} = -1$$

$$L_n = L_p + L_e + L_{\tilde{\nu}}; 0 = 0 + 1 + (-1)$$

Нейтрино и антинейтрино взаимодействуют с веществом настолько слабо, что при прохождении сквозь Землю по диаметру Земли потока нейтрино только  $10^{-11}$  из их числа вступит во взаимодействие. Отсюда можно только удивляться тому, что физики тем не менее научились регистрировать нейтрино.

Поскольку нейтрино обладает такой большой проникающей способностью, то нейтрино, возникающие в ядерных реакциях в центре Солнца, проходят до его поверхности и уходят в межпланетное пространство. Они регистрируются на Земле в специальных установках. Количество этих нейтрино и их спектр несут сведения о деталях



состояния вещества вблизи центра Солнца. Этот способ изучения Солнца называют нейтринной астрономией. Более того, его планируют использовать и для других звезд, однако пока это только мечты, так как число этих частиц на поверхности Земли мало.

Радиус действия слабого взаимодействия очень мал, что связано с чрезвычайно большой массой переносчиков этого взаимодействия  $W$  и  $Z$  бозонов. Их масса равна 90000 МэВ. Они были открыты только в восьмидесятих годах 20 века, когда были построены ускорители на соответствующие энергии. О трудности этого эксперимента говорит тот факт, что объем первого сообщения об открытии этих частиц был сравним с объемом списка авторов, насчитывающего более сотни участников.

Можно подумать, что слабое взаимодействие в силу своей слабости играет малую роль в окружающем нас мире и проявляется лишь в некоторых процессах, не определяющих главные свойства нашего мира. Это не так. Дело в том, что многие существующие частицы распадаются только за счет слабых взаимодействий, при этом их время жизни велико только по сравнению с тем временем, за которое они распались бы, если бы могли распадаться за счет сильных или электромагнитных взаимодействий. Если бы эти частицы были стабильны из-за отсутствия слабых взаимодействий, то в нашем мире появились бы атомы, в которых электроны были бы заменены на эти частицы. Химические свойства этих атомов сильно отличались бы от обычных, и весь набор природных химических соединений был бы совсем другим. Такие атомы в малых количествах получают с использованием ускорителей заряженных частиц и изучаются физиками. Время жизни этих атомов мало, оно составляет величину  $\sim 10^{-10}$  сек.

Гравитационное взаимодействие ответственно за существование планет, звезд, планетных систем, галактик и, наконец, оно определяет пространственно - временные свойства нашей Вселенной. По своей силе оно в  $10^{40}$  раз слабее сильного взаимодействия, но в силу того, что оно действует на все тела и радиус его взаимодействия бесконечен (уменьшение силы взаимодействия с расстоянием происходит по закону  $1/r^2$ ) именно оно определяет свойства Вселенной в масштабах мега-мира.

Дополним только, что из общей теории относительности следует, что при изменении гравитационного поля происходит излучение источниками поля гравитационных волн, переносимых частицами, называемыми гравитонами - переносчиками гравитационного взаимодействия. Эти частицы взаимодействуют с любой формой материи, но энергия, переносимая ими, мала, и упорные попытки зарегистрировать гравитационные волны на Земле с применением специально построенных установок успехом пока не увенчались.

В нашем рассмотрении четырех видов взаимодействия мы считали каждый из видов как самостоятельный и не связанный ни с каким из других. Естественно, что уже давно возникло желание построить теорию, объединяющую все виды взаимодействий, другими словами, задача формулируется так: нужно построить такую теорию, в которой каждое из взаимодействий было проявлением одного и того же взаимодействия.

Первый шаг на этом пути был сделан еще Максвеллом, до него электрические, магнитные и оптические явления не были связаны в одной теории. Он создал теорию, объединившую эти три области явлений. По этому же пути двигался Эйнштейн, пытаясь объединить электромагнитное и гравитационное взаимодействия. Реализации этой программы он посвятил более 30 последних лет своей научной деятельности,

но построить такую теорию не сумел. Только в конце 60 годов XX века Стивеном Вайнбергом и Абдусом Саламом независимо друг от друга была создана теория, объединяющая электромагнитное и слабое взаимодействия.

Теория предсказала ряд новых явлений, и эксперимент подтвердил эти предсказания. В настоящее время предпринимаются попытки объединения в одной теории упомянутых двух с сильным взаимодействием. Созданы варианты таких теорий. В этих теориях, называемых теориями Великого Объединения, три вида взаимодействия имеют одну и ту же силу, но при очень высоких энергиях порядка  $10^{15}$  ГэВ. Эта энергия лежит далеко за пределами достижимой на современных ускорителях энергии ускоренных частиц ( $10^5$  ГэВ).

С уменьшением энергии взаимодействующих частиц сила их взаимодействия убывает с различной скоростью, так что для доступных сегодня энергий она весьма различна для разных видов взаимодействия.

Но есть одно предсказание теории Великого Объединения - протон может испытывать распад типа  $p \rightarrow \pi^0 + e^+$ . В таком распаде нарушается закон сохранения барионного и лептонного числа. Эта теория предсказывает, что время жизни протона должно составлять порядка  $10^{31}$  лет. Это время существенно больше возраста Вселенной, составляющий порядка  $10^{10}$  лет. Если мы возьмем 100 тонн водорода, то за один год из  $6 \cdot 10^{31}$  протонов распадутся менее 10 штук. Несмотря на кажущуюся безнадежность измерения скорости распада протона, уже в нескольких местах построены установки для этой цели. Пока получены только оценки этой величины, которые не противоречат теоретической оценке, но если будет показано, что протон живет дольше, то это породит серьезные сомнения в правильности теории Великого Объединения.

Есть еще и более амбициозные теории, объединяющие все четыре взаимодействия. Но здесь еще только начало пути и судить о результатах этих попыток еще преждевременно.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ.

1. В природе существуют четыре вида фундаментальных взаимодействий: сильное, электромагнитное, слабое и гравитационное.
2. Все взаимодействия осуществляются путем излучения одной из взаимодействующих частиц - переносчика взаимодействия и поглощения ее другой взаимодействующей частицей.
3. Масса переносчика взаимодействия определяет расстояние, на котором проявляется взаимодействие. Расстояние тем меньше, чем больше масса переносчика.
4. При протекании процесса взаимодействия выполняются законы сохранения некоторых физических величин. Нарушение закона сохранения такой величины в каком-либо процессе приводит к запрету его существования в природе.

Таблица 2: В таблице кратко суммированы характеристики видов взаимодействия.

Вид взаимодействия	Переносчик (его масса в МэВ )	Радиус действия в см	Характерное время в сек
сильное	пионы ( 140 )связывают нуклоны в ядрах; глюоны связывают кварки в нуклонах	$10^{-13}$	$10^{-22}$
электромагнитное	фотон ( 0 )	$\infty(1/r^2)$	$10^{-15}$
слабое	W,Z бозоны( 90 000 )	$10^{-15}$	1000 - $10^{-9}$
гравитационное	Гравитоны ( 0 )	$\infty (1/r^2)$	$\infty$

## 6 Пространственно - временные масштабы в природе.

Для характеристики предметов и природных явлений мы обязательно должны использовать пространственные и временные масштабы. Поэтому целесообразно ввести для пространственной характеристики три качественно различные области - микро-, макро- и мегамир.

Микромир - это мир элементарных частиц, атомов и молекул. За верхнюю границу протяженности этого мира можно выбрать размер атома водорода -  $10^{-8}$  см. Размеры молекул приблизительно те же. Нижняя граница зависит от того, какие явления мы изучаем. Для мира ядер и ядерных сил за нее можно принять размер протона -  $10^{-13}$  см. Если исследуются размеры электрона, то пока мы можем сказать только, что он меньше, чем  $10^{-16}$  см. За временной масштаб можно выбрать время, за которое свет проходит пространственный масштаб. Это связано с тем, что в микромире движения происходят, как правило, со скоростями близким к скорости света. Тогда, выбрав размер протона как пространственный масштаб, для временного масштаба получим  $10^{-13}$  см /  $3 \cdot 10^{10}$  см/сек  $\approx 3 \cdot 10^{-24}$  сек.

Можно задать вопрос о свойствах еще меньших областей пространства и времени - действуют ли там те же физические законы. Ответить на этот вопрос наука пока не может, так как для анализа микромира в этих масштабах нужны частицы очень высоких энергий, которые нам недоступны в настоящее время. Однако из известных мировых констант можно составить комбинации, которые будут иметь размерность длины и времени. Полученное таким образом значение длины составляет  $10^{-33}$  см, и соответствующее ей значение интервала времени  $10^{-43}$  сек. При таких малых интервалах длины и времени необходимо учитывать квантовые эффекты в гравитационном взаимодействии, но эта теория еще не построена.

Однако в мире, масштабы которого больше этих величин, мы считаем, что действуют известные нам законы. В микромире явления описываются квантовомеханическими законами. Характерной особенностью частиц в микромире является полная тождественность всех частиц одного сорта между собой. Например, атом водорода, где бы он ни был образован - на Земле или в далекой галактике - имеет одни и те

же размеры и характеристики.

В микромире действуют все виды взаимодействий за исключением тяготения, влияние которого в этом мире ничтожно. Возможно однако, что при предельно малых пространственных масштабах могут проявляться эффекты этих сил.

Макромир это привычный нам мир, в котором мы живем. Тела в нем содержат огромное число атомов, и для описания их свойств пользуются макрохарактеристиками: объем, температура, теплоемкость, проводимость и т.д. Хотя в принципе можно описать свойства макрообъекта на языке свойств, составляющих его атомов, т.е. на языке микрообъектов, но такое описание практически невыполнимо, т.к. макротело содержит такое гигантское количество микрообъектов, что не существует ЭВМ, способной выполнить расчеты свойств макрообъекта, исходя из свойств составляющих его атомов или молекул. Более того, если бы нашлась ЭВМ, способная это сделать, то наш мозг все равно не в состоянии переработать информацию, содержащую координаты и скорости миллиардов атомов.

Типичные размеры макромира начинаются с размеров клетки живых организмов, это доли мм. Физические законы макромира составляют содержание так называемой классической физики. Это мир скоростей частиц малых по сравнению со скоростью света, небольших энергий, которых недостаточно для рождения частиц микромира. В этом мире действуют и законы химии, биологии. Типичный временной интервал в макромире это секунды, часы, годы. К макромиру мы относим и Землю, и Солнечную систему. За верхний предел макромира можно принять размер галактики, это составит  $\approx 10^{23}$  см, и свету понадобится 100 000 лет для прохождения этого расстояния.

В макромире действуют гравитационное и электромагнитное взаимодействия. Но строение звезд может быть понято только с привлечением дополнительно сильных и слабых взаимодействий.

Мегамир это совокупность галактик нашей Вселенной. Галактика состоит из многих миллиардов звезд. Например, наша галактика содержит 100 миллиардов звезд. В галактике имеется еще межзвездный газ и космическая пыль, масса которых достигает нескольких процентов от массы звезд. Расстояния между галактиками составляют несколько миллионов световых лет. Галактики объединяются в скопления, т.е. близкие по расстоянию галактики. Временной масштаб мегамира - миллион световых лет.

Строение нашей Вселенной в масштабе мегамира определяется гравитационным взаимодействием. Физические законы, действующие в мегамире, описываются общей теорией относительности Эйнштейна. Эта теория объясняет пространственно - временную структуру Вселенной. Но при описании процесса возникновения Вселенной необходимо использовать все четыре вида взаимодействия.

## Основные выводы.

1. Микромир - это мир элементарных частиц, атомов и молекул. Характерные величины расстояний и времени: расстояния от  $10^{-16}$  см до  $10^{-8}$  см, время  $10^{-23}$  сек. В микромире действуют три вида взаимодействий, тяготение практически не проявляется в процессах в микромире.
2. Макромир - мир, объектов, содержащих огромное число атомов. Типичные раз-

Таблица 3: В таблице кратко суммированы характеристики пространственно-временных масштабов.  $L$ -длина,  $T$ -время.

Масштаб мира	Типовые объекты	Характерные размеры	Характерное время	Проявляющиеся взаимодействия
микро	элементарные частицы, атомы, молекулы	$10^{-16} - 10^{-8}$ см предел $10^{-33}$ см	$10^{-23}$ сек предел $10^{-43}$ сек	сильное слабое электромагнитное
макро	живые организмы, Земля, Солнечная система, галактика	$10^{-2} \leq L \leq 10^{23}$ см $\approx 10^5$ св.лет	1 год $\approx 10^5$ сек	электромагнитное  гравитационное
мега	скопления галактик, вся наша Вселенная	$L > 10^6$ св.лет $\approx 10^{24}$ см	$T > 10^6$ лет	гравитационное

меры макромира начинаются с долей мм, верхний предел  $10^{23}$  см, временной масштаб от долей секунды до 100 000 лет. Физические законы макромира составляют содержание так называемой классической физики. Это мир скоростей малых по сравнению со скоростью света, сравнительно небольших энергий. В макромире наиболее важны гравитационное и электромагнитное взаимодействия.

3. Мегамир это совокупность галактик нашей Вселенной. Пространственный и временной масштаб мегамира - миллиард световых лет. В мегамире главное взаимодействие - гравитационное. Физические законы, действующие в мегамире, описываются общей теорией относительности Эйнштейна.

## 7 Классическая физика и механистическая модель физических явлений.

Классическая механика, построение которой было завершено Ньютоном во второй половине XVII века, - первая фундаментальная физическая теория, охватывающая

громадный круг явлений. До механики Ньютона было известно множество законов большей или меньшей общности, но теории, охватывающей всевозможные случаи движения любых тел, не существовало.

При создании классической механики впервые был реализован идеал научной теории, существующий и поныне. Если длительное время задачу объяснения естественного хода процессов в природе видели в том, чтобы свести новые, непривычные явления к таким непосредственно очевидным, как удар, прикосновение и т.д., то с появлением механики Ньютона стала ясной цель науки. Она состоит в отыскании наиболее общих, количественно формулируемых законов природы. Действием таких законов нужно объяснять все явления, и, в частности, те, которые настолько привычны, что, казалось бы, не нуждаются в объяснении. В фундаментальных законах главное - их общность и точная математическая формулировка, а совсем не наглядность и самоочевидность. Ньютон фактически работал в рамках методологии изучения явлений, сформулированной Галилеем.

Механика Ньютона удовлетворяла этим требованиям. С самого начала она претендовала на описание движения, т. е. перемещения в пространстве с течением времени любых материальных тел или частей тел друг относительно друга. Непосредственно законы механики, сформулированные Ньютоном, относятся к телу, размерами которого можно пренебречь, т.е. к материальной точке. Однако любое тело макроскопических размеров всегда можно рассматривать как совокупность материальных точек и, следовательно, достаточно точно описать его движение. В современной физике под классической механикой обычно понимают механику материальной точки, системы материальных точек (для краткости будем говорить: частиц) и механику абсолютно твердого тела. Классическая механика изучала также механику жидкостей и газов. Именно это и будем иметь в виду в дальнейшем, говоря о классической механике.

Свойства частиц в классической механике характеризует одна - единственная величина - инертная масса, которая считается неизменной. Скорость движения тела определяется его массой и силой, действующей на него.

Основная задача, решаемая Ньютоном при создании своей теории, состояла в нахождении законов, управляющих движением небесных тел. Накопление эмпирических данных об орбитах планет с неизбежностью все время требовало ответа на вопрос о том, какие законы управляют небесными телами. Уже не использовались геоцентрические системы, в которых центральным неподвижным телом считалась Земля, их сменили гелиоцентрические системы Коперника и Кеплера. Были установлены количественные соотношения, позволявшие производить вычисления положения планет в любой момент времени и времени наступления солнечных и лунных затмений. Но эти законы были получены эмпирическим путем: обрабатывая большой объем наблюдательных астрономических данных, ученые просто угадывали вид формул, описывающих явления.

Большая точность предсказаний о наступлении событий в солнечной системе и высказанная еще древними греками идея о том, что миром управляют математические законы, заставляла искать теорию, в которой эти эмпирические законы получили бы обоснование. Путь к построению такой теории не был прямым, наука пробивалась к нему через массу противоречивых идей и представлений. Гигантский шаг вперед был сделан Ньютоном, но огромный вклад в науку был внесен многими великими учеными Кеплером, Галилеем, Декартом, идеи которых иногда предвосхищали

открытия Ньютона, но только Ньютон создал теорию, универсально приложимую как к явлениям происходящим на Земле, так и повсюду в космосе.

Законы Ньютона достаточно полно изучаются в средней школе, поэтому будем обсуждать лишь некоторые стороны этой теории, сыгравшие важную роль для дальнейшего развития науки.

Ньютон установил, что как движением небесных тел в солнечной системе, так и всех тел, падающих на землю, управляет одна и та же сила, которую он назвал тяготением. Эта сила универсальна в том смысле, что она действует между любыми телами. Движение Земли вокруг Солнца вызывается притяжением между ними, движение Луны вокруг Земли вызывается притяжением между Луной и Землей, падение тела на Землю вызывается притяжением между этим телом и Землей, существование приливов объясняется влиянием притяжения Луны на водные массы в океане. Эти примеры можно было бы умножить.

Ньютон сформулировал свои три закона, которые, как выяснилось позже, имеют универсальное применение для сил любой природы, а не только сил притяжения. Разработанный им математический аппарат позволял рассчитать траекторию тела, если заданы силы, действующие на него, и начальные условия (координаты и скорость в начальный момент времени). Теория Ньютона удовлетворяла требованию, предъявляемому к каждой теории, претендующей на объяснение определенного круга явлений: теория должна не только объяснять уже известные факты, но и предсказывать новые явления. Такие предсказания действительно были сделаны и подтверждены наблюдениями. Установленные ранее эмпирическим путем законы движения небесных тел, в теории Ньютона вытекали естественным образом как следствие из предложенного им вида взаимодействия между всеми телами. Очень скоро эта теория стала с успехом использоваться для предсказания новых явлений, которые были действительно наблюдаемы. Приведем некоторые примеры.

Эдмунд Галлей, ближайший сподвижник Ньютона, проанализировал случаи появления комет в 1456, 1531, 1607 и 1682 гг. и пришел к выводу, что все они двигались по эллиптической траектории, а небольшие различия во времени, через которые они возвращались в окрестности Солнца, обусловлены притяжением планет. Основываясь на теории Ньютона, он пришел к выводу, что все эти кометы на самом деле одна и та же комета, и предсказал ее следующее появление в 1758 г. В предсказанное время комета появилась, хотя Галлея в то время уже не было в живых. С тех пор эта комета носит его имя.

Вера в правильность теории Ньютона была так велика, что когда наблюдения показали, что орбита Урана немного отличается от той, которую дает теория, то А.Бувар предположил, что эти возмущения орбиты Урана вызываются неизвестной планетой, далеко отстоящей от Солнца. В 1841 г. двадцатидвухлетний студент Кембриджского университета в Англии Джон Адамс рассчитал массу, размеры и орбиту предполагаемой планеты. Он сообщил о своих расчетах директору Королевской обсерватории в Гринвиче знаменитому астроному тех лет Джоржу Эйри, но тот не обратил внимания на расчеты студента.

Независимо от Адамса Леверье во Франции провел такие же расчеты, вычислил координаты этой планеты, которые сообщил в Берлинскую обсерваторию астроному Галле. Письмо от Леверье было получено Галле 23 сентября 1846 г. В тот же вечер он произвел наблюдения неба в указанной точке и обнаружил в ней планету. Ошибка определения координат планеты составила всего 52 дуговых секунды, что

соответствовало точности в одну десятитысячную. Планету назвали Нептуном. Этот же метод использовался неоднократно для обнаружения других объектов во Вселенной. Очень важным является вопрос о том, существуют ли планеты у других звезд. Из-за того, что расстояние до звезд огромно, даже современная астрономическая техника не в состоянии прямо увидеть диск звезды в оптическом телескопе, и тем более меньшую по размерам планету. Но изучая изменения положения некоторых звезд на небе, удалось объяснить эти изменения движением вокруг звезды ее спутника - планеты, и даже оценить массу планеты, параметры орбиты.

Интересен другой пример использования теории Ньютона уже в наше время для выяснения природы возникновения спутника Марса Фобоса. Накопившиеся к шестидесятым годам XX столетия данные по орбите Фобоса свидетельствовали о том, что с течением времени орбита Фобоса приближается к поверхности Марса, что совершенно не соответствовало никаким эффектам небесной механики. Оставалось предположить, что это эффект торможения спутника в атмосфере Марса. Однако орбита Фобоса находится на высоте 6000 км от поверхности Марса и плотность атмосферы там слишком мала для того, чтобы затормозить спутник. И тогда наш соотечественник астрофизик Шкловский высказал смелую гипотезу: необходимое торможение спутник может получить, если его площадь очень велика. Основываясь на известной массе Фобоса и необходимой величине площади, Шкловский предположил, что это возможно, если Фобос полый внутри. Отсюда следовал интригующий вывод о том, что Фобос не естественный спутник, а искусственный и его запустили на орбиту разумные существа, когда-то обитавшие на Марсе. Очень красивая гипотеза, жаль, что последовавший за этим тщательный анализ исходных данных об орбите Фобоса показал, что эффект на самом деле не существует. Предполагаемые отклонения орбиты от вычисленной лежали на пределе точности астрономических наблюдений.

Окончательную точку в этом вопросе поставили американцы, запустившие космическую станцию к Марсу, которая получила снимки Фобоса с расстояния всего десятки километров. Найденная плотность Фобоса составила  $2 \text{ г/см}^3$ , что вполне нормально для каменных метеоритов. Форма Фобоса - неправильная глыба размером 27 км на 20 км. Скорее всего Фобос - астероид, захваченный Марсом.

Смысл этой поучительной истории в том, что современная наука скорее выдвинет весьма спорные гипотезы, если обнаружится расхождение с предсказаниями теории Ньютона, чем усомнится в ее правильности.

Каково же методологическое значение имеет построение Ньютоном своей механики для дальнейшего развития науки. Об этом можно сказать словами математика Гаусса, написанных, правда, по другому поводу. "Вообще, со всеми подобными новыми исчислениями дело обстоит так, что с их помощью нельзя получить ничего такого, чего нельзя было бы получить и без них. Однако преимущество состоит вот в чем: если такое исчисление соответствует внутренней сущности многократно возникавших потребностей, то каждый, кто его освоил, может решать соответствующие задачи и без гениальных наитий и вдохновения (которых никто не может принудительно создать), даже может механически решать в столь запутанных случаях, когда без такого средства был бы бессилён и гений. Так обстоит дело с изобретением буквенного исчисления, так было и с дифференциальным исчислением... Благодаря таким концепциям в органическое целое сразу объединяются бесчисленные задачи, которые без этого представлялись бы изолированными, и каждый раз требовали бы усилий (больших или меньших) изобретательного ума."



Построенная Ньютоном механика после ее усовершенствования Лагранжем, Лапласом и другими великими учеными стала надежной базой для развития многих областей физики и решения прикладных задач. Важно повторить, что теперь рецепт решения многих задач был дан, и все трудности в решении задачи носили не принципиальный, а математический характер.

Так, например, Лаплас утверждал, что поскольку механика дает возможность предсказать в любой момент времени положение точки в пространстве, если заданы ее положение и скорость в начальный момент, то, рассматривая наш мир как совокупность материальных точек и задавая начальные условия, можно вычислить, как будут располагаться эти точки в будущем, т.е. предсказать все будущее развитие этого мира. Это означает, что все развитие мира предопределено и, более того, при вычислении этого будущего мы встретимся только с математическими, но не с принципиальными трудностями.

Этот взгляд на развитие нашего мира получил название лапласовского детерминизма. Когда Лаплас познакомил Наполеона со своей концепцией, то Наполеон спросил его, какое же место в этой картине мироздания занимает Бог, то Лаплас ответил: "Я не нуждался в этой гипотезе."

Успехи механики Ньютона, которая на единой основе объясняла как космические явления (строение Солнечной системы), так и движения тел под действием сил в обычных земных условиях, вызвали построение механистической картины мира. Суть этого подхода состоит в том, что все физические явления можно свести к перемещению тел, которые отличаются друг от друга лишь своими геометрическими свойствами. Впоследствии было показано, что существуют формы движения, не сводящиеся к простому механическому перемещению, но вместе с тем неотделимы от него. Механицизм в этом смысле содержал рациональное зерно, и выросшая на механистической основе классическая физика сохранила свое значение в современной науке в качестве приближения, справедливого в очень широкой области.

Приверженцы механистической теории утверждали, что причину всех естественных явлений следует искать при помощи соображений механического характера. В соответствии с этой философией сторонники механистического подхода для объяснения физических явлений строили чисто умозрительные гипотезы, которые качественно, но не количественно, объясняли эти явления. Эти гипотезы были неспособны предсказывать результаты новых экспериментов; как правило, эти результаты были для них полностью неожиданными. Лейбниц назвал подобный способ построения физических гипотез не более чем прекрасной выдумкой.

Метод, использованный Ньютоном при построении своей механики, продолжил новый подход в философии науки, сводившийся к пониманию роли математики в научном исследовании. И до Ньютона математика использовалась в исследованиях, но ее роль сводилась к вспомогательному средству, позволявшему более кратко, удобно, ясно и на общем для всех языке выразить физические законы. Но у Ньютона впервые математика стала источником фундаментальных понятий.

Однако существовал вопрос, на который теория Ньютона не давала никакого ответа. Введенная Ньютоном сила тяготения действовала во всей огромной Вселенной, но природа этой силы оставалась загадочной. Равным образом было непонятным, каким образом действует сила притяжения между двумя телами, разделенными огромным расстоянием. Считалось, что взаимодействие между телами осуществляется при их непосредственном контакте, этот принцип назывался близкодействием сил. В тео-

рии Ньютона силы тяготения являются далекодействующими, распространяющимися с бесконечной скоростью. Сам Ньютон упорно отказывался даже от попыток объяснить природу гравитационной силы. Известно его высказывание по этому поводу: "Гипотез не измышляю".

Ньютон совершенно правильно предвидел механизм распространения гравитации в общефизическом смысле. Так, он писал: "То, что гравитация должна быть неотъемлемым атрибутом материи, позволяя тем самым любому телу действовать на другое на расстоянии через вакуум, без какого либо посредника, с помощью которого и через который действие и сила могли бы передаваться от одного тела к другому, представляется мне вопиющей нелепостью. Вызывать тяготение должен некий агент, постоянно действующий по определенным законам, но материален он или не материален, я предоставляю судить моим читателям".

Из этих слов явствует, что, несмотря на то, что его теория была построена на принципе далекодействия, сам Ньютон был убежденным сторонником близкодействия, хотя и не мог в силу уровня развития науки указать механизм распространения тяготения. Вопрос этот получил некоторый ответ только спустя 200 лет в общей теории относительности Эйнштейна. Эта теория не отбрасывает теорию Ньютона как неправильную, а определяет область ее применимости: она верна там, где гравитационные поля малы. Мы в дальнейшем познакомимся с основными идеями этой теории, а пока заметим, что для практических применений механика Ньютона успешно решает большинство задач, включая такие, как расчет траекторий космических аппаратов, посылаемых к различным объектам солнечной системы.

## **Абсолютное время и абсолютное пространство в механике Ньютона.**

Законы механики Ньютона справедливы для всех наблюдателей, находящихся в состоянии равномерного и прямолинейного относительного движения. Что это значит? Положение любого предмета в пространстве мы определяем по отношению к некоторой системе отсчета (координат) и еще необходимо задать момент времени проведения измерения этих координат. Мы считаем, что пространство имеет три измерения и поэтому положение любой точки задается четырьмя числами - три пространственные координаты и время. Время какого-либо события можно определить по часам, и один из основных постулатов ньютоновской механики состоял в существовании абсолютного времени. Это означает то, что возможно установить единое время для всех наблюдателей независимо от того, где они находятся в пространстве, с какой скоростью они движутся. Промежуток времени между двумя событиями для всех таких наблюдателей один и тот же.

Эта точка зрения вполне соответствует нашему обыденному представлению о времени. Предположим, Вы летите из Петербурга во Владивосток и во время перелета в Петербурге играется футбольный матч. Зная время его начала, Вы через 100 мин звоните домой приятелю, чтобы узнать его результат. При этом Вы уверены, что момент начала матча по вашим часам и часам в Петербурге имеет одно и то же значение, и то же самое можно сказать о моменте его окончания.

Следовательно, систему отсчета можно рассматривать как строго заданный способ измерения положения и времени. Инерциальной системой называется система отсчета, в которой тела при отсутствии внешних воздействий покоятся или движут-

ся равномерно и прямолинейно. Система отсчета, движущаяся равномерно и прямолинейно относительно какой - либо инерциальной системы, также является инерциальной. Законы механики Ньютона выполняются в каждой из инерциальных систем. Если в одной из инерциальных систем находится наблюдатель, а другая инерциальная система движется относительно него со скоростью  $V$ , направленной вдоль оси  $X$ , то координаты двух систем связаны друг с другом преобразованием Галилея:

$$x = x' + Vt; y = y'; z = z'; t = t',$$

где штрихи обозначают координаты в движущейся системе. Вывод этой связи приведен в приложении.

Ньютон считал, что инерциальная система должна находиться в состоянии покоя или равномерного движения по отношению к абсолютному пространству. Он полагал, что существует такое как фон Вселенной. Концепция абсолютного пространства предполагает, что длина отрезка, измеренная покоящимся некоторой инерциальной системе наблюдателем, не зависит от того, в какой инерциальной системе этот отрезок находится. В теории Ньютона было возможно ввести единое или абсолютное время для всех инерциальных систем. Длительность интервала времени, протекшего между двумя событиями, была одной и той же во всех инерциальных системах.

Таким образом, концепция абсолютного пространства и абсолютного времени предполагала, что скорость движения инерциальной системы не влияет на результат измерения масштабов тела и интервалов времени.

Концепция абсолютного пространства и времени вызывала возражения еще у современников Ньютона, и окончательное решение вопроса было получено только в начале XX века в трудах Эйнштейна.

Другая трудность теории Ньютона состояла в том, что фактически в его теории были введены две массовые характеристики тел. В первом законе Ньютона  $F = m_i a$  вводится масса тела  $m_i$ , которая является мерой инерции тела или сопротивления тела любому изменению его состояния; эта масса называется инертной. С другой стороны сила тяготения двух масс  $m_g$  и  $M_g$ , удаленных на расстояние  $r$  друг от друга, находится из выражения

$$f = C_g m_g M_g / r^2,$$

где коэффициент пропорциональности  $C_g$  называется постоянной всемирного тяготения. В этом законе понятие массы имеет другое значение. Это гравитационная масса, она количественно измеряет способность данного тела притягивать другие тела и в принципе может не совпадать с инертной массой. Можно пояснить это различие, прибегнув к аналогии с электрическим зарядом. Будем считать гравитационную массу тела его гравитационным зарядом, эта аналогия возникает, поскольку сила взаимодействия между двумя зарядами (закон Кулона) имеет тот же вид, что и закон тяготения. Тогда два тела с одинаковой инертной массой могут иметь совершенно различные заряды и под действием одного и того же электрического поля приобретать различные ускорения. Однако в гравитационном поле Земли ускорение всех тел одинаково -  $g = 9.81 \text{ м/сек}^2$ . Это возможно только если отношение гравитационной массы к инертной для всех тел одинаково. Это можно видеть из следующих соотношений.

$$F = m_i a; \quad F = C_g m_g M_g / r^2,$$

$$a = F/m_i = C_g M_g / R^2 m_g / m_i = g = const,$$
$$m_g / m_i = const$$

Ньютон отчетливо понимал принципиальную разницу между гравитационной и инертной массами тела. Он провел серию экспериментов с разными телами, пытаясь обнаружить различие в ускорении их свободного падения, но в пределах точности своих измерений не нашел этой разницы. Поскольку этот вопрос имеет весьма принципиальное значение, опыты по измерению отношения гравитационной и инертной масс повторялись в различных экспериментах многократно. Сейчас установлено, что это отношение постоянно для всех тел с относительной точностью  $10^{-12}$ .

Поскольку эти два вида массы всегда находятся в одной и той же пропорции друг к другу, единицу измерения для них подобрали так, чтобы их отношение оказалось равным единице. В общей теории относительности Эйнштейна постулируется равенство инертной и гравитационной масс; это положение носит название принципа эквивалентности и является одним из важнейших в этой теории.

Механика Ньютона была построена и экспериментально проверена для тел, движущихся со скоростями много меньшими скорости света. С развитием экспериментальной физики стали возможны измерения поведения электронов при скоростях, соизмеримых со скоростью света. Использование электронов для этих экспериментов было связано с тем, что электроны являлись элементарными частицами, которые наиболее просто могли быть получены в лабораторных условиях. Масса электронов достаточно мала и это позволяет ускорять их до больших скоростей в электрических полях с доступной величиной напряженности. В этих экспериментах сразу выяснилось, что законы ньютоновской механики не могут правильно описать наблюдаемые явления. Эти проблемы были решены в частной или специальной теории относительности, созданной Эйнштейном.

## Основные выводы.

1. Ньютон установил, что как движением небесных тел в Солнечной системе так и всех тел, падающих на Землю, управляет одна и та же сила, которую он назвал тяготением.
2. Ньютон сформулировал законы, которые имеют универсальное применение для сил любой природы, не только сил притяжения. Разработанный им математический аппарат позволял рассчитать траекторию тела, если заданы силы, действующие на него, и начальные условия.
3. Сила тяготения действует во всей Вселенной, однако природа этой силы оставалась неизвестной.
4. Точность теории Ньютона настолько высока, что его механика послужила образцом, по которому строилась классическая физика. Механистический подход состоит в попытке объяснения всех физических явлений как проявления перемещения тел под действием сил.

5. Инерциальной системой называется система отсчета, в которой тела при отсутствии внешних воздействий покоятся или движутся равномерно и прямолинейно. Законы механики Ньютона выполняются в каждой из инерциальных систем.
6. Понятия пространства и времени в механике Ньютона имеют абсолютный характер, что означает то, что никакие тела, никакие движения этих тел не могут изменить пространственные масштабы тела и промежутки времени протекания процессов.
7. Механика Ньютона была построена как теория дальнего действия, т.е. скорость распространения взаимодействия между телами предполагалась мгновенной.
8. Недостатки теории были преодолены в дальнейшем при создании Эйнштейном теории относительности. Тогда были установлены пределы применимости механики Ньютона: движение со скоростями, малыми по сравнению со скоростью света, в слабых полях тяготения.

## 8 Специальная (или частная) теория относительности Эйнштейна.

Развитие физики в XIX веке привело к открытию электромагнитных волн. Сначала существование этих волн следовало из уравнений Максвелла, описывающих взаимосвязь электричества и магнетизма. Согласно теории Максвелла, каждая заряженная частица создает в пространстве поле, с которым могут взаимодействовать другие заряженные частицы. Проявление этого поля состоит в том, что заряженная частица, помещенная в это поле, испытывает воздействие силы. Введение понятия поля отличалось от ньютоновской концепции тяготения, где тяготение считалось силой прямого взаимодействия между разделенными пространством массами. В теории Максвелла движение частицы, помещенной в данную точку пространства, определялось силовой характеристикой - напряженностью поля в этой точке.

Уравнения Максвелла явились теоретическим обобщением экспериментально установленных законов, описывающих взаимодействие токов с магнитными полями. Но эти уравнения давали большее, чем от них ожидал их создатель: из них следовало, что при движении зарядов возникают электромагнитные волны, распространяющиеся в пространстве со скоростью света. Эти волны были обнаружены, и тогда возник вопрос о среде, в которой распространяются эти волны. В физике к этому моменту были известны различные волновые процессы, но для каждого конкретного волнового процесса была известна среда, в которой распространяются эти волны. Например, звуковые волны - это колебания плотности воздуха. Волны на поверхности воды - это колебание молекул воды. По аналогии с этими процессами пришлось ввести гипотезу о существовании некой субстанции - эфира, заполняющего все пространство, который и является носителем электромагнитных колебаний. Предполагалось, что этот эфир неподвижен, а, следовательно, та система отсчета, в которой он неподвижен, и есть то абсолютное пространство, которое вводилось Ньютоном.

Эфир должен обладать весьма парадоксальными свойствами. Для того, чтобы он не оказывал торможения движения Земли по орбите, его плотность должна быть

исчезающе мала; для того, чтобы в нем могли возбуждаться высокочастотные колебания эфира должен иметь упругость большую, чем сталь.

Считалось, что свет распространяется в неподвижном эфире. Но если Земля движется в этом эфире, то скорость света, измеренная наблюдателем, расположенным на Земле, должна зависеть от скорости движения Земли относительно эфира. Были предложены и поставлены опыты по определению скорости света, распространявшегося вдоль и против скорости движения Земли и в перпендикулярном к нему направлении. Этот опыт был поставлен Майкельсоном и Морли, и его результат состоял в том, что никакой разницы в скорости света в зависимости от направления распространения света по отношению к скорости Земли не существует. Ожидалось же, что будут получены значения для скорости света

$$c_+ = c + V_e \quad c_- = c - V_e$$

против и по направлению движения Земли. Здесь  $c$  - скорость распространения света в эфире,  $V_e$  - скорость движения Земли относительно эфира,  $c_+$ ,  $c_-$  - измеренные скорости света, испущенного источником в направлении движения Земли и против этого направления.

Это означало, что для света не выполняется надежно установленный эффект сложения скоростей: если скорость движения тела в некоторой системе координат, движущейся со скоростью  $V$  относительно неподвижного наблюдателя, есть  $U$ , то если неподвижный наблюдатель измерит скорость этого тела в своей системе координат, он получит значение  $U' = U + V$ . Были поставлены и другие опыты с зарядами и электромагнитными полями, целью которых было определение эффектов, вызванных движением Земли относительно неподвижного эфира, и распространением поля в этом эфире. Результат этих экспериментов был отрицательным.

Таким образом, экспериментально было установлено:

1. нет никаких эффектов, подтверждающих существование эфира;
2. скорость света одна и та же независимо от того, покоится или движется источник света относительно покоящегося наблюдателя.

Возникала еще одна проблема. Законы механики выполняются во всех инерциальных системах. Математически это выражалось в справедливости преобразований Галилея при сложении скоростей. Но уравнения Максвелла, правильно описывающие электрические и магнитные явления, изменяли свой вид при переходе к другой инерциальной системе. Это означало, что в этой системе должны существовать иные, чем в неподвижной системе, эффекты. Вопрос состоял в том, почему законы физики для механических явлений не чувствительны к равномерному прямолинейному движению, а законы для электрического поля должны зависеть от движения наблюдателя. Однако эксперимент не подтверждал этой зависимости.

Все эти проблемы были устранены в разработанной Эйнштейном теории, которая разрешила эти противоречия ценой коренного пересмотра классических понятий пространства и времени.

Эта теория основывается на двух положениях. Первое положение, получившее название принципа относительности, состояло в утверждении эквивалентности друг другу всех инерциальных систем отсчета в отношении действия физических законов для любых взаимодействий, а не только механических. Это означает, что равномерное прямолинейное движение инерциальной системы никак не отражается на результатах, проводимых в ней экспериментов. Все равномерно движущиеся друг

относительно друга наблюдатели, проводя один и тот же эксперимент, получают один и тот же результат и поэтому установят одни и те же физические законы. Принцип относительности постулировал отсутствие различия в проявлении законов механики и электродинамики при переходе в другие инерциальные системы отсчета. При этом естественным образом исчезала необходимость в рассмотрении абсолютной системы отсчета, связанной с неподвижным эфиром, а, следовательно, и в самом существовании этого эфира. Другая формулировка этого принципа: наблюдатель не может установить, покоится он или движется, какие бы опыты он не проводил.

Однако этот принцип требовал других законов преобразования координат и времени, отличных от преобразований Галилея. Соответствующие формулы были получены Эйнштейном при использовании второго положения его теории - постоянства скорости света во всех инерциальных системах отсчета. Другими словами, скорость света, измеренная любым равномерно движущимся наблюдателем, не зависит от относительной скорости перемещения источника света и наблюдателя.

Это положение кажется противоречившим здравому смыслу. Представим, что нам навстречу движется поезд со скоростью 100 км/час. В этом поезде пассажир идет вперед по ходу поезда со скоростью 5 км/час. Тогда скорость этого пассажира относительно нас равна 105 км/час. Этот вывод следует из закона сложения скоростей, выполняемого в классической механике и подтверждается на опыте. Рассуждая также, мы можем предположить, что если в поезде расположен источник света, то скорость света, измеренная нами составит  $300000 + 100$  (км/час) = 300100 км/час.

Однако теория Эйнштейна утверждает, что неподвижный наблюдатель измерит скорость этого света по-прежнему равной 300 000 км/час. Скорость источника света никак не сказывается на величине скорости распространения света. Несмотря на неожиданность таких выводов, они согласуются с отрицательным результатом всех экспериментов, в которых искали зависимость скорости света от относительной скорости движения наблюдателя и источника света. Физический мир устроен так, что все наблюдатели должны получить в результате своих измерений одно и то же значение скорости света.

Пользуясь принципом постоянства скорости света в инерциальных системах координат, Эйнштейн получил формулы, связывающие координаты точки в движущейся системе с координатами этой же точки в неподвижной системе. Справедливости ради заметим, что еще до Эйнштейна эти формулы эмпирическим путем были получены Лоренцем, почему и носят его имя. Но Лоренц не считал, что эти формулы описывают реально существующие эффекты.

Если одна из систем движется вдоль оси  $X$  системы координат неподвижной системы со скоростью  $u$ , то эти формулы имеют вид:

Преобразования Лоренца                      Преобразования Галилея

$$\begin{array}{l} x' = \frac{x - ut}{\sqrt{1 - u^2/c^2}} \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = \frac{t - ux/c^2}{\sqrt{1 - u^2/c^2}} \end{array} \qquad \begin{array}{l} x' = x - ut \\ y' = y \\ z' = z \\ t' = t \end{array}$$

В этих формулах  $u$  есть скорость относительного движения двух систем координат,  $c$  - скорость света. Справа для сравнения выписаны преобразования Галилея. Из вида формул для преобразований Лоренца видно, что при скорости  $u$ , малой по сравнению со скоростью света  $c$ , мы можем пренебречь членами порядка  $u^2/c^2$ , и тогда эти формулы перейдут в формулы преобразования Галилея. Другими словами, эффекты, предсказываемые теорией относительности, заметны только при скорости  $u$ , близкой к скорости света.

Другое принципиальное различие существует для преобразования времени по формулам Лоренца от формул Галилея. Для ньютоновской механики справедливы преобразования Галилея: они говорят, что время, регистрируемое часами движущейся инерциальной системы, и время, регистрируемое часами неподвижного наблюдателя, совпадают, это время никак не зависит от скорости движения по отношению к наблюдателю. Но преобразования Лоренца говорят о том, что, если событие, зафиксированное неподвижным наблюдателем, произошло в момент времени  $t$  и в точке  $x$ , то движущийся наблюдатель зафиксирует это событие в другой момент времени  $t'$ , который будет зависеть от скорости  $u$  и от координаты  $x$ . Это означает, что одно и то же событие, зарегистрированное двумя рассмотренными наблюдателями, происходит в разные моменты времени по часам этих наблюдателей.

Эти изменения в формулах преобразования координат и времени приводят к необычным с обыденной точки зрения эффектам. Рассмотрим эти эффекты.

Начнем с эффекта сокращения длин в движущейся системе координат. Пусть в движущейся системе координат покоится стержень. Его длина  $L_0$ . Наблюдатель, находящийся в неподвижной системе координат, измерив длину стержня, получит значение  $L$ , связанное со значением  $L_0$  соотношением (вывод этого соотношения приведен в приложении В)

$$L = L_0 \cdot \sqrt{1 - u^2/c^2}$$

Итак, если мы производим измерение длины движущегося стержня в своей покоящейся системе координат, то получим значение  $L$ , которое меньше, чем  $L_0$ .

Эффект сокращения длины является взаимным по отношению к обеим инерциальным системам: если стержень покоится в неподвижной системе, а наблюдатель в движущейся системе производит измерение его длины, он получит в точности такое же меньшее значение длины, как и в рассмотренном ранее случае.

Другое отличие преобразований Лоренца по сравнению с преобразованиями Галилея состоит в том, что время течет по-разному в покоящейся и движущейся системах. Мы видим, что в начальный момент времени  $t = 0$  и при  $x = 0$  в движущейся системе значение времени в точке с координатой  $x' = 0$  равно  $t' = 0$ . Это значит, что мы произвели синхронизацию часов в обеих системах координат, но эту синхронизацию можно провести только в одной точке. С точки зрения наблюдателя в неподвижной системе координат в один и тот же момент времени  $t$  показания часов  $t'$  в движущейся системе зависят от их местоположения  $x$ :

$$t' = \frac{t - ux/c^2}{\sqrt{1 - u^2/c^2}},$$

Наблюдатель в движущейся системе утверждает, что все часы показывают одно и то же время; мы же видим, что показания часов различны.



Далее, если неподвижный наблюдатель будет следить за показаниями часов, расположенных в одной и той же точке движущейся системы, то он установит, что, если по его часам прошло время  $\Delta t$ , то по часам в движущейся системе координат прошло время  $\Delta t' = \sqrt{1 - u^2/c^2} \cdot \Delta t$ , т.е. меньший интервал времени (вывод этого соотношения приведен в приложении В).

Длительность  $\Delta t'$  называется собственным временем; оно измеряется в той системе, где часы, измеряющие интервал времени, покоятся. Собственное время имеет минимальное значение. Этот же интервал времени между теми же событиями, измеренный в любой другой движущейся системе координат, будет больше. Другими словами, для неподвижного наблюдателя часы в движущейся системе отсчета идут медленнее, чем его часы. Этот парадоксальный вывод теории подтвержден многими экспериментами. Замедление хода часов в движущейся системе координат, наблюдаемое неподвижным наблюдателем, воспринимается с трудом.

Но мы знаем, что никакими опытами в любой инерциальной системе нельзя установить движется она или покоится. Поэтому следует признать, что эффект замедления хода часов в движущейся системе координат (например, в космическом корабле), наблюдаемый нами из нашей системы координат будет существовать для всех часов, независимо от их конструкции, в том числе и для биологических часов. Это означает, что если космическое путешествие длилось один год, то вернувшийся к нам космонавт постареет меньше, чем на год.

Конкретная разница в возрасте между ним и нами будет зависеть от скорости космического корабля. Этот эффект действительно можно наблюдать экспериментально. Например, космические частицы, попадая в атмосферу Земли, при взаимодействии с атомами газов рождают мюоны, частицы, время жизни которых составляет 0.000002 сек. Известно, что эти частицы рождаются на высотах не менее 10 км над поверхностью Земли. Но за время  $2 \cdot 10^{-6}$  сек мюоны, даже двигаясь со скоростью света, пройдут лишь около 600 м. Однако мюоны наблюдаются на поверхности Земли. Каким образом им удается выжить?

Дело здесь в эффекте замедления времени: время жизни мюона составляет указанное значение в той системе координат, где он покоится. Но мы наблюдаем за мюоном из своей системы координат, относительно которой мюон движется, и время движения мюона на расстояние 10 км со скоростью, близкой к скорости света, составит  $t_\mu = 3 \cdot 10^{-5}$  сек, но по часам, связанным с мюоном, пройдет время  $t'_\mu = t_\mu \cdot \sqrt{1 - u^2/c^2}$ , если  $\sqrt{1 - u^2/c^2} \leq 1/15$ , мюоны успеют долететь до Земли, не распавшись. Это произойдет, если их скорость будет составлять не менее 0.997 скорости света.

На эффекте замедления хода часов в движущейся системе координат основаны надежды на осуществимость космических путешествий к звездным системам, удаленных на такие большие расстояния, что свет от них идет к нам многие годы. Пусть, например, земляне направляют космический корабль со скоростью 0.99 скорости света к звезде, находящейся на расстоянии 70 световых лет. Тогда время, необходимое кораблю для того, чтобы долететь до звезды и вернуться назад по часам Земли составит 140 лет. Эффект замедления времени по часам корабля составит 7 раз, т.е. космонавты затратят 20 лет своей жизни на это путешествие и оно становится возможным в течение жизни одного поколения космонавтов на корабле.

Другое так же трудно воспринимаемое следствие теории относительности состоит в том, что события, происходящие одновременно в одной инерциальной системе, но

в разных пространственных точках, в другой системе происходят в разные моменты времени. Однако можно понять, что этот эффект является неизбежным следствием принятого нами постулата о неизменности скорости света в любой инерциальной системе.

Рассмотрим мысленный опыт. Космонавт установил двое часов так, что они находятся на равном расстоянии от него в носу и на корме корабля. Он хочет, чтобы они показывали одно и то же время. Для этого он посылает в обе стороны одновременно световой сигнал, а его помощники ставят по получении сигнала часы на одно и то же время. Очевидно световые сигналы придут к обоим часам одновременно, так как свет проходит одно и то же расстояние и скорость света в обоих направлениях внутри корабля одна и та же.

Но мы, находясь в другой системе, увидим, что свет, идущий к корме корабля придет к часам раньше, чем свет, идущий к носу корабля. Скорость света в нашей системе та же. Но корма корабля с нашей точки зрения движется навстречу свету, поэтому свет пройдет до момента попадания в часы меньшее расстояние, чем свет, распространяющийся к носу, так как в этом случае ему придется пройти большее расстояние из-за того, что эти часы удаляются от светового сигнала. Таким образом, свет сначала придет к кормовым часам, а затем к часам в носовой части. События одновременные для наблюдателя на корабле, для нас будут происходить в разные моменты времени.

Теория устанавливает еще одно очень важное соотношение между полной энергией движущегося тела  $E$  в неподвижной системе отсчета и его массой, измеренной в системе, где это тело находится в состоянии покоя, и называемой массой покоя  $m_0$ .

$$E = m_0 \cdot c^2 / \sqrt{1 - u^2/c^2}$$

Отсюда следует, что никакое тело с неравной нулю массой, разогнать до скорости света нельзя. Чем ближе к скорости света скорость частицы, тем больше энергии нужно затратить на увеличение ее скорости. Можно приблизиться к скорости света, но достичь ее нельзя. Этот вывод подтверждается правилом сложения скоростей в механике теории относительности. Если в инерциальной системе, движущейся относительно неподвижного наблюдателя со скоростью  $U$ , некоторый объект движется со скоростью  $v'$ , то для неподвижного наблюдателя его скорость  $v$  будет определяться соотношением

$$v = \frac{v' + U}{1 + v'U/c^2}$$

Из этой формулы следует, что если  $v'$  будет стремиться к  $c$ , то  $v$  не сможет стать больше  $c$ ; предельное значение  $v = c$ .

Другое следствие теории состоит в том, что скорость частиц с нулевой массой покоя (гамма-кванты, нейтрино) могут двигаться только со скоростью света: только в этом случае их энергия будет отлична от нуля.

Из этого же соотношения вытекает, что для покоящегося тела его полная энергия  $E$  определяется его массой покоя  $m_0$ :

$$E = m_0 \cdot c^2$$

Это знаменитая формула, полученная Эйнштейном. Она лежит в основе расчетов всех процессов, в которых изменяется суммарная масса частиц, участвующих в ре-

акции. Если происходит процесс, в котором масса тел уменьшается, то в нем должна выделяться большая энергия.

Действительно, пусть в результате какого-то процесса тело с массой  $m_0$  разделилось на два осколка с массами  $m_1$  и  $m_2$ . Пусть при этом суммарная масса осколков  $m_1 + m_2$  меньше исходной массы  $m_0$ . Мы знаем, что закон сохранения энергии выполняется всегда. Для энергий, определяемых массами покоя тел этот закон должен иметь вид

$$m_0 \cdot c^2 = m_1 \cdot c^2 + m_2 \cdot c^2 + \Delta E,$$

где член  $\Delta E$  добавлен в правую часть уравнения для того, чтобы сохранялось равенство. Это означает, что при распаде тела в таком процессе будет выделена энергия  $\Delta E$  в том или ином виде. Например, она может быть кинетической энергией осколков или энергией кванта электро-магнитного колебания, или суммой того и другого.

Такие процессы известны: например, процессы слияния легких ядер и деления тяжелых ядер. На них основана вся ядерная энергетика настоящего и будущего.

Мы рассмотрели физические следствия, вытекающие из теории относительности Эйнштейна. Но она имела и другой важный аспект: она революционным образом изменила нашу концепцию свойств пространства и времени.

Наш повседневный опыт, получаемый из наблюдения процессов, происходящих со скоростями, много меньшими скорости света, подсказывает нам, что время представляет независимый ни от чего, непрекращающийся, ровно текущий поток. Но теория относительности доказала, что абсолютных стандартов измерения времени и расстояний не существует. Два наблюдателя, движущиеся равномерно относительно друг друга и следящие за одними и теми же двумя различными событиями, придут к разным выводам о том, насколько эти события разделены в пространстве и времени.

В формулу теории, связывающую время одной системы координат с временем в другой, кроме собственно времени входит и координата, т.е. в математическом смысле три пространственные координаты и время равноправны. Это обстоятельство делает целесообразным объединить трехмерное пространство и время в единое четырехмерное пространство. Построение теории в таком пространстве становится более логичным и простым. В этом смысле и надо понимать утверждение о том, что наша Вселенная четырехмерна.

Основной постулат теории относительности о существовании предельной скорости для движения чего либо, равной скорости света в вакууме, уточняет наши представления о причинно - следственных связях в природе. Мы в принципе можем влиять на процессы, которые отстают от нас на расстояние  $R$ , только если они произойдут позже, чем через время  $\Delta t = R/c$  (время, необходимое свету для прохождения от нас до рассматриваемой точки).

Итак, мы рассмотрели некоторые следствия, вытекающие из теории относительности, которая базируется на двух принципах: принципе относительности и принципе постоянства скорости света во всех инерциальных системах координат. Один из создателей теории относительности Пуанкаре так сформулировал принцип относительности: "Законы физических явлений обязаны быть одинаковыми для неподвижного наблюдателя и для наблюдателя, который относительно него переносится равномерным движением, так что у нас нет и не может быть способов отличить, уносит нас такое движение, или не уносит." Как мы видели сила этого принципа в том, что он позволяет делать определенные предсказания. Но не следует считать, что этот

принцип является плодом философских рассуждений; он результат многочисленных опытов.

Общефилософские рассуждения о том, что абсолютной скорости не существует, поскольку нельзя измерить скорость, не видя по отношению к чему она измеряется, в принципе верны, но физики считают, что необходимы экспериментальные доказательства этого принципа, и они получены.

Следует предостеречь от неправильного утверждения о том, что невозможно обнаружить никакого движения, находясь внутри какой-то системы. Это справедливо только, если эта система совершает равномерное движение. Но если система вращается, то это явно проявляется в том, что на все тела действует центробежная сила.

Какие же новые идеи принесла теория относительности в физическую концепцию? Основное изменение состоит в изменении понимания концепции пространства и времени. Раньше эти две категории существовали независимо друг от друга. Считалось, что движение системы никоим образом не влияет на время протекания процессов и на пространственное расстояние между двумя событиями. Теория относительности показала, что существует связь между пространственными координатами и временем. Формально это выражается в том, что в формулах Лоренца пространственные переменные и время входят равноправно.

В соответствии с этой теорией для неподвижного наблюдателя показания часов, расположенных в разных точках движущейся системы координат, зафиксированные в один и тот же момент времени по его часам, будут иметь разное значение. Космонавт говорит нам, что у него на корабле все часы в один и тот же момент времени показывают одно и то же время, а мы собственными глазами видим, что оно разное и зависит от положения часов на корабле.

Смириться с этим и понять нелегко, но необходимо. Таковы физические законы нашего мира. Теория относительности показала, что правильное описание нашего мира состоит в признании факта его четырехмерности, которое объединяет три пространственные и одну временную координаты в единую конструкцию. Построение этой теории привело и к изменению философских основ физики.

Скажем об этом словами известного физика-теоретика, одного из создателей квантовой электродинамики Роберта Фейнмана.

Первое: даже те идеи, которые уже очень долго держатся и очень точно проверены, могут быть ошибочными. Теория Эйнштейна более правильна, чем теория Ньютона, которая является предельным случаем первой, справедливой при относительно малых скоростях.

Второе: если возникают странные идеи, вроде того, что время тянется медленнее и т.д., то неуместен вопрос - нравится ли нам это. Единственно уместен вопрос - согласуются ли эти идеи с тем, что показал опыт.

Третье: (это касается собственно физики): надо обращать внимание на симметрию законов, что означает поиск способов преобразования физических законов, при которых они сохраняют свою форму. Эта идея оказалась очень плодотворной и с тех пор является одной из основ при построении новых физических теорий.

## Основные выводы.

1. Специальная теория относительности (СТО) построена на использовании двух

постулатов. Первый - принцип относительности, утверждающий, что все физические явления происходят во всех инерциальных системах отсчета одинаково; другая формулировка этого принципа: невозможно, находясь в инерциальной системе, определить движется она или покоится. Второй - скорость света постоянна во всех инерциальных системах; другая формулировка этого принципа - скорость света не зависит от скорости движения источника света или скорости наблюдателя.

2. При переходе из одной инерциальной системы в другую меняются не только пространственные координаты, но и время. Законы пересчета этих величин даются преобразованиями Лоренца.
3. СТО предсказывает парадоксальные с точки зрения классической физики эффекты: сокращение длины движущихся объектов, замедление течения времени в движущихся инерциальных системах относительно неподвижной, события, одновременные в одной системе не являются таковыми в другой, существование предельной скорости.
4. СТО установила связь между массой и энергией - соотношение, являющееся основой при разработке ядерной энергетики.
5. СТО внесла радикальные изменения в концепцию пространства и времени. Раньше эти две категории существовали независимо друг от друга. СТО показала, что существует связь между пространственными координатами и временем. Правильное описание нашего мира состоит в признании факта его четырехмерности, которое объединяет три пространственные и одну временную координаты в единую конструкцию. Построение этой теории привело и к изменению философских основ физики.
6. Если новая физическая теория предсказывает эффекты, не согласующиеся с нашими представлениями, то независимо от того, понимаем мы идеи этой теории или нет, критерий правильности теории состоит в согласии предсказаний теории с опытом.

## 9 Общая теория относительности Эйнштейна.

Мы уже говорили об исключительной точности механики Ньютона в применении к вычислению орбит небесных тел в солнечной системе. Но был обнаружен один факт, не находивший себе объяснения.

В 1859 г. Леверье обнаружил, что поведение орбиты Меркурия не укладывается в рамки ньютоновской теории тяготения. Под действием других планет Солнечной системы орбита Меркурия должна медленно вращаться вокруг солнца, так что точка наибольшего удаления планеты от Солнца (перигей) должна смещаться на 557" в столетие. Но наблюдаемое значение отличалось от вычисленного на 43". Это расхождение превышало возможную ошибку расчетов, т.е. было реально существующим. Леверье предположил, что это отклонение связано с существованием неизвестной планеты, расположенной еще ближе к Солнцу, чем Меркурий, но обнаружить такую планету не удалось.

Эта загадка была решена после создания Эйнштейном общей теории относительности (ОТО). Основы этой теории были сформулированы Эйнштейном в виде принципа эквивалентности. Поясним содержание этого принципа.

Эйнштейн обратил внимание на то, что наблюдатель, находящийся в закрытом помещении не в состоянии отличить влияние ускорения от эффектов тяготения при условии тождественности инерционной и тяготеющей масс.

Пусть наблюдатель находится в кабине, стоящей на поверхности Земли; он замечает свой обычный вес и отмечает, что все тела совершенно одинаково ускоряются по направлению к полу. Представим себе, что наблюдатель находится в кабине, которая расположена в пространстве, где отсутствует гравитация, но кабина с помощью двигателей ускоряется, причем ее ускорение в точности равно ускорению свободного падения у поверхности Земли. В такой кабине наблюдатель снова обнаружит, что все предметы падают на пол с тем же самым ускорением и опять почувствует свой обычный вес.

В такой кабине невозможно осуществить никакого эксперимента, который позволил бы наблюдателю отличить явления, связанные с тяготением, от явлений, связанных с ускорением кабины. Внутри небольшой замкнутой кабины эффекты гравитации и ускоренного движения неразличимы.

Представим себе опять закрытую кабину, на этот раз кабину лифта. Если трос оборвется, то кабина вместе со своим содержимым начнет свободно падать под действием силы тяжести, причем все тела внутри ее будут ускоряться одинаково. Наблюдатель в такой кабине не будет ощущать никакого давления на пол кабины, т.е. веса собственного тела, а окружающие его тела не будут менять своего положения относительно него. В кабине наступит состояние невесомости.

Какие бы опыты наблюдатель внутри кабины не ставил, он не сможет определить находится ли он в состоянии свободного падения в поле силы тяжести или в области пространства, где тяготение отсутствует. С точки зрения другого наблюдателя, находящегося вне кабины, все тела внутри кабины ускоряются так же, как она сама, поэтому движение предметов относительно пола кабины отсутствует.

Из этих примеров видно, что эффекты тяготения можно создавать или устранять, выбирая подходящую систему отсчета. В свободно падающем лифте справедливы все законы механики Ньютона. Если телу внутри кабины придать некоторую скорость, оно будет находиться в состоянии прямолинейного равномерного движения, пока не ударится о стенку кабины.

Таким образом, свободно падающая в поле силы тяжести кабина, находящаяся в состоянии равноускоренного движения, представляет инерциальную систему отсчета: внутри ее соблюдаются все условия определяющие инерциальную систему. (Напомним, что инерциальной системой называется система отсчета, в которой при отсутствии внешних воздействий тела покоятся или движутся равномерно и прямолинейно).

Принцип эквивалентности утверждает, что невозможно различить явления гравитации и ускоренного движения в закрытой кабине и что все законы природы имеют один и тот же вид как в свободно падающей системе отсчета, так и в любой другой инерциальной системе отсчета. Эйнштейн распространил концепцию инерциальной системы на все свободно падающие в поле тяготения системы отсчета.

Если мы приняли принцип эквивалентности, то в состоянии уже сейчас без дальнейшей детализации предсказать некие эффекты. Так лучи света должны откло-

няться в гравитационном поле.

Рассмотрим это явление. Для этого вернемся к наблюдателю в свободно падающем лифте. В соответствии с принципом эквивалентности никаких проявлений тяготения в своей кабине он не заметит, поэтому брошенный им по направлению к стене мяч полетит по прямой линии. Но внешний наблюдатель увидит траекторию мяча, характерную для тела, находящегося в поле тяготения и брошенного горизонтально: мяч будет двигаться по параболе. Если теперь наблюдатель в кабине направит луч света параллельно полу кабины на высоте  $h$  от пола к противоположной стене, то для него траектория луча света должна быть той же самой, что и у мяча - прямой линией, и луч света попадет в точку, находящуюся на той же высоте  $h$  от пола. Но с точки зрения внешнего наблюдателя для того, чтобы луч света попал в точку на расстоянии  $h$  от пола, траектория движения света должна отличаться от прямой. За время прохождения луча света от наблюдателя в кабине до противоположной стенки кабина сместится на некоторое расстояние и для того, чтобы попасть свету в точку на высоте  $h$  от пола, траектория света должна отличаться от прямой параллельной полу кабины.

Таким образом, из принципа эквивалентности следует вывод: лучи света, проходя в поле тяготения, должны отклоняться от первоначального направления. Несколько другое объяснение этому эффекту можно дать, базируясь на положениях частной теории относительности об эквивалентности массы и энергии. Поскольку кванты света обладают энергией, они обладают и массой и как всякое тело, обладающее массой, в гравитационном поле испытывают тяготение и, следовательно, их траектория будет отличаться от прямой.

Длина траектории, проходимой светом в рассмотренном примере, различна для двух наблюдателей. Для наблюдателя, находящегося в гравитационном поле, это парабола, а для наблюдателя, находящегося в падающей кабине прямая. Длина отрезка параболы больше длины отрезка прямой, соединяющих одни и те же две точки. Так как скорость света постоянна, то время, необходимое свету для прохождения траектории, будет больше для наблюдателя, находящегося в гравитационном поле. Таким образом длительность одного и того же процесса различна для двух наблюдателей и будет меньше для наблюдателя в падающей кабине. Поскольку длительность отрезка времени измеряется часами, можно утверждать, что для наблюдателя, находящегося в падающей кабине, где отсутствует гравитационное поле, часы, находящиеся в гравитационном, поле идут медленнее.

Этот вывод сделан нами как следствие применения принципа эквивалентности и состоит в том, что ход часов зависит от величины гравитационного поля: чем больше сила тяготения в месте расположения часов, тем медленнее идут часы.

Итак, возможно рассматривать эффекты тяготения как эффекты, возникающие из-за ускорения системы отсчета. При таком рассмотрении все положения частной теории относительности должны также выполняться.

В частной теории относительности пространство и время объединяются в четырехмерное пространство. Особенностью этого пространства является то, что его кривизна равна нулю. Однако, что означают эти слова - кривизна пространства. Поясним это понятие на некоторых примерах.

Рассмотрим прямую. Это одномерное пространство с нулевой кривизной. Изогнем прямую. При этом мы должны перейти от одномерного пространства к двумерному, так как окружность лежит в плоскости. Окружность - это линия с постоянной,

отличной от нуля кривизной. Но кривизна плоскости, в которой лежит окружность, равна нулю. Если из некоторой точки плоскости во все стороны начнут двигаться с одной и той же скоростью муравьи и при этом мы потребуем, чтобы они двигались по кратчайшей линии и прошли одно и то же расстояние  $R$ , то все они будут двигаться по прямым линиям. В каждый момент времени все муравьи расположатся на окружности с центром в начальной точке. Полная длина этой окружности будет равна  $2\pi R$ .

Искривим эту плоскость. Для этого мы от плоскости должны перейти к некоторой поверхности в трехмерном пространстве. Давайте мы опять пустим муравьев из одной точки и потребуем, чтобы они прошли одно и то же расстояние  $R$  и при этом двигались по кратчайшему пути. Пройдя это расстояние, муравьи расположатся по некоторой кривой, которая не будет окружностью. Длина этой кривой  $L$  уже не будет равна  $2\pi R$ . Мерой кривизны нашей поверхности является отклонение полной длины  $L$  от величины  $2\pi R$ . Если  $L$  меньше  $2\pi R$ , то говорят, что кривизна поверхности положительна, если больше - отрицательна. Примером поверхности с положительной кривизной является дыня, с отрицательной - седло.

Кривизна поверхности может быть разной в разных точках этой поверхности. Более того, в некоторой части поверхность может быть плоской, а в других обладать кривизной. Этот способ определения кривизны можно распространить теперь на трехмерное пространство.

Пусть муравьи разбегаются от одной точки во всевозможных направлениях и проходят расстояние  $R$ , двигаясь по кратчайшему пути. В конце пути они выстроятся по замкнутой поверхности, напоминающей сферу. Кривизна трехмерного пространства определяется отклонением площади поверхности получившейся деформированной сферы от величины  $4\pi R^2$  - площади поверхности сферы в плоском пространстве. Но пространство теории относительности четырехмерное. Кривизна этого пространства вводится по аналогии с рассмотренными случаями.

Математическое содержание общей теории относительности состоит в вычислении кривизны четырехмерного пространства - времени под действием материи. Это вычисление проводится путем решения уравнений этой теории. После того как мы определили кривизну пространства, мы должны найти, как в этом пространстве будут двигаться тела, на которые не оказывают действия никакие силы.

Эйнштейн предположил, что тела, на которые не действуют никакие силы, движутся в искривленном пространстве - времени по наикратчайшим путям, соединяющим начальную и конечную точки любого отрезка траектории тела. Линия, соединяющая две точки пространства и имеющая наименьшую длину, называется геодезической. Выполняя эту последовательность вычислений, мы найдем траекторию любого тела, движущегося в поле тяготения других тел.

Однако в подходе Эйнштейна мы не вводим никаких сил тяготения между массами. Присутствие массивного тела искривляет пространство-время, независимо от того, имеется или нет в этом пространстве другое тело. Но если в этом пространстве-времени оказывается другое тело, оно начинает двигаться по кратчайшим линиям этого пространства.

Мы видим, что при таком подходе проблема дальнего действия сил тяготения не возникает. Движущееся тело следует геометрии пространства-времени в каждой точке своей траектории и никакого непосредственного влияния тела, создающего геометрию пространства, на движущее тело нет.



Наиболее радикальные следствия из общей теории относительности состоят в изменении наших взглядов на свойства пространства и времени. При таком подходе к тяготению его уже нельзя считать силой непосредственного взаимодействия между отдельными телами, а то, что мы принимаем за силу притяжения, следует рассматривать лишь как проявление специфики геометрических свойств пространства и времени.

Приведем некую наглядную картину, поясняющую это тезис. Вообразим, что на поверхности сферы обитают существа, которые чувствуют только два измерения: они могут передвигаться по поверхности сферы, но вертикальное направление для них не существует. Эти существа считают свою поверхность плоской и полагают, что в ней справедливы все законы евклидовой геометрии.

Пусть два существа начинают свой путь с экватора по двум параллельным прямым, перпендикулярным экватору. Для нас, смотрящих на них из трехмерного пространства, видно, что их параллельные прямые есть две дуги большого круга, пересекающиеся на полюсе, где эти существа должны встретиться. Но для двумерных существ сохраняется положение о том, что параллельные прямые не пересекаются, и то, что в процессе своего движения они оказываются все ближе и ближе друг к другу, они будут толковать таким образом, что между ними существует сила притяжения, заставляющая их двигаться навстречу друг другу. Для нас же, способных смотреть на них из реального трехмерного пространства, очевидно, что никакого притяжения между ними нет, а их сближение вызывается тем, что они должны двигаться по кратчайшим путям, а на сфере эти пути есть меридианы, пересекающиеся на полюсе. Стало быть, двигаясь по меридианам, они с неизбежностью начнут сближаться.

Эта аналогия показывает, каким образом геометрические свойства пространства имитируют действие силы. Решения уравнения общей теории относительности, полученные Эйнштейном, описывают кривизну пространства и времени, а кратчайшие линии этого пространства есть траектории частиц и света в этом пространстве.

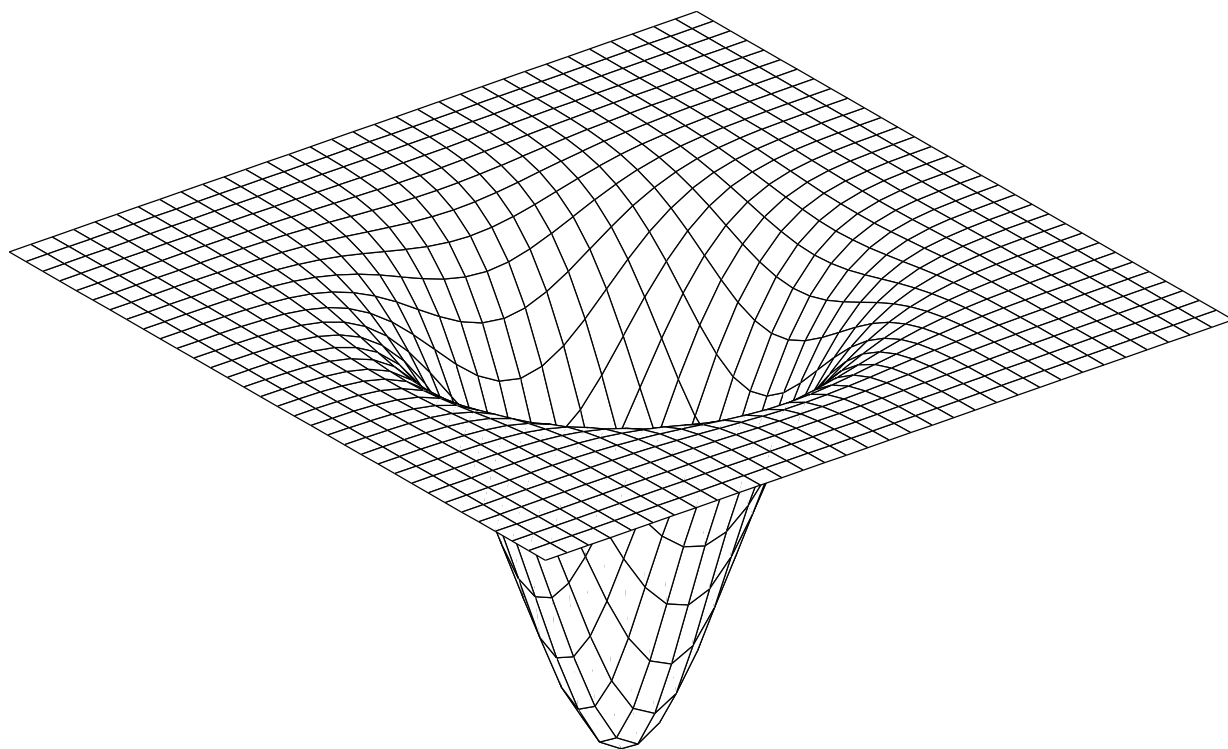
Движение планеты вокруг Солнца, с точки зрения этой теории, есть свободное движение тела, не испытывающего никаких сил, по геодезическим линиям пространства, искривленного присутствием массивного Солнца.

Массивное тело искривляет пространство-время. Это искривление максимально вблизи тела и убывает по мере удаления от тела. Некоторой аналогией этого искривления может служить форма растяжимой поверхности под действием груза, лежащего на этой поверхности. На рисунке изображена форма такой поверхности. Линии показывают изменение формы прямых линий на поверхности, искривленной под действием груза.

Экспериментальная проверка общей теории относительности Эйнштейна к настоящему моменту проведена многими способами и в пределах ошибок эксперимента получено согласие с этой теорией. Мы остановимся только на некоторых.

Эйнштейн показал, что в его теории орбита планеты, обращающейся вокруг Солнца, должна представлять эллипс, со временем поворачивающийся вокруг Солнца (прецессирующий). Выполненный по этой теории расчет дал для орбиты Меркурия величину  $43''$  в столетие в полном согласии с экспериментальными данными, что, как упоминалось выше, являлось расхождением между наблюдениями и расчетами по теории Ньютона.

Согласно общей теории относительности, луч света, проходя вблизи Солнца, под действием его поля тяготения должен отклониться от прямой линии, при этом угол



отклонения тем больше, чем ближе к краю диска проходит луч. Максимальное отклонение должно составить  $1.75''$ . Однако заметить этот эффект мы можем только во время солнечного затмения, так как только в таких условиях мы можем наблюдать звезды вблизи края солнечного диска.

Для проверки этого предсказания теории через три года после ее появления в 1919 г. была организована специальная экспедиция под руководством английского астронома А.Эддингтона, которая провела фотографирование видимых положений звезд во время солнечного затмения. Был обнаружен эффект смещения положения звезд, и величина смещения составила  $(1.98 \pm 0.18)''$ , повторная обработка тех же фотопластинок в 1979 г. дала величину  $(1.87 \pm 0.13)''$ , еще ближе к теоретической оценке. Впоследствии подобные наблюдения проводились неоднократно. Наиболее точные измерения стали возможными для наблюдения отклонения радиоволн от космических источников, если направление на них проходит вблизи края Солнца. Эти наблюдения совпадают с точностью 1% с предсказаниями общей теории относительности.

Третий пример подтверждения общей теории относительности связан с измерением изменения длины волны света при прохождении его в гравитационном поле. Долгое время экспериментальная проверка этого следствия теории казалась невозможной. В доступном гравитационном поле Земли относительное смещение частоты составляло менее  $7 \cdot 10^{-10}$ . Однако с течением времени были развиты методы, позво-

лившие производить измерение частоты с такой точностью. В 1960 г. Паунд и Ребка, сотрудники Гарвардского университета, измерили сдвиг частоты гамма - излучения, кванты которого направлялись снизу вверх и сверху вниз в анализатор частоты гамма квантов. В первом случае гамма - кванты, поднимаясь в поле тяготения, теряли энергию и уменьшали свою частоту, во втором падали и увеличивали частоту. Измеренное значение сдвига частоты совпало с предсказаниями с точностью около 1%.

Поскольку период колебаний световой волны может служить эталоном времени, то в соответствии с принципом эквивалентности все эффекты гравитационного поля, которые существуют для света, должны сказываться на любых часах, независимо от их устройства. Наиболее точный эксперимент по проверке общей теории относительности был осуществлен в 1978 по измерению изменения хода часов при подъеме часов в гравитационном поле Земли. В соответствии с предсказаниями теории ход часов замедляется в гравитационном поле, при этом чем больше величина поля, тем больше этот эффект. В гравитационном поле на поверхности Земли относительное замедление времени составляет величину  $7 \cdot 10^{-10}$ , т.е. 20 сек за 1000 лет.

В эксперименте Вессота и Левина из Гарвард - Смитсоновского астрофизического центра на высоту 10000 км ракетой были подняты водородные мазерные часы, ход которых сравнивался с ходом таких же часов, оставленных на Земле. Хотя относительная разность частот этих часов должна была составить всего  $4.5 \cdot 10^{-10}$ , ее можно было измерить, поскольку точность хода этих часов равнялась  $1 \cdot 10^{-15}$ . Анализ результатов опыта занял два года, результат совпал с предсказаниями общей теории относительности с точностью до 0.02%.

Итак, общая теория относительности показывает, что механика Ньютона верна лишь приближенно. Более точной является частная и общая теории относительности. Это вовсе не означает, что механика Ньютона неверна и ее следует заменить во всех случаях на указанные теории. Эйнштейновская механика включает в себя механику Ньютона как предельный случай, справедливый при рассмотрении движения тел со скоростями, много меньшими скорости света, и в не слишком сильных гравитационных полях.

Для практических применений в инженерной практике при конструировании машин и механизмов, для расчетов траекторий космических аппаратов по-прежнему пользуются формулами механики Ньютона, поскольку они обеспечивают необходимую точность и значительно проще для использования. Но уже сейчас есть области практики, где необходимо пользоваться формулами частной теории относительности. Например, при расчете траекторий электронов при конструировании электронно-лучевой трубки для телевизора, так как скорость электронов в ней достигает трети скорости света, без использования формул частной теории относительности построить трубку с хорошей четкостью изображения невозможно.

Что касается использования общей теории относительности для расчета траекторий космических аппаратов или небесных тел в пределах солнечной системы, то удобнее пользоваться ньютоновской механикой. Гравитационные поля в Солнечной системе слишком малы и поэтому отличия в результатах расчетов по двум теориям весьма незначительны. А так как механика Ньютона проще, то ее и применяют.

Но уже сейчас существуют особо точные методы определения координат по моменту времени приема сигналов со спутников. Здесь уже необходимо учитывать изменение хода часов на больших высотах, где вращается спутник, иначе ошибка в определении координат составит несколько километров.

## Основные выводы.

1. Общая теория относительности основана на принципе эквивалентности: наблюдатель, находящийся в закрытом помещении, не в состоянии отличить влияние ускорения от эффектов тяготения при условии тождественности инерционной и тяготеющей масс.
2. Можно рассматривать эффекты тяготения как эффекты, возникающие из-за ускорения системы отсчета.
3. Математическое содержание общей теории относительности состоит в вычислении кривизны четырехмерного пространства-времени под действием материи. Присутствие массивного тела искривляет пространство - время.
4. Тела движутся в искривленном пространстве - времени по наикратчайшим путям. Движущееся тело следует геометрии пространства-времени в каждой точке своей траектории и никакого непосредственного влияния тела, создающего геометрию пространства, на движущее тело нет.
5. Явление тяготения в ОТО отсутствует: то, что мы принимаем за силу притяжения, следует рассматривать лишь как проявление специфики геометрических свойств пространства - времени.

## 10 Расширяющаяся вселенная и Большой Взрыв.

Общая теория относительности по своему содержанию является теорией, описывающей свойства пространства и времени в зависимости от масс, расположенных в ней тел. К моменту создания этой теории общепринятая точка зрения на строение нашей Вселенной состояла в том, что Вселенная является однородной и стационарной. Под однородной и стационарной Вселенной мы понимаем такую Вселенную, в которой галактики распределены в ее объеме в среднем одинаково и расстояние между ними не меняется во времени; кроме того, свойства Вселенной не зависят от направления наблюдения.

Однако, решения уравнений общей теории относительности не описывали стационарную Вселенную. Это решение показывало, что под действием гравитации все вещество со временем должно было собраться в одной точке. Для того, чтобы получить нужное решение, Эйнштейн добавил к своим уравнениям член, учитывающий отталкивание материи. Этот член не вытекал из принципов теории, и его добавление было необходимо для того, чтобы существовало решение, описывающее стационарную Вселенную.

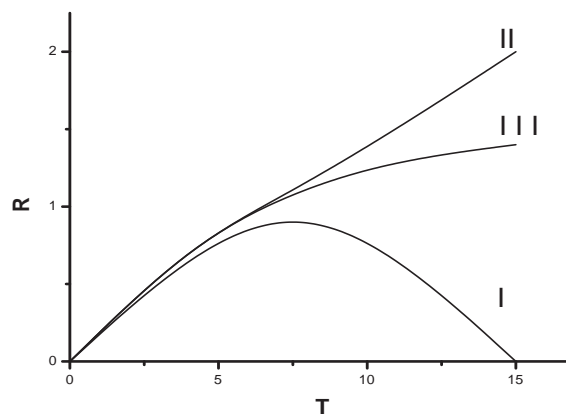
Вскоре, после того как Эйнштейн создал общую теорию относительности, профессор Петербургского университета и его выпускник А.А.Фридман в 1922 г. нашел решение уравнений теории, которые описывали однородную Вселенную, находящуюся в нестационарном состоянии.

Фридман сделал два очень простых исходных предположения: Вселенная изотропна, что означает 1) свойства Вселенной не зависят от направления, в котором мы производим наблюдения; 2) во Вселенной нет выделенной точки (центра), ее свойства не зависят от положения наблюдателя в ней.

Решения уравнений ОТО, найденное Фридманом, описывают три возможных сценария развития Вселенной или три модели. Во всех моделях расстояние между любыми двумя удаленными точками пространства увеличивается со временем. Вселенная расширяется, но не существует никакой центральной точки, относительно которой происходит это расширение. В какой бы точке Вселенной ни находился наблюдатель, он увидит одну и ту же картину разбегания галактик. Аналогом такого расширения является поверхность раздувающегося шара. Расстояние между любыми точками поверхности увеличивается, но на поверхности шара нет точки, относительно которой происходит это расширение.

В модели первого типа Вселенная расширяется достаточно медленно, так как силы гравитационного притяжения между различными галактиками тормозят это расширение Вселенной. Оно замедляется и, в конце концов, прекращается. После этого галактики начинают приближаться друг к другу, и Вселенная начинает сжиматься. На рис. показано, как меняется со временем  $T$  (в миллиардах лет) расстояние  $R$  (в относительных единицах) между двумя соседними галактиками в этом случае. Оно возрастает от нуля до некоторого максимума, а потом опять падает до нуля.

В модели второго типа расширение Вселенной происходит так быстро, что гравитационное притяжение хотя и замедляет расширение не может его остановить. На рис. показано, как изменяется в этой модели расстояние между галактиками. Кривая выходит из нуля, а в конце концов галактики удаляются друг от друга с постоянной скоростью.



Есть, наконец, и модель третьего типа, в которой скорость расширения Вселенной только-только достаточна для того, чтобы избежать сжатия. В этом случае расстояние между галактиками тоже все время возрастает, но галактики разбегаются все с меньшей и меньшей скоростью, которая никогда не падает до нуля.

Модель Фридмана первого типа удивительна тем, что в ней Вселенная не бесконечна в пространстве, хотя пространство не имеет границ. Гравитация настолько сильна, что пространство, искривляясь, замыкается с самим собой, уподобляясь земной поверхности. Ведь, перемещаясь в определенном направлении по поверхности Земли, вы никогда не натолкнетесь на абсолютно непреодолимую преграду, не

вывалитесь через край и, в конце концов, вернетесь в ту же самую точку, откуда вышли.

В первой модели Фридмана пространство такое же, но только вместо двух измерений, как у поверхности Земли, имеет три измерения. Четвертое измерение, время, тоже имеет конечную протяженность, но оно подобно отрезку прямой, имеющему начало и конец. В такой Вселенной, двигаясь в одном направлении, можно обойти вокруг Вселенной и вернуться в то же место. Но, как можно показать, время, необходимое даже свету для такого обхода, так велико, что Вселенная успеет сжаться до нуля до окончания обхода. Чтобы вернуться в исходную точку до наступления конца Вселенной, пришлось бы передвигаться со скоростью, превышающей скорость света, а это невозможно. Кривизна такого пространства положительна.

В первой модели Фридмана (в которой Вселенная расширяется и сжимается) пространство искривляется, замыкаясь само на себя, как поверхность Земли. Поэтому размеры его конечны. Во второй же модели, в которой Вселенная расширяется бесконечно, пространство искривлено иначе, как поверхность седла. Таким образом, во втором случае пространство бесконечно; его кривизна отрицательна. Наконец, в третьей модели Фридмана (с критической скоростью расширения) пространство плоское и тоже бесконечное; его кривизна равна нулю.

Геометрия Вселенной в принципе может быть установлена экспериментальным путем. Для этого нужно измерить угловое расстояние между парами кратных звезд: сначала с ростом расстояния до пары звезд угол убывает, а затем должен расти.

Итак, нестационарность Вселенной в решении, найденном Фридманом, проявлялась в том, что все галактики непрерывно удаляются друг от друга, при этом картина разбегания галактик для наблюдателя, расположенного в произвольном месте Вселенной, одинакова. При этом из найденного решения следовало, что относительная скорость удаления данной галактики от той галактики, где расположился наблюдатель, должна быть пропорциональной расстоянию между этими галактиками. Это означает, что чем дальше от наблюдателя расположена галактика, тем больше ее скорость.

В то время, когда Фридман получил свое решение, никаких экспериментальных наблюдений того, что галактики удаляются друг от друга не существовало. В эти же годы американский астроном Хаббл проводил измерения скоростей галактик. Для измерения скорости галактики он использовал доплеровское смещение длины волны света. Эффект Доплера состоит в изменении длины волны света при движении источника света относительно наблюдателя: если источник света удаляется, то частота колебаний уменьшается, спектр света двигается в сторону красной области спектра; если источник приближается, то спектр сдвигается к фиолетовому краю спектра. Изменение частоты  $\nu$  связано со скоростью источника  $v$  простым соотношением  $\Delta\nu/\nu = v/c$ , откуда легко получить скорость источника. Зависимость скорости удаления галактики от ее расстояния до наблюдателя оказалась линейной  $v = HL$ , где  $L$  - расстояние, а  $H$  - коэффициент пропорциональности, который получил наименование постоянной Хаббла. Именно такое соотношение и было получено Фридманом.

Современное значение  $H = 72 \pm 5$  км/(сек· Мпс). Парсек - единица расстояния в астрономии. Если тело удалено от Земли на 1 парсек, то свет идет до него 3.26 года. (Один световой год  $9.46 \cdot 10^{12}$  км). Скорости космологического разбегания весьма значительны. Самые далекие галактики движутся со скоростью, составляющей

заметную долю от скорости света. Расширение происходит с большими скоростями, но взаимное притяжение космических систем стремится затормозить его и сменить расширение сжатием.

Тяготение тем больше, чем больше масса вещества и чем меньше расстояние между телами, поэтому ход расширения зависит от средней плотности вещества во Вселенной  $\bar{\rho}$ . Чтобы тяготение преодолело расширение, эта плотность должна быть большей некоторого значения  $\rho_0$ , называемого критической плотностью.

Мы уже обсуждали различные сценарии расширения Вселенной в зависимости от времени. Реализация того или иного сценария зависит от значения средней плотности вещества во Вселенной  $\bar{\rho}$ . Эта величина определяется следующим образом: выбирается достаточно большой объем пространства во Вселенной и подсчитывается число галактик, содержащихся в нем. Это число умножается на известную величину массы средней по размерам галактики, таким образом, вычисляется масса, находящаяся в выбранном объеме. Это значение массы делится на величину объема, полученное число и есть средняя плотность вещества во Вселенной  $\bar{\rho}$ .

Если  $\rho_0 < \bar{\rho}$ , то со временем расширение сменится сжатием и затем все вещество Вселенной вновь будет сосредоточено в малом объеме. В противном случае, когда  $\rho_0 > \bar{\rho}$  расширение будет продолжаться вечно.

Таким образом, будущее Вселенной определяется соотношением между величиной критической плотности и средней плотности Вселенной. По из теории следует, что критическая плотность составляет около  $10^{-29}$  г/см<sup>3</sup>, что соответствует примерно 5 - 10 атомов водорода в кубическом метре. Средняя плотность Вселенной определяется по наблюдательным астрономическим данным, при этом должна быть учтена масса всех космических объектов. Существуют затруднения в экспериментальном определении этой величины. Во всяком случае, даже если реализуется условие  $\rho_0 < \bar{\rho}$ , то сжатие Вселенной произойдет через 10 - 15 миллиардов лет. Это время одного порядка с оценками времени жизни нашего Солнца и, по-видимому, намного превышает время жизни нашей цивилизации. Однако наиболее вероятные оценки соотношения между рассматриваемыми плотностями говорят о том, что  $\bar{\rho} \approx \rho_0$ .

Если в настоящее время все далекие космические объекты удаляются друг от друга, то в далеком прошлом они были ближе друг к другу и, если обратиться к теории Фридмана, то в ней плотность мира возрастает в прошлом неограниченно, становясь равной бесконечно большой в момент времени, отстоящий от настоящего момента на приблизительно 15 - 20 млрд лет. Опыт всей физики показывает, что когда в физической теории возникают бесконечные величины, это говорит о том, что в ней не учтены какие-то важные эффекты.

Очевидно, что при сжатии вещества Вселенной во все меньшем объеме, плотность вещества станет превосходить ту максимальную плотность, о которой в современной физике имеются сведения. Поэтому мы очень мало что можем сказать о таком экстремальном состоянии вещества в первый момент после начала расширения Вселенной. Мы можем лишь утверждать, что в некий начальный момент времени Вселенная оказалась в состоянии с очень большой плотностью и с очень высокой температурой. Такова современная концепция возникновения нашей Вселенной. Ее обычно называют теорией Большого Взрыва.

Эта теория утверждает, что 10 - 15 млрд лет тому назад все вещество Вселенной было сосредоточено в очень малом объеме, имело очень высокую температуру; фактически это означает, что в этот момент времени возникла наша Вселенная в ре-

Таблица 4: Основные стадии эволюции Вселенной.

$T(\text{сек})$	$T(^{\circ}K)$	$\rho(\text{г/см}^3)$	Энергия	Эпоха
$10^{-43}$ $10^{-37}$	$10^{32}$ $10^{29}$	$5 \cdot 10^{91}$ $5 \cdot 10^{79}$	$10^{19}$ ГэВ $10^{16}$ ГэВ	Планковская Великое объединение взаимодействий. Отделение гравитационного взаимодействия.
$10^{-11}$	$10^{16}$	$5 \cdot 10^{27}$	$10^3$ ГэВ	Отделение сильного взаимодействия.
$10^{-6}$	$10^{13}$	$10^{20}$	5 ГэВ	Отделение электромагнитного и слабого взаимодействий.
$10^{-4}$	$10^{12}$	$10^{13}$	2000 МэВ	Прекращение рождения протонов и нейтронов.
1	$10^{10}$	$10^5$	10 МэВ	Начало образования ядер, которое продолжалось 3 мин.
5	$10^9$	10	1 МэВ	Прекращение рождения электронов и позитронов
$3 \cdot 10^5$ лет	3000	$10^{-19}$	10 эВ	Прекращение взаимодействия света с веществом. Образование атомов.
$2 \cdot 10^9$ лет $14 \cdot 10^9$ лет	2.7	$10^{-29}$	$2.5 \cdot 10^{-5}$ эВ	Образование звезд и галактик Современная эпоха

результате процесса, природа которого науке неизвестна. Мы ничего не можем сказать о размерах этого огненного шара. Его возникновение не было процессом похожим на обычный взрыв, который начинается из определенного центра, а затем распространяется, захватывая все большие и большие области пространства. Возникновение Вселенной произошло так, что ее вещество одновременно возникло в некотором объеме.

Итак, после первичного взрыва, сообщившего всему веществу Вселенной огромную скорость, началось ее расширение, обусловленное этой начальной скоростью. Основные стадии эволюции Вселенной приведены в таблице, где  $T$  - возраст Вселенной,  $T(^{\circ}K)$ -ее температура в этот момент в градусах Кельвина<sup>1</sup>,  $\rho$  - плотность вещества, заполнявшего Вселенную, энергия частиц.

Мы мало что знаем о процессах, происходивших во Вселенной в первые мгновения после начала расширения. Возраст Вселенной  $\sim 10^{-43}$  сек это та граница, за которой современная наука может делать какие-то предположения о структуре пространства и времени, об энергии частиц и плотности материи. Значения этих величин лежат далеко за границами, доступными для исследования экспериментальными методами на Земле, или получаемых из изучения процессов, наблюдаемых в нашей и других

<sup>1</sup>Здесь и далее температура измеряется в градусах Кельвина, отсчитываемых от абсолютного нуля температур. Кинетическая энергия частиц  $E$ , находящихся при температуре  $T$  градусов Кельвина, равна  $E = 8.6 \cdot 10^{-11} \cdot T$  МэВ



галактиках. Теория предполагает, что, начиная с возраста  $10^{-37}$  сек, существовало единственное взаимодействие, в котором были объединены четыре существующих ныне фундаментальных взаимодействий. С падением температуры из этого взаимодействия начали отделяться и существовать как самостоятельные отдельные виды фундаментальных взаимодействий: сначала отделилось сильное, затем электромагнитное, слабое.

Мы можем проследить за развитием Вселенной, начиная с ее возраста в одну миллионную долю секунды. К этому моменту температура упала настолько, что во Вселенной начали действовать физические законы, известные нам. В ней появились частицы вещества и кванты очень большой энергии, иначе говоря, температура Вселенной составляла сотни миллиардов градусов. Вещество реагировало с излучением: шли процессы рождения частиц и античастиц и обратный им процесс аннигиляции, когда пара частица - античастица превращалась в гамма излучение. Процессы эти шли так быстро, что несмотря на расширение, успевало устанавливаться тепловое равновесие, т.е. температура в различных точках Вселенной была одной и той же.

Процесс расширения сопровождался дальнейшим уменьшением температуры. Рождение новых частиц может происходить, только если энергия кванта, который их рождает, больше их массы. Поэтому к возрасту Вселенной, большей  $10^{-4}$  сек, ее температура падает ниже  $10^{13}$  К и становится ниже пороговой энергии, необходимой для рождения протонов и нейтронов. Сразу после этого большинство протонов и нейтронов проаннигилировало со своими античастицами, так что остался небольшая доля от первичного числа протонов и нейтронов, которые и вошли впоследствии в состав вещества, из которого состоят все космические объекты - галактики, звезды.

Здесь есть трудность в теории, не нашедшая своего решения до сих пор. Частица может родиться только в паре со своей античастицей, поэтому число частиц равно числу античастиц. Наша Вселенная состоит из частиц и не содержит античастиц. Значит имеются две возможности. Первая: в ранней Вселенной существовал механизм, эффективно приводивший к образованию одних Галактик из вещества и других - из антивещества. Этот процесс не подтверждается наблюдательными данными - поиски в космических лучах античастиц, которые по современным представлениям рождаются и в других Галактиках, не дали результатов. Вторая: в ранней Вселенной ( $t < 10^{-20}$  сек) относительная вероятность образования протонов и нейтронов немного (на  $10^{-9}$ ) превышала вероятность образования антипротонов и антинейтронов. Тогда после завершения процесса рождения и аннигиляции частиц и античастиц остался небольшой избыток частиц, из которого все и состоит.

Во Вселенной в результате ядерных реакций рождались и исчезали нейтрино. К моменту возраста Вселенной 0.3 сек ее температура уменьшилась до величины, при которой энергия нейтрино стала недостаточной для того, чтобы оно вступало в реакции. С этого момента нейтрино перестают взаимодействовать с веществом.

С понижением температуры до  $10^9$  К создались условия для образования ядер и течение 3 мин все протоны и нейтроны вошли в состав ядер. Ядра образовывались и до этого момента, но так как кинетическая энергия других частиц была слишком велика, они вновь разрушались ими. Протоны и нейтроны соединялись, образуя ядро гелия, в состав которого входили два протона и два нейтрона. Дальнейшее присоединение протонов или нейтронов к ядру гелия, что привело бы к образованию более тяжелых ядер, было невозможным. Если к ядру гелия с массовым числом 4 присоединялся нейтрон, то образовывалось нестабильное ядро гелия с массовым

числом 5, которое за время  $10^{-23}$  сек распадалось, испуская нейтрон. При присоединении протона возникало нестабильное ядро лития с массой 5, которое так же распадалось. Поэтому за одну минуту к четвертой минуте все имевшиеся нейтроны вошли в состав ядер гелия, и осталась часть протонов, которые и образовали впоследствии водород. Расчеты, использующие экспериментально измеренные вероятности ядерных реакций, дают значения относительной распространенности водорода и гелия по окончании их образования: 75% водорода и 25% гелия. Эти значения хорошо совпадают с наблюдательными данными по распространенности водорода и гелия во Вселенной. Заметим, что элементов, тяжелее гелия в этом процессе не образовалось в заметном количестве: за счет маловероятных ядерных реакций возникло небольшое количество легких элементов - лития, бора и др. Пока существовали только ядра атомов, нейтральных атомов не было, так как энергия квантов и электронов была высока и достаточна для ионизации нейтральных атомов. В это время пробег квантов до первого столкновения с электроном или ядром был мал, поэтому происходил интенсивный процесс рассеяния квантов, что означало непрозрачность вещества Вселенной для излучения: кванты очень медленно могли проходить заметное расстояние от точки своего рождения.

Процесс рождения и аннигиляции для электронов и позитронов еще продолжался, т.к. их масса в 2000 раз меньше, чем у протона, и энергия квантов была достаточна для процесса рождения пары - электрон и позитрон. Но к 1 - 5 сек температура упала настолько, что рождение этих пар стало невозможным, далее основная часть электронов и позитронов проаннигилировала, превратившись в излучение, и осталось незначительное число электронов, однако, достаточное для того, чтобы суммарный электрический заряд Вселенной был равен нулю.

Эта ситуация продолжалась 300 000 лет, пока температура не упала до 3000 К, при этой энергии ионизация атомов квантами стала невозможной, так как энергии кванта было недостаточно для отрыва электрона от нейтрального атома, и все вещество во Вселенной превратилось в нейтральные атомы водорода и гелия. Кванты получили возможность проходить большое расстояние, не испытывая поглощения. Другими словами, Вселенная стала прозрачной для квантов. С этого момента развитие вещества и излучения стало происходить отдельно, так как они перестали взаимодействовать. Эти кванты существуют и в настоящее время, их энергия уменьшилась в 1000 раз к настоящему моменту и их температура составляет 2.7 К. Сейчас это радиоволны с длиной волны несколько см. Это электромагнитное излучение получило название реликтового. Обнаружение этих радиоволн, приходящих равномерно со всех сторон на Землю, и совпадение их энергии с расчетным значением, полученным в теории Большого взрыва, является одним из самых весомых доказательств существования этого взрыва.

Заметим, что наряду с реликтовыми квантами, существуют и реликтовые нейтрино. Однако их экспериментальная регистрация до сих пор еще не осуществлена. Причина в трудности регистрации слабо взаимодействующих с веществом низкоэнергетических нейтрино.

Заметим, что первым, кто начал разрабатывать теорию Большого взрыва, был Георгий Антонович Гамов, выпускник и профессор нашего университета. Это совершенно уникальный ученый. Им выполнены исследования, за которые он, по мнению многих ученых, был трижды достоин нобелевской премии по физике. Первый раз - за разработку теории альфа - распада ядер, второй - за предсказание существования

реликтового излучения и оценку его температуры, третий - за гипотезу о способе записи в генах информации. Но судьба его была достаточно сложна, он в 1934 г. эмигрировал в США, где и работал. Трудно судить с достоверностью, почему ему не была присуждена эта премия, но то, что он один из наиболее выдающихся физиков - теоретиков двадцатого века, внесших основополагающий вклад в различных областях теоретической физики, признано всеми.

Вернемся к дальнейшему рассмотрению развития Вселенной. После того как, Вселенная стала прозрачна для электромагнитного излучения, процессы превращения вещества и излучения в другие формы в основном прекратились и главную роль в процессе развития Вселенной стало играть тяготение: оно стало преобладать над всеми другими видами взаимодействия между массами практически нейтрального вещества, образовавшего основную часть материи Вселенной. С этого момента началось образование звезд, галактик, скоплений галактик. Все эти объекты образовывались из быстро остывавшего и уменьшающего свою первичную плотность огненного шара, и управляли этим процессом законы тяготения. Но многие вопросы, касающиеся деталей этого процесса, не ясны до сих пор. Мы не знаем, что образовалось раньше: первичное вещество разделилось на отдельные области, из которых образовались галактики, или вначале образовались звезды, а уж затем коллективы звезд объединились и обособились в отдельных галактиках. И та, и другая точка зрения имеет своих сторонников. Оставим на время обсуждение процессов образования галактик и звезд и перейдем к рассмотрению далекого будущего нашей Вселенной.

Весь ход дальнейшего развития Вселенной определяется гравитационным взаимодействием. Достаточно ли во Вселенной вещества для того, чтобы силы тяготения остановили в будущем процесс расширения и сменили его на процесс сжатия? Заметим, что поведение вещества во Вселенной аналогично траектории тела, подброшенного вверх с поверхности Земли. Если начальная скорость тела меньше первой космической скорости, тело, поднявшись на некоторую высоту, начнет падать назад на Землю. Это аналогия вначале расширяющейся, а затем сжимающейся Вселенной. Если скорость тела больше второй космической скорости, то оно никогда не вернется на Землю. Это аналог бесконечно расширяющейся Вселенной.

Судьба Вселенной определяется величиной ее средней плотности. Как мы уже говорили существует некоторое значение этой плотности называемой критической, и сценарий развития определяется соотношением между этой плотностью и критической. Рассмотрение этого соотношения будет проведено в следующем разделе.

Современные данные свидетельствуют о том, что наша Вселенная будет вечно расширяться. В этом случае с течением времени все звезды, исчерпав запасы ядерной энергии погаснут, и в конечном счете последней стадией существования материи станет электромагнитное излучение, заполняющее все пространство, остывающее до конечной, повсюду одинаковой температуры.

Какова же судьба нашей Вселенной в невообразимо отдаленном будущем? С исчерпанием ядерного топлива все звезды превратятся в белые карлики, нейтронные звезды, черные дыры или исчезнут в результате взрыва. Далее станет существенным процесс распада протона, который предсказывается теорией объединения всех фундаментальных взаимодействий. Время, за которое распадается половина всех протонов, оценивается равным  $10^{32}$  лет. По истечению  $10^{40}$  лет все протоны распадутся. Единственными существующими объектами будут черные дыры.

Однако даже черные дыры не будут жить вечно. Как установил Стивен Хокинг

они испускают частицы в процессе похожем на испарение. Скорость испарения тем больше, чем меньше масса черной дыры. Во всяком случае, после  $10^{100}$  лет все они испарятся.

Вселенная после этого будет состоять из электромагнитного излучения очень низкой частоты, нейтрино, электронов и позитронов. От былого великолепия - Вселенной, наполненной галактиками, содержащими миллиарды звезд, сияющих разными цветами, - ничего кроме холодной, черной пустоты не останется. Такой увидел бы Вселенную человек, если бы он смог взглянуть на нее в то время.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ.

1. Решения уравнений ОТО показывают, что наша Вселенная находится в таком состоянии, когда расстояние между любой парой галактик увеличивается, при этом скорость удаления галактик друг от друга пропорциональна расстоянию между ними.
2. Экспериментальным подтверждением явления расширения нашей Вселенной является обнаружение факта удаления от земного наблюдателя всех галактик со скоростью тем большей, чем больше расстояние до галактики.
3. Вселенная однородна, т.е. ее свойства одинаковы во всех направлениях и не зависят от положения наблюдателя во Вселенной.
4. Дальнейшая эволюция Вселенной зависит от соотношения между средней плотностью вещества во Вселенной и значением критической плотности, определяемой из теории. Возможны три модели развития Вселенной: 1) смена расширения сжатием, 2) вечное расширение, в котором скорость разлета галактик убывает до некоторого постоянного значения, 3) вечное расширение, в котором скорость разлета галактик убывает постоянно, но никогда не падает до нуля.
5. Существует начальный момент времени возникновения нашей Вселенной в виде пространства, заполненного веществом и излучением, нагретого до высокой температуры (15 -18 млрд. лет тому назад). С течением времени происходит падение этой температуры, вызванное расширением Вселенной.
6. Существование Большого Взрыва подтверждается экспериментальным обнаружением предсказанных им явлений: наличием реликтового электромагнитного излучения, совпадения измеренного соотношения между количеством водорода и гелия во Вселенной с расчетным.
7. Однозначный выбор модели эволюции в будущем нашей Вселенной сделан быть не может, так как неизвестно точное значение средней плотности вещества во Вселенной.

## 11 Современные данные о средней плотности вещества во Вселенной.

Средняя плотность вещества во Вселенной впервые определялась по оценке массы светящегося вещества - звезд, галактик. С развитием радиоастрономии сюда была добавлена масса космических облаков газа. Эти объекты состоят из обычного вещества, состоящего из атомов различных элементов, среди которых доминирует водород и гелий.

Если сравнить значение средней плотности  $\bar{\rho}$ , определенное таким образом, с критическим значением плотности  $\rho_0$ , то соотношение между этими плотностями равно  $\Omega = \bar{\rho}/\rho_0 = 0.04$ . Это означает, что эволюция Вселенной состоит в ее бесконечном расширении.

Однако можно задаться вопросом - а все ли вещество, существующее во Вселенной мы учли. Прямо ответить на этот вопрос невозможно: мы учли все вещество, которое возможно зафиксировать доступными нам физическими методами, но нельзя отрицать возможность существования вещества в форме, не регистрируемой этими методами.

Экспериментальные свидетельства того, что не все вещество космических объектов доступно регистрации были получены уже в 30-х годах XX века. Любая обособленная космическая структура - галактика, скопление галактик - обязана своим существованием силам всемирного тяготения между объектами, образующими эту структуру.

Рассмотрим отдельную галактику. Скорость движения звезд на периферии галактики относительно центра галактики определяется суммой масс звезд, входящих в нее. Эта скорость не может быть больше второй космической скорости, при которой звезда способна преодолеть притяжение и покинуть эту галактику.

Методы определения масс галактик, скоростей звезд были разработаны и когда эти характеристики были измерены, оказалось, что звезды на окраинах галактик движутся со скоростями, которые превышают вторую космическую скорость для этой галактики и при этом остаются в составе галактики.

Аналогичный эффект был обнаружен и для отдельных галактик, входящих в состав скопления галактик. Некоторые галактики в скоплениях движутся со скоростями, превышающими вторую космическую скорость для этого скопления.

Объяснить стабильность рассмотренных космических образований можно только предположив, что масса галактик или скоплений галактик больше той, которую можно определить методами оптической и радио астрономии. Что же представляет собой эта невидимая масса? Может быть это масса звезд малой массы, недостаточной для того, чтобы гравитационные силы сжали их до той степени, при которой возможно начало ядерных реакций? Или это вещество нейтронных звезд и черных дыр, обнаружение которых возможно, но полное их число неизвестно.

Критическая оценка полной массы упомянутых объектов приводит к заключению, что невозможно объяснить, исходя из известной модели развития Вселенной, откуда могут возникнуть эти объекты в таком количестве, чтобы их масса была достаточна для удержания звезд и галактик.

Единственное объяснение увеличения массы галактик состоит в предположении существования в них вещества, обладающего массой, но не испускающего никакого

электромагнитного излучения. Такого вещества в обычных лабораторных условиях получено не было. Природа его неизвестна, поскольку и никаких эффектов взаимодействия его с обычным веществом галактик, кроме гравитационного, не обнаружено. Это гипотетическое вещество получило название темной материи. Оценка необходимой массы этого вещества показала, что его масса в несколько раз (от 5 до 10 раз) превышает массу видимого вещества. Темное вещество образует обширную невидимую корону или гало вокруг диска всех массивных галактик.

Природа частиц, образующих темное вещество, неизвестна. Если в его составе присутствуют протоны и нейтроны, то их вклад не превышает нескольких процентов по массе. Так как темное вещество не взаимодействует с обычным веществом, проходя через него, то предполагается, что в его состав входят неизвестные слабо взаимодействующие с обычным веществом частицы. Эти частицы не обладают электрическим зарядом, не испытывают сильного взаимодействия. Они проявляют себя только в гравитационном взаимодействии и возможно испытывают слабое взаимодействие. Современные модели элементарных частиц рассматривают большое число гипотетических, еще не найденных на эксперименте частиц. Некоторые из них могли бы входить в состав темного вещества. Ведутся эксперименты по поиску взаимодействия частиц темной материи с обычным веществом. Такие события должны быть достаточно редки, как в силу слабости взаимодействия, так и по причине малого числа этих частиц на поверхности и вблизи Земли. Определенных доказательств существования частиц темной материи пока не получено.

Наиболее точные оценки средней плотности вещества во Вселенной получены по изучению анизотропии распределения температуры реликтового излучения по небесной сфере. Эта анизотропия очень мала: отклонения находятся в пределах  $10^{-4}$  от среднего значения температуры. Измерения этой величины были выполнены с помощью радиотелескопа, установленного на спутнике в исследовании, выполненном Принстонским университетом и НАСА (США). Результаты этого эксперимента дали наиболее точные значения отношения  $\Omega = \bar{\rho}/\rho_0$  :

$$\Omega = 1.02 \pm 0.02$$

Это выдающийся результат. Несколько десятилетий назад оценки были такими:  $0.3 < \Omega < 3$ . В 2000 году ошибка определения  $\Omega$  была в 3 раза больше.

Равенство  $\Omega = 1$  в теории Фридмана означает, что кривизна пространства равна нулю, а следовательно, оно плоское, т.е. геометрия его евклидова. Расширение Вселенной в этом случае по той же теории будет происходить вечно с убывающей скоростью.

Однако экспериментальные исследования зависимости скорости расширения Вселенной от времени ее жизни показали, что эта зависимость сложнее. Эти исследования сводились к измерению скорости движения самых удаленных от нас галактик. Кроме скорости разбегания по расстоянию до галактики  $R$  можно установить в какой момент времени от текущего был испущен свет:  $\Delta T = R/c$ . Эта величина определяет возраст галактики. Оказалось, что расширение Вселенной при ее возрасте до 6-8 миллиардов лет происходило с замедлением скорости расширения, но затем оно сменилось расширением с возрастающей скоростью. Эта эпоха продолжается и в настоящее время. Изменение расстояний между галактиками в зависимости от возраста Вселенной показано на рисунке. Расширение от момента возникновения Вселенной до времени 6-8 миллиардов лет происходило с замедлением. Со времени, отмеченном

на рис. тонкой вертикальной линией, расширение происходит с ускорением. Возраст Вселенной в н:

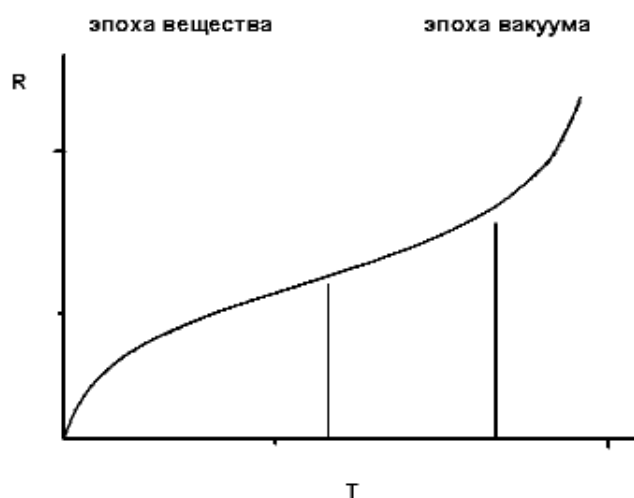


Рис. 1: Зависимость расстояния  $R$  между любой парой галактик от возраста Вселенной  $T$ .

Сценарий развития нашей Вселенной, предлагаемый современной наукой, состоит в следующем. Существует космический вакуум - среда, которая обладает постоянной во времени и всюду в пространстве плотностью. Эта плотность одна и та же в любой системе отсчета. При расширении Вселенной плотность вакуума не меняется, в то время как плотность других форм космического вещества падает в процессе расширения. Этот вакуум обладает и другими необычными свойствами - он обладает энергией, и, следовательно, должен порождать гравитацию, но в отличие от обычного вещества космический вакуум создает вместо притяжения масс их отталкивание. Расширение Вселенной управляется двумя противоположными тенденциями: замедлением скорости расширения, вызываемого силами всемирного тяготения, и отталкивания, вызванного космическим вакуумом. Соотношение этих сил меняется с возрастом Вселенной.

В начале расширения плотность вещества превосходила плотность энергии вакуума, но затем ситуация изменилась на обратную - плотность энергии вакуума превосходит плотность вещества и будет превосходить в будущем во все большей степени.

Космический вакуум - среда не обнаруженная прямыми измерениями в эксперименте, теории его возникновения, его свойств не существует. Его существование фактически постулируется, для того чтобы объяснить экспериментальный факт ускорения разбегания галактик. Впервые гипотезу о существовании космического вакуума высказал сотрудник Петербургского Физико-Технического института Э.Б.Глинер в 1965 г.

Введение космического вакуума позволило построить теории, объясняющие причины возникновения Большого Взрыва. Считается, что он возник в результате фазового перехода космического вакуума из одного состояния в другое. В этом переходе выделилась громадная энергия, которая затем перешла в энергию движения всех видов частиц и их массу. Этот переход занял во времени промежутки от возраста Вселенной порядка планковского времени  $10^{-43}$  сек до возраста  $10^{-33}$  сек, при этом

размеры Вселенной увеличились в  $10^{50}$  раз. Этот процесс получил название инфляционного процесса. В конце его образовалась среда, содержащая громадное количество энергии и далее начались процессы, описываемые в теории Большого Взрыва.

Этот сценарий возникновения нашей Вселенной не является чисто умозрительным и гипотетическим. Построенная теория этого процесса делает определенные предсказания о свойствах нашей Вселенной. Так она предсказывает значение  $\Omega = 1$ , при этом это равенство должно выполняться с очень большой точностью. Последние исследования подтверждают это предсказание (см. выше). В разных вариантах подобных теорий утверждается, что возможно рождение не единственной нашей Вселенной, а множества Вселенных. Однако никаких связей нашей Вселенной с другими установить невозможно.

Так как последние экспериментальные данные свидетельствуют, что  $\Omega = \bar{\rho}/\rho_0 = 1$ , это определяет величину средней плотности вещества во Вселенной  $\bar{\rho} = \rho_0$ , так как величина  $\rho_0$  определяется в теории Фридмана. Экспериментально определена и плотность обычного вещества во Вселенной - она равна  $0.04 \cdot \rho_0$ . Сделана оценка необходимой плотности темной материи. Сумма плотностей этих двух компонент составляет приблизительно  $0.3 \cdot \rho_0$ , отсюда следует, что плотность энергии вакуума составляет величину  $0.7 \cdot \rho_0$ . В современную эпоху во Вселенной преобладает энергия вакуума. Из этих экспериментальных данных и теории инфляционного процесса был оценен возраст нашей Вселенной. Он составляет  $13.4 \pm 0.3$  миллиардов лет.

Подчеркнем, что развитие теорий возникновения Вселенной находится на самой границе наших знаний и поэтому к их выводам и предсказаниям следует относиться с осторожностью.

## 12 Эволюция Вселенной. Возникновение и развитие звезд.

После того как в процессе расширения Вселенной образовалось вещество, состоящее в основном из водорода и гелия, продолжение эволюции Вселенной состояло в образовании галактик и звезд. Причина образования из первично однородного газового облака сгустков материи, из которой и развивались галактики, есть гравитационная неустойчивость однородного распределения материи. При неизбежных колебаниях плотности около среднего значения области, в которых плотность случайно оказывалась выше, за счет большего притяжения к ним молекул газа начинали увеличивать свою массу.

Этот процесс привел к образованию огромных сгустков материи, из которых затем в дальнейшем образовались протогалактики, эти области разбились на меньшие сгустки - протозвезды. Что происходит дальше с протозвездой - обособленной областью пространства, где сосредоточен газ? Действие тяготения стремится уменьшить размеры этого облака, но этому процессу противостоит кинетическая энергия молекул газа. Соотношение между массой облака (геометрические размеры) и его кинетической энергией (температура) определяет, будет ли дальше продолжаться это сжатие или нет. Опустим обсуждение вопроса о численных оценках размера облака и его начальной температуре и будем считать, что сжатие происходит.

Молекулы газа под действием притяжения падают по направлению к центру облака газа, при этом их кинетическая энергия растет. При столкновениях с молеку-



лами газа ниже расположенных слоев кинетическая энергия быстрых молекул перераспределяется среди более медленных. Рост средней энергии молекул означает рост температуры газового облака. Когда температура газа станет очень высокой (10 миллионов градусов), начинаются ядерные реакции между ядрами атомов газа, сопровождающиеся большим выделением энергии. Температура центральной области облака возрастает еще больше за счет этой энергии, при этом растет и давление газа в центре облака. Рост давления останавливает процесс дальнейшего сжатия облака. Фактически с этого момента мы имеем уже не холодное облако газа, а звезду - образование с гораздо более высокой плотностью и выделением энергии во внешнюю среду в виде электромагнитного излучения разных частот, в том числе и видимого света.

Рассмотрим подробнее источник энергии звезд. Энергия выделяется за счет протекания термоядерных реакций. Основная реакция состоит в превращении четырех протонов в ядро гелия, однако крайне маловероятно столкновение четырех протонов в одной точке, поэтому процесс образования гелия происходит в несколько стадий. Характеристики этих стадий приведены в таблице.

Ядерная реакция	Выделяющаяся энергия в МэВ	Среднее время жизни участников реакции до вступления в реакцию
$H^1 + H^1 \rightarrow H^2 + e^+ + \nu$	1.44	$10^{10}$ лет
$H^2 + H^1 \rightarrow He^3 + \gamma$	5.49	5 сек
$He^3 + He^3 \rightarrow He^4 + H^1 + H^1$	12.85	$10^6$ лет

Часть энергии уносится нейтрино, поэтому полное выделение энергии составляет 26.2 МэВ или  $4.2 \cdot 10^{-5}$  эрг. Эта энергия создается в ядерной реакции за счет того, что масса ядра гелия меньше суммарной массы четырех протонов на 0.007 этой массы. Избыток массы в соответствии с формулой Эйнштейна  $E = mc^2$  превращается в энергию.

Используем эти оценки для определения времени жизни Солнца. Масса Солнца  $M_c = 2 \cdot 10^{30}$  кг, светимость или количество энергии, выделяемой Солнцем в сек -  $w = 4 \cdot 10^{26}$  Дж/с. Предположим, что вся масса Солнца состоит из водорода, и найдем за какое время он превратится в гелий.

$$T = M_c \cdot c^2 \cdot 0.007 / w = 2 \cdot 10^{30} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 \cdot 0.007 / 4 \cdot 10^{26} = 3 \cdot 10^{18} \text{ сек} = 10^{11} \text{ лет}$$

100 миллиардов лет - это много даже для космогонических сроков, эту оценку следует уменьшить раз в 10, так как выгорает не весь водород, а только тот, который содержится в центральной части звезды. Постепенное выгорание водорода в центре звезды ведет к перемещению фронта горения водорода к более удаленным слоям звезды, при этом концентрация изотопа  $He^3$  в центре звезды будет меньше его концентрации в области горения водорода, выравнивание концентрации, по некоторым соображениям происходит скачком за короткое время, при этом количество выделяемой энергии так же быстро изменится. Оно на короткий промежуток времени возрастет, а затем упадет и медленно начнет возвращаться к своему равновесному значению. Период такого процесса по расчетам составляет порядка 100 миллионов лет, т.е. за время существования Земли оно происходило несколько десятков раз.

Возможно эти процессы, в которых излучение Солнца уменьшалось на 20 - 30 % на время порядка 10 миллионов лет, и являются причиной возникновения ледниковых периодов на Земле. Скорость ядерных реакций, распределение продуктов реакции в недрах Солнца, особенности распределения тепловых потоков в недрах Солнца и эпохи оледенения на Земле - все это единый процесс.

Вернемся далее к эволюции звезды. С увеличением концентрации гелия в центре звезды и ростом температуры становится возможной цепочка ядерных реакций, в результате которой четыре ядра гелия превращаются в ядро углерода ( $3He^4 \rightarrow C^{12}$ ). Некоторое время порядка нескольких миллиардов лет этот процесс обеспечивает светимость звезды. Когда же гелий в основном выгорит, то, как показывают наблюдательные данные и теоретические расчеты, на этом этапе эволюции звезды с начальной массой меньшей 5-10 массы Солнца, сбрасывают свои наружные слои, обнажая свое горячее и плотное ядро. Плотность в центре звезды с массой порядка Солнечной составляет  $100 \text{ г/см}^3$ . При дальнейшем остывании это ядро сжимается гравитационными силами дальше, так что типичная звезда с массой, равной массе Солнца, сжимается до размеров земного шара.

Плотность при этом возрастает до  $10^6 - 10^7 \text{ г/см}^3$ , а светимость падает до 0.01 - 0.001 солнечной. Сжатие останавливается потому, что электроны, находящиеся в веществе звезды, сближаются вплотную и их взаимное отталкивание уравновешивает силы тяготения. Это явление возможно, если масса обнажившегося ядра меньше 1.2 массы Солнца. Такие звезды получили название белых карликов. Вещество белых карликов есть очень плотный полностью ионизированный газ. Ядерные реакции в недрах белого карлика прекратились, однако, процесс его остывания длится приблизительно 1 миллиард лет. Постепенно температура падает, и белый карлик превращается в остывшую звезду тех же размеров. Не следует думать, что белые карлики редко встречаются во Вселенной - в нашей Галактике их около 10% от числа всех звезд.

Иногда белый карлик входит в состав двойной системы - две звезды, вращающиеся относительно центра тяжести этой системы по круговым орбитам. Если вторая звезда системы представляет собой обычную звезду, то возможен процесс перетекания ее газовой оболочки на поверхность белого карлика под действием его гравитационного притяжения. Газ с большой скоростью падает на поверхность карлика и сильно нагревается. С течением времени на поверхности белого карлика накапливается достаточный слой водорода. Разогретый излучением карлика водород может снова вступить в ядерные реакции. Слой водорода вспыхивает и происходит взрыв, уносящий всю водородную оболочку в пространство. Взрыв приводит к мощному

излучению света, свечение карлика резко растёт, а затем за несколько дней убывает до прежнего значения. Этот процесс называется вспышкой новой звезды, т.к. часто до взрыва из-за слабой светимости белого карлика он не был ранее виден, и вдруг появляется новая яркая звезда. Такой процесс может повторяться неоднократно.

Если первоначальная масса звезды составляла 20 - 40 солнечных масс, то ядерные реакции состоят в образовании все более тяжелых ядер - углерода, затем кислорода, неона и т.д. до ядра железа. Ядра железа могут превратиться в еще более тяжелые ядра только с затратой энергии, поэтому на этих ядрах процессы ядерного горения останавливаются и энерговыделение в области горения уменьшается. После исчерпания ядерного горючего произойдет катастрофа. Уменьшившееся давление газа из-за понижения температуры уже не сможет сдерживать силы тяготения и внутренние слои звезды обрушатся к ее центру. Падая со скоростью свободного падения, (которое на много порядков превышает земную), за несколько секунд внутренние слои сожмутся в сотню тысяч раз. Ядро звезды сожмется. Слои газа, падающие к центру звезды, натолкнувшись на ядро звезды, остановятся и их кинетическая энергия перейдет в тепловую энергию. Температура газа, окружающего центральную область, резко повысится.

Наружные слои звезды в результате мгновенно возросшей температуры, будут выброшены со скоростью 10 000 км/сек в окружающее пространство. Объем ядра звезды уменьшится в  $10^{15}$  раз. Во столько же раз возрастет ее плотность и превзойдет ядерную плотность. Радиус звезды составит несколько километров. При таких размерах звезда снова окажется в стабильном состоянии, если масса остатка не превысит 2.4 масс Солнца. Но это будет состояние, в котором электроны будут вдавлены в протоны, которые превратятся в нейтроны и все вещество будет нейтральным в любом малом объеме. По этой причине такие звезды называли нейтронными. Процесс сжатия звезды останавливается, так как нейтроны сближены вплотную и между ними начинает действовать силы отталкивания. Все ядра, содержащиеся в веществе звезды, превращаются в нейтроны. Этот процесс требует больших затрат энергии, что вызывает охлаждение внутренних слоев звезды и, следовательно, уменьшение давления в них, что способствует сжатию ядра звезды.

Поскольку этот процесс сопровождается кратковременным (несколько десятков дней или месяцев) весьма сильным возрастанием светимости звезды, это грандиозное явление для земного наблюдателя выглядит как появление новой очень яркой звезды. С течением времени ее яркость уменьшается. Это явление называется взрывом сверхновой звезды.

Такое явление произошло в 1054 г. в нашей Галактике. В китайских хрониках сообщается о появлении новой звезды, яркость которой была столь велика, что ее можно было наблюдать и днем. Оболочка, сброшенная этой звездой, видна до сих пор - это знаменитая Крабовидная туманность. В 1967 г. в центре Крабовидной туманности была обнаружена нейтронная звезда - остаток вспышки сверхновой.

Интересны и свойства нейтронной звезды, При ее образовании, когда резко уменьшается ее радиус, должен сохраняться ее момент количества движения, что выражается в увеличении скорости вращения нейтронной звезды вокруг своей оси. Ситуация здесь аналогична хрестоматийному физическому опыту или приему, часто исполняемому фигуристами на льду. Если исполняющий вращение фигурист резко прижмет к груди разведенные до этого руки, скорость его вращения возрастет. Период вращения нейтронной звезды составляет секунды и доли секунды. Одновременно возрастает до

очень большой величины магнитное поле ( $\sim 10^{12}$  гаусс). Величина магнитного поля на поверхности Земли около 1 гаусса.

Это приводит к тому, что электромагнитные волны, рождаемые сильно нагретой поверхностью звезды, излучаются узким пучком. При удачной ориентации оси вращения нейтронной звезды относительно Земли этот пучок будет попадать на поверхность Земли. Тогда электромагнитные волны будут регистрироваться на Земле в виде коротких сигналов, длительность которых равна времени пересечения пучком Земли. Эти сигналы будут повторяться через интервал времени, равный периоду вращения нейтронной звезды вокруг своей оси.

Впервые такой сигнал неожиданно был зарегистрирован радиоантенной, построенной совсем для других астрофизических задач, в знаменитой Кавендишской лаборатории Кембриджского университета в Англии. Аспирантка профессора Хьюиша, 24-летняя Джосселин Белл, обнаружила неизвестный радиоисточник, посылавший строго периодические радиоимпульсы длительностью 0.05 сек и с периодом повторения около 1 сек. Строгая периодичность сигналов, конечно, вызвала подозрение об их искусственном происхождении. Возникла мысль о том, что может быть получены сигналы от космических автоматических станций внеземных цивилизаций. Эта возможность серьезно обсуждалась в Кембридже и послужила, по-видимому, причиной того, что сами авторы этого замечательного открытия решили впредь до выяснения природы таинственных объектов не публиковать никаких сведений. Только спустя полгода после того, как было установлено, что источник сигналов расположен далеко за пределами Солнечной системы и, таким образом, представляет собой неизвестный класс астрономических объектов, эти результаты были опубликованы.

Вновь открытые источники получили название пульсаров, так как их излучение регистрируется на Земле в виде коротких импульсов, периодически повторяющихся. Типичное значение значения этого периода составляет 1 секунду, но известны и пульсары, вращающиеся значительно быстрее. Рекордное значение периода составляет 0.00155 сек.

Если оставшаяся ядра звезды превосходит некоторый критический предел величиной 2.5 - 3 солнечных масс, ее сжатие, вызванное гравитационными силами, уже не остановить и вещество звезды должно сжаться в точку. Но при малых размерах тела с гигантской массой в соответствии с общей теорией относительности пространство - время становится очень сильно искривленным, свет от этого тела движется по геодезическим линиям этого пространства, которые представляют замкнутые линии, и, следовательно, не может покинуть пространство около этой звезды. Это означает, что для внешнего наблюдателя, эта звезда за очень короткое время порядка  $10^{-5}$  сек по его часам пропадает. Такой объект получил название черная дыра. Никакое излучение - электромагнитное, корпускулярное, нейтринное - не выходит из черной дыры. Единственное, чем себя проявляет черная дыра, - это ее гравитационное поле.

В соответствии с предсказаниями общей теории относительности ход времени замедляется с ростом силы тяжести. На некотором расстоянии  $R_g$  от черной дыры сила тяжести, определенная наблюдателем, удаленным от черной дыры, становится равной бесконечности. Это расстояние  $R_g$  называется радиусом горизонта событий (он называется также радиусом Шварцшильда).

Ход времени вблизи горизонта событий останавливается. Это означает, что для земного наблюдателя, удаленного от черной дыры, любой малый интервал времени, протекший по часам на горизонте событий, длится по часам земного наблюдателя

сколь угодно долго.

Если наблюдать с Земли за полетом космического корабля к черной дыре, то мы увидим, что при приближении корабля к горизонту событий он замедляет свою скорость и, наконец, зависает навсегда на расстоянии горизонта событий черной дыры, не достигая ее никогда.

Если в этом корабле находится космонавт, наблюдающий за Землей, он по мере приближения к горизонту событий будет видеть за малый интервал времени по своим часам все более длительный временной отрезок событий на Земле. Для него эти события происходят во все более быстром темпе, и на горизонте событий он за конечное время увидит всю историю Земли: увеличение размеров Солнца, гибель жизни на Земле, испарение Земли при расширении Солнца до орбиты Земли, превращение Солнца в белый карлик. Чем это не машина времени. Но мы, земляне, никакой информации об этих наблюдениях космонавта получить не сможем - сигналы, посланные им нам, не будут достигать Земли за конечное время.

Так как мы не можем непосредственно наблюдать черную дыру из-за отсутствия испускаемых ею излучений, то должны прибегать к косвенным свидетельствам для ее обнаружения. Если черная дыра имеет спутника - обычную звезду, то ее орбита описывает эллипс вокруг черной дыры. Определив скорость движения звезды по орбите, можно найти массу ее невидимого спутника - черной дыры. В настоящее время определены массы таких двойных объектов, один из которых невидим. Массы этих невидимых объектов лежат в интервале от 3 до 20 масс Солнца. По теории эволюции звезд такие звезды должны превратиться в черные дыры. Таких кандидатов на роль черных дыр открыто около 10.

Для ряда удаленных галактик оценена масса тела, вокруг которого движутся все звезды данной галактики. Оказалось, что эта масса огромна  $\approx 10^7$  масс Солнца, а размеры малы - не более 0.5 светового года. Такой объект не может быть ни чем иным, как черной дырой. По некоторым наблюдениям можно предположить, что и в центре нашей галактики есть черная дыра с массой около 1 миллиона масс Солнца.

Рассмотрим еще один космический объект - квазизвездный радиоисточник или сокращенно квазар. Эти объекты были вначале обнаружены как мощные радиоисточники, а затем в некоторых случаях им были сопоставлены оптические объекты. По красному смещению оптических линий было установлено, что эти объекты движутся со скоростями, составляющими заметную долю от скорости света. В соответствии с законом Хаббла это означает, что расстояние до этого источника несколько миллиардов световых лет. Оценка по видимой на Земле светимости этого объекта излучаемой им мощности показала, что она равна  $10^{40}$  вт. Такая гигантская мощность в сотни раз превышает мощность излучения типичной галактики. Но самым загадочным оказалось то, что размеры этого источника малы: не более одного светового года, т.е. много меньше размеров галактики. Отсюда и появилось его название, так как его размеры ближе к размерам звезды, чем галактики.

В настоящее время наиболее правдоподобным объяснением строения квазаров является предположение о том, что это система, состоящая из черной дыры с очень большой массой, которая силой своей гравитации заставляет падать в нее газ из межзвездного пространства и из газовых оболочек близких к ней звезд. Поскольку в этом падении молекулы газа приобретают очень большую скорость, столкновения молекул между собой приводят к тому, что газ нагревается до высокой температуры и это и является источником гигантской мощности квазара. Заметим, что газ

излучает до попадания в черную дыру, так сказать по дороге в нее.

Итак, мы рассмотрели процессы эволюции звезд. Остановимся теперь на некоторых важных моментах для эволюции Вселенной, связанных с этими процессами. В рассмотренных нами процессах ядерных реакций участвовали только легкие ядра: водород, гелий, литий, бериллий, бор, углерод, кислород и азот. Но во Вселенной нам известны 92 элемента. Как образовались они?

Процессы ядерного горения элементов останавливаются, когда продуктом реакций являются ядра железа. Это происходит потому, что присоединение к ядру железа протонов, альфа частиц или других легких ядер требует затрат энергии, а не сопровождается выделением энергии. Значит, должен существовать другой механизм образования ядер, тяжелее железа. Согласно современным представлениям, все средние и тяжелые элементы образовались также в ядерных реакциях в звездах, причем основной процесс их образования состоит в многократном захвате нейтронов ядрами и процессе бета - распада нейтрона в ядре, что приводит к увеличению числа протонов и нейтронов в ядрах. В недрах звезд в процессах ядерного горения происходят реакции, сопровождающиеся рождением свободных нейтронов. Процесс взрыва сверхновых звезд сопровождается большими потоками нейтронов, и в этих взрывах создаются ядра с наибольшим числом протонов и нейтронов. Что останавливает рост атомного веса образующихся ядер? С ростом атомного веса ядер увеличивается вероятность процессов альфа - распада ядер и процессов спонтанного деления ядер. Кроме того, даже если бы были механизмы образования очень тяжелых ядер, их времена жизни все равно были бы малыми и до настоящего времени они должны все распасться.

Образовавшиеся элементы среднего и тяжелого атомного веса при взрывах звезд рассеиваются в пространстве и затем являются тем строительным материалом, из которого образуются планеты и другие небесные тела. Таким образом, все, что нас окружает, и мы сами сотворены из вещества, входившего когда-то давно в состав звезд.

Наше Солнце - звезда второго поколения, т.е. ее вещество образовалось в процессе эволюции звезд первого поколения. Другое важное последствие для развития Земли происходит, когда в окрестностях Солнца вспыхивает сверхновая звезда. Это событие может привести к увеличению интенсивности космического излучения на поверхности Земли в десятки раз, и это повышение будет продолжаться несколько десятков тысяч лет. По оценкам такое событие может произойти примерно один раз в миллион лет. Однако если считать, что формы жизни на Земле существуют один миллиард лет, то они около тысячи раз переживали такую катастрофу.

Повышенный фон ионизирующих излучений может иметь существенные генетические последствия. Повреждение генов этими излучениями вызывают мутации в последующих поколениях. Большинство таких мутаций неблагоприятно сказываются на жизнеспособности вида. Для видов с коротким циклом размножения для увеличения частоты мутаций в два раза требуется увеличение дозы облучения в 1000 раз, для долгоживущих форм достаточно для этого увеличить дозу облучения в 3 - 10 раз. Возможно, вспышки сверхновых вблизи Солнца и явились причиной вымирания некоторых видов на Земле. Однако это только гипотеза, данных, подтверждающих ее, не получено.

Какова судьба в будущем нашего Солнца, а, следовательно, и человечества. Солнце образовалось 4.5 миллиардов лет тому назад. Энергия излучения создается за

счет превращения водорода в гелий. Современное Солнце отличается от молодого только тем, что в его центральной области содержится некоторое количество гелия, возникшего в ядерных реакциях. Во внешних слоях содержание гелия составляет 27%, а в центре Солнца 59%. Расчеты показывают, что в ближайшие 5 миллиард лет практически ничего не изменится: светимость Солнца будет постепенно повышаться, но незначительно. Через 10 миллиардов лет после начала горения водорода светимость Солнца будет всего в два раза выше нынешней, а диаметр Солнца вдвое будет превышать нынешний. К этому моменту человечество, если оно будет существовать, начнет испытывать климатические трудности. В центре Солнца водород уже весь вступит в реакцию. Центральная область будет заполнена гелием. Только на поверхности гелиевого шара, где еще есть водород, идет горение водорода, и эта тонкая сферическая оболочка перемещается к периферии Солнца. Солнечный шар становится все больше и холоднее. Через 13 миллиардов лет размеры Солнца станут в 100 раз больше, чем сегодня, а светимость увеличится в 2000 раз. К этому времени океаны уже выкипят, а на поверхности Земли температура будет столь велика, что свинец будет плавиться. Жизнь на Земле исчезнет. Над Землей будет сиять Солнце, занимая полнеба. Солнце превратилось в красный гигант. На этой стадии оно потеряет значительную часть своего вещества, заметная часть его газовой оболочки улетит в пространство. Со временем вся масса Солнца сосредоточится в его ядре, затем Солнце сбросит оставшуюся газовую оболочку и превратится в белый карлик.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ.

Суммируем кратко процесс эволюции звезд в таблице ( $M_c$  - масса Солнца).

Начальная масса звезды в массах солнца	Конечное состояние и его масса	Характеристики	Замечание
любая	протозвезда	Холодная масса газа из водорода и гелия.	Под действием сил притяжения газ уплотняется и разогревается. Когда температура достигнет 10 миллионов градусов начинаются ядерные реакции и протозвезда превращается в звезду.
любая	звезда	Сильно нагретый ионизированный газ.	Происходит выделение тепла за счет превращения протонов в ядра более тяжелых элементов до железа включительно.
$M/M_c < 5-10$	белый карлик; $m < 1.2 M_c$	Плотный ионизованный газ, $\rho \sim 10^6 - 10^7$ г/см <sup>3</sup> радиус порядка радиуса Земли. Время остывания 1 млрд лет, источников энергии нет.	Красный гигант сбрасывает свою внешнюю оболочку, обнажая свое центральное ядро, которое и есть белый карлик. Оболочка образует планетарную туманность.
$M/M_c < 20-40$	нейтронная звезда; $1.2 M_c < m < 2.4 M_c$	Ядерное вещество, состоящее из нейтронов $\rho \sim 10^{14} - 10^{15}$ г/см <sup>3</sup> , радиус 10-20 км, источников энергии нет.	Процесс образования сопровождается вспышкой сверхновой звезды. Ядро звезды перед вспышкой состоит из железа. При захвате ядрами электронов (процесс нейтронизации) ядро звезды схлопывается и превращается в нейтронную звезду. Выделяется большое количество энергии, приводящее к взрыву звезды.
$M/M_c > 40$	черная дыра; $m > 2.4 M_c$	Радиус стремится к нулю, плотность к бесконечности.	Свет не может уйти от звезды с момента, когда ее радиус станет меньше шварцшильдовского: 3 км для Солнца, 0.8 см для Земли.



## 13 Законы микромира и квантовая механика.

Обычно, когда говорят о движении, то возникает образ тела, движущегося по некоторой траектории. Но в природе столь же часто наблюдается другой вид движения - распространение волн. Примером могут служить волны на поверхности воды. Но было установлено много других процессов, в которых происходит распространение волн: звук - это распространение колебаний плотности вещества, свет - это распространение электромагнитных колебаний и т.д.

С момента введения этих двух видов движения шли споры о том, к какому виду движения принадлежит то или иное явление. Наиболее известен спор о том, что такое свет. Ньютон предполагал, что процесс распространения света есть движение особых частиц. Гюйгенс доказывал, что свет есть распространение волн. Ученые доказывали справедливость своей точки зрения, ссылаясь на известные экспериментальные данные.

Так, Ньютон опирался на то, что законы отражения света от плоской поверхности такие же, как для упругого отскока шара от поверхности. Гюйгенс апеллировал к явлениям интерференции световых пучков. Казалось, что после работ Юнга и Френеля волновая теория света одержала полную победу, а те явления, которые свидетельствуют о корпускулярной природе света, находят свое объяснение и в волновой теории, хотя и путем более сложных построений.

Но волновой теории света в частности, а в общем случае теории электромагнитных колебаний как чисто волновому процессу, был нанесен удар, когда в начале 20 века Планк доказал, что энергия переносится светом конечными порциями - так называемыми световыми квантами. Величина энергии кванта  $\varepsilon$  определяется его частотой  $\nu$  и определяется из соотношения  $\varepsilon = h\nu$ , где константа  $h$  называется постоянной Планка.

До этого считалось что, энергия, передаваемая светом, определяется его интенсивностью, т.е. амплитудой электромагнитной волны, но не ее частотой.

В полном противоречии с основами классической физики явилось предположение де Бройля о том, что любому движению тела можно сопоставить некий волновой процесс. Длина волны этого процесса  $\lambda$  связана с импульсом тела  $p$  соотношением  $\lambda = h/p$ . Обнаружение этих волн в эксперименте по прохождению электронов через кристалл подтвердило существование такого волнового процесса.

Оказалось, что картина, фиксируемая на фотопленке при регистрации ею прошедшего через кристалл пучка электронов, точно такая же, как для рентгеновских лучей, прошедших через тот же кристалл. Для рентгеновских лучей этот процесс давно был понят как явление дифракции, т.е. отклонение света с очень короткой длиной волны при прохождении его через периодическую структуру кристалла из рассеивающих центров с последующей интерференцией.

Но электроны, без всяких сомнений, частицы, а не волны, их заряд и масса ни при каких процессах не делятся, а волну мы всегда представляем как делимую непрерывную совокупность. Прямой дифракционный опыт показывает, что каждый электрон движется внутри решетки кристалла как волна, не переставая при этом быть неделимой частицей.

Это парадоксально, но это экспериментальный факт и то, что мы можем привести множество примеров, где электрон проявляет себя только как частица, еще более усиливает этот парадокс. Этот парадокс нашел свое объяснение в новой ме-

ханике, применимой к микрочастицам. Эта механика получила название квантовой механики. Сразу заметим, что при переходе к макротелам она переходила к обычной классической механике Ньютона.

Смысл этого утверждения состоит в том, что квантовая механика есть более общая теория, чем классическая механика, являющаяся ее предельным случаем. Мы можем в принципе в рамках квантовой механики рассчитать движение любого тела, но для тел большой массы эти расчеты будут неоправданно сложнее классических расчетов, и, самое главное, не дадут никаких новых эффектов по сравнению с результатами классических расчетов.

Обсудим, почему же электрон иногда ведет себя как частица, а иногда как волна. Для этого рассмотрим два случая: первый - пучок электронов в телевизионной трубке, а второй - тот же пучок, пропускаемый через кристалл. Определим длину волны, сопоставляемую электрону, если его энергия равна типично применяемой в кинескопах. В телевизионной трубке пучок электронов разгоняется электрическим полем, создаваемым разностью потенциалов порядка 20 000 вольт. Подсчитав скорость электронов и зная его массу, мы определим его импульс  $p$ , а затем и соответствующую этому импульсу длину волны, которая окажется равной  $10^{-9}$  см. Для кинескопа диаметр электронного пучка составляет 0.1 мм или  $10^{-2}$  см, такой узкий пучок необходим для получения достаточной резкости телевизионного изображения. Но размер пучка в десять миллионов раз больше, чем длина волны этих электронов.

Очевидно, что волновые свойства электрона никак не проявят себя в таком устройстве, как кинескоп, хотя электрону можно и приписать волновые свойства.

Но в кристалле расстояния между атомами в его решетке составляют около  $10^{-8}$  см, что вполне сопоставимо с длиной волны электрона, Это расстояние равно десяти длинам волн, и мы знаем из оптики, что при таком соотношении между длиной волны света и расстоянием между рассеивающими центрами наблюдаются интерференция световых волн.

Мы можем сформулировать вопрос: если электрон проявляет волновые свойства, а волна по определению есть протяженный объект, то с какой точностью мы можем зафиксировать положение электрона в пространстве. Если электрон - волна, то это можно сделать только с точностью до доли длины его волны, скажем до одной четверти или трети, точное значение не имеет особого смысла, так как это интуитивная оценка.

В квантовой механике устанавливается фундаментальная теорема, утверждающая, что ошибка определения координаты частицы  $\Delta x$  связана с ошибкой в определении ее импульса  $\Delta p$  соотношением  $\Delta x \Delta p \geq \hbar$  ( $\hbar = h/(2\pi)$ ). Это так называемое соотношение неопределенности Гейзенберга, смысл которого состоит в том, что чем точнее мы определим координату частицы, тем с большей ошибкой мы будем знать ее импульс, а значит и ее скорость, а это приведет к ошибке в нахождении ее координаты в последующие моменты времени, так как смещение частицы по ее траектории определяется ее скоростью.

Это соотношение не имеет отношения к техническим деталям измерения координаты или импульса. Ни сегодня, ни когда - либо в будущем не удастся создать прибор, который был бы способен произвести измерение этих двух величин одновременно с ошибкой, меньшей, чем это вытекает из соотношения неопределенности. Подчеркнем слово одновременно, так как возможно сколь угодно точное измерение одной из этих величин, но при этом вторая величина будет известна с ошибкой тем

большей, чем точнее известна первая.

Это утверждение специфично для квантовой механики, в классической механике таких ограничений не существует. Причина существования соотношений неопределенности в квантовой механике лежит в признании двойственной природы всех объектов: каждый объект обладает как свойствами частицы, так и свойствами волны.

Может показаться логически противоречивыми два утверждения: первое - классическая механика является предельным случаем квантовой механики, справедливой для макротел; второе - в квантовой механике каждый объект несет свойства частицы и волны, а в классической механике у частицы никаких волновых свойств нет. Но на самом деле противоречия нет: мы можем и в классической механике считать связанным с любым телом волновой процесс, но никаких уточнений в описании траектории тела при этом не возникает.

Мы уже это проиллюстрировали на примере пучка электронов в кинескопе. Приведем еще один пример. Возьмем частицу массой 1 г, движущуюся со скоростью 1 см/сек, и пусть эта скорость измерена нами с точностью до  $10^{-6}$  см/сек. Тогда из соотношения неопределенности мы не можем определить координату частицы точнее, чем  $10^{-20}$  см. Столь малая величина реально несколько не ограничивает точность измерения координат тела, так как ограничение точности в 10 миллионов раз меньше размеров ядер атомов, образующих это тело. Измерение координат тела с такой точностью лишено всякого смысла, хотя принципиального запрета для этого не существует.

Другими словами это можно сформулировать так: волновые свойства макротел не сказываются на их движении. Двойственная природа микрообъекта - и частица, и волна - проявляет себя в соотношениях неопределенности, происхождение которых связано с тем, что в одном и том же эксперименте могут быть обнаружены либо корпускулярные, либо волновые свойства объекта, но не могут быть обнаружены и те, и другие одновременно. Это утверждение, сформулированное Бором, получило название принципа дополнительности.

Другой новой чертой, внесенной в физику квантовой механикой, является новый подход к определению состояния объекта. В классической физике предполагается, что состояние объекта никак не зависит от способа получения сведений об этом объекте. Это естественное предположение основано на утверждении о том, что всегда можно создать такой прибор, измеряющий заданную характеристику объекта, что его воздействие на объект настолько мало, что не изменяет состояния объекта. Отсюда следует, что, совершенствуя приборы, мы можем получать сколь угодно точные значения любой величины, характеризующий объект.

Как мы уже видели, в квантовой механике такая детализация невозможна. Однако следует отметить, что это утверждение не отрицает того, что есть объективно существующие характеристики объекта, ошибки измерения которых не зависят от того, измеряем мы их по отдельности или одновременно с другими величинами. Этими характеристиками являются, например, электрический заряд, масса, число электронов в атоме вещества.

Утверждение квантовой механики состоит в том, что существуют характеристики объекта, отличные от перечисленных, которые не могут быть одновременно измерены со сколь угодно большой точностью, таковыми, например, являются координата и импульс частицы.

Проявление этого принципа на практике всегда связано с тем, что сам процесс

измерения приводит к изменению характеристик объекта. Например, желая определить координату электрона, мы освещаем его светом и по рассеянному свету судим о том, в какой точке произошло рассеяние кванта света на электроне, эту точку мы и принимаем за координату электрона. Но свет есть волна, с определенной длиной волны, определить положение электрона мы можем только с точностью до длины волны. Желая повысить точность измерения координаты электрона, мы должны выбирать свет с возможно меньшей длиной волны. Но чем меньше длина волны, тем больше энергия и импульс кванта, тем больше будет импульс, переданный квантом света электрону. Отсюда вытекает, что повышение точности определения координаты положения электрона в момент ее измерения, приводит к росту неопределенности, или ошибки, в значении импульса этого же электрона.

Следовательно, даже зная очень точно координату положения электрона в данный момент времени, для последующего момента времени мы будем знать ее с большой ошибкой, так как скорость электрона будет известна с тем большей ошибкой, чем точнее мы определили координату.

Еще раз подчеркнем, что эти выводы не связаны со способом измерения, в любом другом методе измерений мы получим те же результаты, это неизбежное следствие волновых свойств объектов в квантовой механике. Таким образом, в отличие от классической в квантовой механике процесс измерения или взаимодействия прибора с объектом играет важную роль.

Что же предлагает квантовая механика вместо точно определенных в классической физике значений величин, характеризующих объект. Совершенно новым по сравнению с классической физикой в квантовой механике является утверждение - мы можем предсказать (или вычислить) лишь вероятность того, что в результате процесса измерения некоторой величины мы получим то или иное значение этой величины.

Таким образом, квантовая механика вводит существенно новый элемент при описании свойств объекта - вероятность реализации значения характеристики объекта. Функция, описывающая распределение вероятностей получения значений переменной, характеризующей состояние объекта, называется волновой функцией. Математический аппарат квантовой механики построен как алгоритм (способ или рецепт) вычисления этой функции.

Можно возразить, что понятие вероятности осуществления того или иного состояния объекта существовало и в классической физике, и, более того, в ней также были разработаны способы нахождения этих вероятностей. Примером может служить молекулярно - кинетическая теория. В ней, например, давление газа на стенку сосуда создается за счет ударов большого числа молекул газа и поэтому не имеет определенного значения, а колеблется около среднего значения, при этом разработаны способы определения вероятности отклонения или флуктуации давления от среднего на заданную величину.

Все очень похоже на утверждения квантовой механики, в чем же тогда новизна? Дело в том, что в классической механике понятие вероятности появлялось только тогда, когда из-за большого числа объектов решение еще большего числа ее уравнений для получения точного описания системы встречалось с чисто вычислительными трудностями, но не с принципиальной невозможностью точного описания. Тогда использовались методы вычисления вероятностей распределения значений величин, но при этом всегда утверждалось, что с появлением возможности проводить более

трудоемкие расчеты вероятностные методы всегда можно заменить на точные.

Квантовая механика наоборот утверждает, что в принципе не существует способа получения точных значений некоторых переменных, характеризующих поведение отдельной частицы, и никаким повышением точности измерений и вычислений этого добиться нельзя.

Это рассмотрение вероятностных процессов в классической и квантовой механике связано с различием в понятиях причинности в этих механиках. В классической физике существует детерминизм или предопределенность развития системы. Если заданы сколь угодно точно начальные координаты и скорости материальных точек некоторой замкнутой механической системы, то их координаты и скорости в любой другой момент времени могут быть вычислены с той же точностью. Это только принципиальная возможность, не реализуемая на практике из-за невозможности бесконечно точного задания начальных значений или не применимая к системам с очень большим числом частиц по причинам, обсужденным выше.

Однако все это не фундаментальные причины, т.е. в принципе развитие замкнутой механической системы предопределено во времени, и ограничены лишь наши возможности предсказать состояние системы. Можно считать, что с развитием техники мы сможем определять начальные значения все точнее, а с развитием мощности и скорости ЭВМ рассчитывать все точнее и тем самым будем все точнее предсказывать будущее такой системы.

Квантовая механика утверждает, что существуют фундаментальные ограничения в способности предсказания состояния системы в будущем: мы никогда не сможем сколь угодно точно задать координату и скорость тела в один и тот же момент времени. Причина этого в существовании соотношения неопределенности. Квантовая механика может предсказать только вероятность частице иметь то или иное значение скорости, если известна ошибка, с которой определена ее координата.

Таким образом, принципиальный детерминизм классической механики сменяется в квантовой механике принципиальным вероятностным подходом к предсказанию состояний системы в будущем.

Существенное различие между классической и квантовой механикой состоит в разной трактовке понятия тождественности объектов. В классической физике это понятие носило абстрактный характер, недостижимый на практике. То есть, хотя невозможно изготовить два тела абсолютно тождественные по всем характеристикам друг другу (просто в силу несовершенства технологических процессов), при рассмотрении законов движения тел будем предполагать, что они тождественны друг другу, иначе придется необоснованно усложнять расчеты, учитывая различие в телах. Отличить тела друг от друга мы всегда сможем, поставив на них метку. Следующее важное предположение состояло в том, что некоторые свойства любого тела можно менять непрерывно, просто меняя его размеры.

В квантовой механике считается, что существуют микрочастицы, абсолютно тождественны друг другу по всем своим характеристикам, и не существует способа различить их. Так, например, все электроны неразличимы между собой. Аналогично, все протоны неразличимы между собой. Но мы можем отличить, например, протон от электрона.

В классической механике, например, при рассмотрении процесса рассеяния электрона на электроне предполагается, что мы можем указать какой из рассеянных электронов соответствует налетающему электрону, а какой электрону - мишени. Но

для этого процесса квантовая механика дает другие предсказания, чем классическая механика. В квантовой механике считается, что невозможно различить два тождественных электрона. Поэтому теория должна строиться таким образом, чтобы ее предсказания соответствовали тому, что в результате процесса рассеяния эксперимент не может различить какой из электронов-участников был зарегистрирован - налетающий или мишень.

Фундаментальные законы классической физики определяют лишь общие закономерности явления, но само явление может быть реализовано бесконечным числом способов. Например, в любой планетарной системе типа Солнечной, траектории планет будут эллипсами, определяемыми законом тяготения, но число планет, их массы, их расстояния от звезды не определяются этим законом, а зависят от условий образования этой системы.

В квантовой механике рассматриваются объекты, тождественные друг другу по всем своим характеристикам, которые не зависят от способов образования этих объектов. Так, все атомы водорода имеют одно и то же распределение вероятностей расстояния между протоном и электроном, не зависящее от того, когда и в каком процессе был образован атом. Любой алмаз содержит атомы углерода, создающие в пространстве кристаллическую решетку с одним и тем же расстоянием в ней между атомами. Мы можем изменить геометрическую форму и размер алмаза, но если мы изменим его решетку, то это будет уже другое вещество. Например, графит состоит, как и алмаз, из атомов углерода, но имеет другую, чем алмаз кристаллическую решетку.

Существуют фундаментальные конфигурации, из которых строится структура микрочастицы. Эта структура в точности возобновляется, если эта конфигурация разрушается, а затем микрочастица восстанавливается. Так если атом разрушен в процессе ионизации - удалении одного или нескольких электронов, а затем возвращается в свое исходное состояние, захватывая электроны, то восстановленный атом будет иметь в точности те же свойства, что и исходный. Свойства атома не зависят от того создан он на Земле, на Солнце или в другой галактике, удаленной от нас на многие тысячи световых лет. Это очень важное свойство микрообъектов, т.к. оно гарантирует нам неизменность реакции микрообъекта на одно и то же внешнее воздействие, где бы оно ни происходило.

Опираясь на это, мы можем предсказывать поведение вещества даже для условий, которые мы не можем создать экспериментально на Земле. На этом основана наша уверенность в правильности наших моделей развития Вселенной, образования и эволюции галактик и звезд.

Тождественность частиц также определяет некоторые существенные черты поведения коллектива этих частиц, на чем мы остановимся позже.

Другая важная особенность свойства микрообъектов, находящая объяснение в квантовой механике, состоит в том, что эти объекты в некоторых процессах могут поглощать или излучать энергию только дискретными порциями. Впервые это показал Планк в применении к квантам света, а позже было установлено, что это применимо к любым квантовым объектам, способным изменять свою внутреннюю структуру при поглощении и излучении энергии. Примером этих процессов является поглощение и излучение света атомом. Мы знаем, что атом может поглотить квант света и перейти в возбужденное состояние, в котором один из электронов атома переходит на другую орбиту и энергия этого электрона увеличивается, при этом это

увеличение имеет одно определенное значение, т.е. атом не может поглотить энергию, большую или меньшую этой величины. Соответственно при возвращении в исходное состояние при переходе электрона на орбиту, где он имеет меньшую энергию, атом излучает квант света, энергия которого равна разности энергий электрона в двух рассмотренных состояниях. Это является причиной того, что атом излучает свет только определенных энергий, набор которых определяется внутренней структурой атома. Поэтому и возникает при разложении света, испускаемого атомами одного элемента, линейчатый спектр, т.е. набор частот колебаний (или, что эквивалентно, длин волн, или энергий квантов света), характерных атому данного элемента.

Дискретность энергии отражает особенность внутреннего строения квантовых объектов, состоящую в том, что квантовый объект может находиться в нескольких состояниях, в которых сохраняется его индивидуальность, но меняются некоторые из его характеристик и, в первую очередь, его энергия. Состояние, в котором квантовый объект имеет наименьшую энергию, называется основным состоянием, а состояния с большей энергией - возбужденными состояниями. Между двумя возбужденными состояниями квантового объекта возможны переходы с испусканием энергии, естественно возможен такой же переход в основное состояние. Испускание энергии происходит чаще в виде кванта электромагнитного поля: светового, рентгеновского, гамма излучения. Если же энергия перехода достаточно велика, то может происходить рождение частиц.

Исследование переходов между возбужденными состояниями составляет предмет спектроскопии излучений квантовых объектов. Остановимся подробнее на классификации излучений квантовых объектов. Эту классификацию целесообразно проводить по величине энергии излучений. В качестве наименьшей энергии мы выберем ту, которая соответствует радиоволнам миллиметрового диапазона и в энергетических единицах равна долям эВ. На этой частоте излучают молекулы веществ. Возбуждение молекулы состоит в том, что она вращается с различной скоростью. Энергия такого возбужденного состояния молекулы равна приблизительно 1 эВ, что соответствует излучению и поглощению квантов видимого света. Возможны колебания одних составляющих молекулы относительно других частей. Такие возбуждения молекул могут иметь существенно большие значения энергии возбуждения - несколько эВ.

Хорошим примером является молекула озона  $O_3$ , которая способна поглощать излучение с длиной волны меньше 0.3 мкм (в энергетических единицах 4 эВ), переходя в возбужденное состояние, в котором молекула озона распадается на молекулу кислорода  $O_2$  и свободный атом кислорода. Этот атом, встречая молекулу кислорода, присоединяется к ней, вновь образуя молекулу озона. В нормальных условиях происходит разрушение озона под воздействием солнечного излучения и естественное восстановление его концентрации. При присоединении атома кислорода к молекуле  $O_2$ , выделяется небольшая энергия.

Важная роль этого процесса в природе состоит в том, что слой озона поглощает излучение Солнца в области ультрафиолета, которое весьма неблагоприятно воздействует на живые организмы. Очевидны последствия, возникающие при исчезновении озонового слоя.

Атомы химических элементов излучают свет от инфракрасной до рентгеновской области спектра. Эти спектры являются предметом изучения оптической и рентгеновской спектроскопии. Ядра атомов так же способны переходить в возбужденные

состояния, но квант энергии, или расстояние между возбужденными состояниями ядра существенно выше - он составляет миллионы эВ (МэВ). При переходах между возбужденными состояниями ядра испускаются гамма - кванты с энергией от долей МэВ до десяти МэВ. Эти явления изучает раздел ядерной физики, называемый ядерной спектроскопией.

На этом квантовая лестница возбуждений не заканчивается. Составные части ядер протоны и нейтроны так же имеют возбужденные состояния. Но масштаб возбуждений здесь сотни МэВ. При переходе этих частиц в основное состояние излучаются ядерные частицы, например, пионы, масса покоя которых составляет 140 МэВ. Природа возбуждений протонов и нейтронов состоит в том, что составляющие их кварки меняют свою орбиту в нуклоне.

Пока нам неизвестно, являются ли кварки последней ступенью в строении материи или сами состоят из каких-то составных частей. Ясно только, что если такие части существуют, то для возбуждения их потребуются энергии более сотен тысяч МэВ и такие же энергии будут выделяться при разрядке этих возбужденных состояний кварков.

Мы можем констатировать, что с уменьшением размеров квантового объекта энергия его возбужденных состояний растет обратно пропорционально его размерам.

Закономерности квантовой механики существенно отличаются от законов классической физики в вопросе об устойчивости микросистем. В начале века было установлено, что атом по своему строению похож на планетную систему, в которой роль центрального тела играет положительно заряженное ядро атома, вокруг которого по своим орбитам движутся электроны, а управляет этим движением электрическая сила притяжения между ядром и электронами.

С точки зрения классической физики такая система не может существовать как стабильное образование. Дело в том, что движение по окружности электрического заряда в классической электродинамике сопровождается излучением энергии в виде электромагнитных волн. Причина этого в том, что движущийся заряд это - ток, а ток должен породить магнитное поле. Потеря энергии электроном должна приводить к уменьшению радиуса его орбиты и, в конечном счете, он должен упасть на ядро через несколько миллионных долей секунды.

Ничего подобного в действительности не наблюдается, атом - стабильное образование, живущее неопределенно долгое время. Эта проблема решена в квантовой механике. Но решение в некотором смысле может разочаровать: квантовая механика просто постулирует, что в атоме существуют только такие орбиты электронов, по которым они двигаются не излучая, но при этом, что более важно, дает способ расчета всех характеристик этих орбит. В действительности мы не знаем, почему существуют эти орбиты, но, если мы принимаем этот постулат, то квантовая механика предлагает уравнение, решив которое мы найдем вид волновой функции, зная которую мы сможем найти все характеристики электрона в атоме.

Это уравнение в 1925 г. предложил Шредингер, и оно носит его имя. Это уравнение не выведено логическим путем из каких то первых принципов. Можно сказать, что Шредингер угадал его вид, но все это не уменьшает заслуг Шредингера, так как с момента появления этого уравнения квантовая механика из науки, основанной на эмпирических рецептах, встала на прочную основу математического метода расчета свойств квантовых систем.



Существует еще один вопрос, связанный с устойчивостью атома и состоящий в том, почему, если мы рассматриваем атом с несколькими электронами, все они не занимают один и тот же самый нижний по энергии уровень, а располагаются по нескольким уровням так, что на каждом из них находятся ограниченное число электронов. Решение этой проблемы было найдено, когда было установлено, что электрон обладает еще одной внутренне присущей ему величиной - внутренним орбитальным моментом или спином. Для тела, движущегося равномерно по окружности, орбитальным моментом называется произведение массы тела на скорость и радиус окружности  $L = mvR$ . Электрон в атоме обладает таким орбитальным моментом  $L$ , этот момент измеряется в единицах  $\hbar$  и он всегда имеет целочисленное значение 0,1,2 ..

Но электрон еще обладает внутренним орбитальным моментом  $s$ , называемым спином. Причину его возникновения для наглядности можно представлять себе как следствие постоянного вращения электрона вокруг своей оси. Хотя сразу подчеркнем, что ни о каком вращении точечной частицы нельзя говорить, а электрон не проявляет никакой структуры до размеров порядка  $10^{-15}$  см. Спин электрона равен  $1/2\hbar$ .

У всех микрочастиц есть эта характеристика - спин; величина спина частицы может принимать либо целые значения  $(0, 1, 2 \dots)\hbar$  (у кванта света спин равен 1), либо полуцелые -  $(1/2, 3/2, 5/2 \dots)\hbar$ .

Спин частицы определяет ее поведение, когда она входит в состав другой квантовой системы, обладающей уровнями энергии, которые может занимать частица. На каждом таком уровне может размещаться только определенное число частиц, если их спин полуцелый. Если есть еще такие частицы, они должны располагаться на другом уровне. Это положение называется принципом Паули, по имени физика, доказавшего справедливость этого утверждения. Принцип Паули объясняет, почему электроны в атоме занимают энергетические уровни последовательно от низколежащих к вышерасположенным: на первом энергетическом уровне могут находиться только два электрона, поэтому третий и четвертый электрон должны разместиться на следующем уровне и т.д.

Решая уравнение Шредингера, мы можем определить энергии уровней электрона в атоме, располагая по этим уровням электроны в атоме в соответствии с принципом Паули, мы можем определить конфигурации электронной оболочки в атоме данного химического элемента. Поскольку химические свойства атома определяются его внешними электронными оболочками, мы можем предсказать эти свойства. Именно таким образом, квантовая механика объяснила природу периодической системы элементов, открытой эмпирическим путем Менделеевым.

Отметим, что для частиц с целым значением спина запрета на число частиц, находящихся на одном энергетическом уровне, не существует. В физике известны квантовые системы, в которых частицы с целым спином все располагаются на самом нижнем энергетическом уровне. Например, явление сверхпроводимости объясняется тем, что электроны в проводнике при низких температурах объединяются попарно, такая пара имеет спин 0, все пары занимают самое низкое энергетическое положение. В такой системе, как показывают квантовомеханические расчеты, сопротивление проводника падает до нуля.

В заключение рассмотрим связь между механикой Ньютона, механикой Эйнштейна и квантовой механикой. Связь этих концепций друг с другом определяется тем, считает ли соответствующая механика скорость света конечной или бесконечной,

полагает постоянную Планка равной нулю или отличной от нуля. Эта взаимосвязь механик показана в таблице.

Механика Ньютона $h = 0; c = \infty$	Механика Эйнштейна (ЧТО) $h = 0; c \neq \infty$
Квантовая механика Шредингера (нерелятивистский вариант) $h \neq 0; c = \infty$	Квантовая механика Дирака (релятивистский вариант) $h \neq 0; c \neq \infty$

Как механика Ньютона, так и механика Эйнштейна не включают в себя квантовых эффектов. Естественным масштабом квантовых эффектов является постоянная Планка. Если в уравнениях квантовой механики устремить значение постоянной Планка к нулю, то они перейдут в уравнения механики Ньютона.

Рассмотренный нами вариант квантовой механики не включал релятивистских поправок, то есть в нем скорость света считается бесконечной. Это квантовая механика Шредингера. Но даже в атоме релятивистские эффекты играют заметную роль. Поэтому была построена релятивистская квантовая механика, в которой скорость света считается конечной величиной.

В этой теории естественным образом возникают античастицы электрона - позитроны. Первым построил эту теорию английский физик Дирак в 1927 г.

Еще раз подчеркнем, что ни одна из механик не отменяет другую - одна является предельным случаем другой. Хотя в принципе можно из теории Дирака получить все остальные механики, но никто не станет применять уравнение Дирака к расчету движения небесных тел, поскольку никаких квантовых эффектов в этом явлении нет, и использование неадекватной явлению, пусть и правильной в принципе теории, приведет к практической невозможности проведения расчетов.

Каждая из механик применяется для своей области физических явлений. В механику Ньютона и классическую электродинамику Максвелла попадают физические явления, вызываемые электромагнитным и гравитационным взаимодействиями. Слабые и сильные взаимодействия проявляют квантовые эффекты и требуют применения релятивистской теории. Теории этих взаимодействий имеют специфические черты и строятся по схеме, близкой к теории Дирака.

Мы видели, что для трех видов взаимодействия - сильного, электромагнитного, слабого - построена квантовая теория. А что же для гравитационного? Мы уже упоминали, что при предельно малых пространственных областей, если в них сосредоточена достаточное количество материи, должна действовать квантовая теория тяготения, но она пока не построена. Одной из причин этого является то, что мы не в состоянии создать такие системы и экспериментально изучить их свойства.

## Основные выводы.

В таблице проводится сопоставление концепций классической и квантовой механик.

Классическая механика	Квантовая механика
Частицы не обладают волновыми свойствами.	Микрочастицы обладают волновыми свойствами.
Все характеристики движения частицы могут быть определены сколь угодно точно.	Существуют соотношения неопределенности, ограничивающие точность одновременного определения некоторых величин, например, координаты и импульса частицы.
Знание координаты, скорости частицы и силы, действующей на нее, позволяет предсказать положение частицы в любой последующий момент времени. Траектория движения частицы определяется в принципе с любой точностью.	Для микрочастиц можно рассчитать только вероятность реализации тех или иных значений, характеризующих ее состояние. Распределение вероятности этих значений задается волновой функцией.
При повторении одного и того же опыта в одних и тех же условиях получатся одни и те же результаты.	При многократном повторении одного и того же опыта в одних и тех же условиях получатся одни и те же распределения вероятностей реализации значений измеряемой величины.
При движении тел отсутствуют проявления каких-либо волновых процессов.	Наблюдаются интерференционные эффекты при движении микрочастиц, характерные для волновых процессов.
Не существует абсолютно тождественных материальных объектов.	Микрочастицы разбиваются на виды, в которых они по своей природе абсолютно тождественны друг другу. Характеристика частиц - спин - определяет их свойства (принцип Паули).
Энергия, поглощаемая или испускаемая системой, может изменяться по величине непрерывно.	Микрочастицы и системы микрочастиц испускают и поглощают энергию дискретными порциями (квантами), величина которых определяется природой этих микрочастиц.
Электрон, двигаясь по круговой орбите, постоянно излучает электромагнитные колебания и поэтому со временем потеряет всю энергию. Отсюда невозможность существования стабильного атома.	В атоме электрон занимает орбиты, движение по которым не сопровождается излучением. Возможно существование стабильных атомов.

В процессе движения частица может иметь любую траекторию, не нарушающую законы сохранения энергии и импульса.	Для микрочастицы при движении ее в ограниченном пространстве существуют дискретный набор траекторий, которые она может занимать .
Существование антивещества не вытекает из законов классической механики	Существование антивещества вытекает из законов квантовой механики.
Область применимости - движение макроскопических частиц с энергиями большими по сравнению с энергией возбуждения составляющих их атомов и молекул.	Область применимости - движение микроскопических частиц с энергиями сравнимыми с энергией их возбуждения .

## 14 Явление интерференции в квантовой механике.

Какова природа волновой функции? Что мы имеем в виду, когда говорим, что с каждой частицей связана некоторая волна. Что колеблется, как и в чем распространяется эта волна?

Свойства частицы описываются волновой функцией, которая определяет вероятность реализации тех или иных значений характеристик микрообъекта. Волновая функция не является физическим полем. Это поле информации о свойствах микрообъекта. Поэтому не существует какой-то среды, в которой распространяется эта волна. Но физическая среда влияет на характеристики частицы, что находит свое выражение в изменении волновой функции частицы в зависимости от свойств этой среды.

Основным свойством волновой функции является то, что она складывается из волновых функций взаимоисключающих событий, приводящих к одному и тому же конечному результату. Это сложение называется принципом суперпозиции, и его выполнение приводит к существованию интерференционных явлений в мире микрообъектов. Приведем пример проявления интерференционных явлений.

Рассмотрим идеализированный опыт с макро и микротелами, проходящими через два отверстия в экране. Пусть мы имеем источник, испускающий в направлении экрана некие тела, например, ружье и пули. Траектории пуль имеют некий разброс, что приводит к тому, что с равной вероятностью пули проходят через одно из отверстий. Будем регистрировать распределение точек попадания этих пуль на плоскости, поставленной за экраном.

Это распределение дает нам вероятность попадания пули в ту или иную точку. Сначала откроем только одно отверстие и получим распределение точек. Затем закроем его и откроем второе отверстие и вновь получим распределение точек попадания. Ясно, что эти два распределения по форме будут совпадать, но будут несколько смещены друг относительно друга.

Теперь откроем оба отверстия и вновь произведем регистрацию распределения точек попадания. Мы получим распределение, которое будет суммой двух первых. Результаты этих трех опытов изображены на левом рисунке.

Представим себе, что мы проводим подобный опыт на воде. У нас есть источник волн, доска с двумя отверстиями, а на некотором расстоянии за доской мы регистрируем высоту волн или их амплитуду в разных точках. Если мы сделаем последова-

тельность трех опытов, как в предыдущем случае, с разными вариантами закрытых и открытых отверстий, то амплитуда колебаний в некоторой точке при двух открытых отверстиях не будет равна сумме амплитуд, полученных для двух случаев, когда открыты по отдельности по одному отверстию.

Причина этого лежит в явлении интерференции колебаний. Если в какой то точке волна, прошедшая через первое отверстие, имеет максимальную высоту, а волна от второго отверстия в этом же месте имеет максимальную впадину, то результирующая высота будет равняться их сумме и составит нулевую высоту. Если же обе волны имеют максимальную высоту, то результирующая высота будет равняться их сумме и составит удвоенную высоту. Возможны и все промежуточные высоты суммарной волны.

Отметим, что в отличие от опыта с телами, где в один и тот же момент времени возможно зарегистрировать попадание в детектор только одного тела, волна в каждый момент времени существует во всем пространстве.

Результаты этих опытов являются для нас вполне очевидными, поскольку они согласуются с нашими представлениями о движении материальных тел и волн. Теперь поставим эксперимент, аналогичный опыту с телами, но для электронов.

Итак, мы имеем источник электронов, экран с двумя отверстиями и детекторы электронов, расположенные за экраном. Если интенсивность источника электронов мала, то мы увидим, что детекторы электронов срабатывают по одиночке, т.е. электроны попадают в детектор дискретно, и случаи одновременного срабатывания двух детекторов отсутствуют. Этот результат не зависит от того, сколько отверстий открыто и какое из двух.

Теперь проведем два измерения распределения точек попадания электронов в детекторы для случая, когда открыто только одно из отверстий. Эти распределения будут похожи на распределения, полученные в опыте с телами.

Но если мы откроем оба отверстия, то оказывается, что распределение точек попадания электронов в детекторы имеет тот же вид, что и распределение амплитуды в опыте с волнами. Мы явно видим наличие интерференционных эффектов: распределение точек при двух открытых отверстиях не равно сумме распределений от случаев, когда открыто только одно из отверстий. Результаты этих трех опытов изображены на правом рисунке.

Что же интерферирует в этом случае? Мы говорили, что в квантовой механике определяется не траектория электрона, а вероятность того, что электрон окажется в той или иной точке. Эта вероятность дается значением квадрата модуля волновой функции:  $w = |f(r)|^2$ .

Если электрон может попасть в одну и ту же точку, пройдя либо через первое отверстие, либо через второе, то для вероятности этого квантовая механика дает величину  $w = |f_1(r) + f_2(r)|^2$ , где складываются волновые функции, описывающие оба возможных пути. Для простоты будем полагать волновую функцию не комплексной, а реальной. Тогда это выражение равно

$$w = f_1^2 + f_2^2 + 2f_1f_2 = w_1 + w_2 + 2f_1f_2,$$

т.е. вероятность не есть простая сумма двух вероятностей  $w_1 + w_2$ , появляется дополнительный интерференционный член  $2f_1f_2$ .

Итак, мы установили: а) электроны попадают в детектор как отдельные частицы, б) вероятность попадания электронов в какую то точку экрана определяется теми

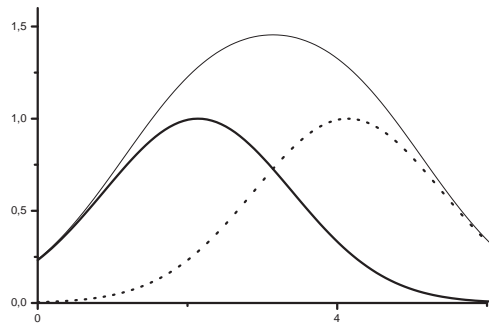


Рис. 2: Распределение интенсивности попадания пуль по координате детектора. Сплошная жирная кривая - открыто первое отверстие. Штрихованная кривая - открыто второе отверстие. Сплошная тонкая кривая - открыты оба отверстия.

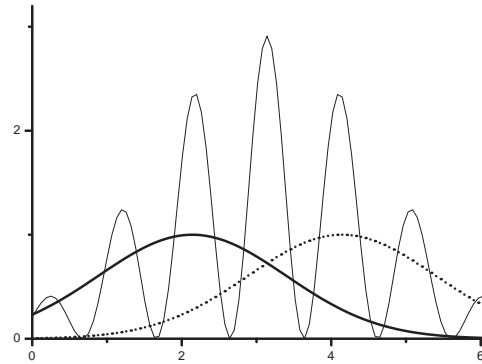


Рис. 3: Распределение интенсивности попадания электронов по координате детектора. Сплошная жирная кривая - открыто первое отверстие. Штрихованная кривая - открыто второе отверстие. Сплошная тонкая кривая - открыты оба отверстия.

же законами, что и амплитуда волны. Именно в этом смысле можно говорить, что с одной точки зрения (а) электрон ведет себя как частица, а с другой (б) - как волна.

Но тут возникают вопросы. В соответствии с утверждением (а) естественно предположить, что электрон проходит либо через отверстие 1, либо через отверстие 2. Но тогда распределение точек попадания должно было бы равняться сумме распределений точек попаданий для случая одного открытого отверстия, а этого не наблюдается.

Попытаемся экспериментально установить, через которое из двух открытых отверстий, прошел каждый из электронов. Как всегда для этого используем свет, по отраженному кванту света определим, через какое из двух открытых отверстий прошел электрон. Мы увидим, что электрон, как и следует ожидать, проходит через одно из отверстий. Теперь одновременно регистрируем, через какое отверстие прошел электрон и положение точки попадания электрона в детектор, а затем построим три распределения этих точек попадания.

Первое - электрон прошел через отверстие 1. Второе - электрон прошел через отверстие 2. Третье - электрон прошел либо через отверстие 1, либо 2. Тогда окажется, что первое распределение в точности совпадет с распределением, полученным в том случае, когда открыто только первое отверстие 1; второе распределение в точности совпадет с распределением, полученным в том случае, когда открыто только второе отверстие 2; третье распределение есть сумма двух первых.

Но мы же имели интерференционные эффекты при двух открытых отверстиях - а сейчас они исчезли. В чем дело? Два эксперимента с одновременно открытыми двумя отверстиями отличаются только тем, что в одном из них электрон взаимодействовал со светом.

Квант света, рассеиваясь на электроне, передает ему часть энергии и изменяет

направление его движения, при этом в каждом отдельном случае это изменение имеет разную величину. Это взаимодействие кванта с электроном приводит к исчезновению интерференции.

Это соответствует принципу дополнительности Бора: нельзя одновременно определить корпускулярные и волновые свойства объекта. Это общий принцип. Он утверждает, что не удастся построить такой прибор, с какими угодно частицами вместо квантов света, что станет возможным определить, через какое из отверстий прошел электрон, и не нарушить при этом измерении интерференционную картину.

Даже если мы поняли и приняли это объяснение, остается вопрос - а как же это так получается? Каким образом все это так выходит? К сожалению, никто этого не знает. Можно только сказать - это неотъемлемое свойство квантовых процессов.

Для квантовых процессов не выполняется требование, совершенно естественное для классической механики: при повторении одного и того же опыта в одних и тех же условиях должны получаться одни и те же результаты. Оно заменяется на утверждение: при многократном повторении одного и того же опыта в одних и тех же условиях должны получаться одни и те же распределения вероятностей реализации значений измеряемой величины.

Так каков же ответ на вопрос, поставленный в начале раздела: что колеблется, как и в чем распространяется волна, присущая всякому микротелу.?

Ответ таков: рассматриваемая волна есть волна информации о характеристиках движения тела. Ей не соответствует никакой материальный носитель и нет никакой среды, в которой происходили бы колебания, соответствующие этой волне. Вместе с тем эта волна обладает всеми свойствами, присущими волновым процессам. Главным из них является проявление интерференционных явлений.

## Основные выводы.

1. Волновая функция, присущая всякой микрочастице, есть волна информации о характеристиках движения тела. Ей не соответствует никакой материальный носитель и нет никакой среды, в которой происходили бы колебания, соответствующие этой волне.
2. Если один и тот же процесс может происходить разными способами, то распределение результирующей вероятности осуществления процесса будет содержать интерференционные члены.
3. Попытка установить, какой из возможных способов реализовался при протекании процесса, приводит к разрушению интерференционной картины.
4. Для микрочастиц при многократном повторении одного и того же опыта в одних и тех же условиях получаются одни и те же распределения вероятностей реализации значений измеряемой величины.

## 15 Закон возрастания энтропии и стрела времени.

В этом разделе мы следуем научно-популярным статьям замечательного Петербургского физика-теоретика Алексея Александровича Ансельма, выпускника физического

факультета Санкт-Петербургского университета.

Весь наш повседневный опыт говорит о неизменности течения времени в одном направлении. Это часто называют "стрелой времени". Для нас совершенно естественно то, что все процессы идут в одном направлении. Вернуть прошлое, или заставить процесс идти вспять во времени можно только в сказках.

Действительно, человек сперва молод, потом - стар; сперва рождается, потом умирает, и никогда не наоборот. Да и в неорганическом мире происходит нечто весьма похожее: стареют и разрушаются горы, становятся все более плоскими, пока в конце концов, не сливаются с равниной, на которой они вначале возвышались; сгнивают деревянные предметы и теряют свою индивидуальность, поглощаются, растворяются в окружающем мире.

Если задуматься над всеми такого рода процессами, то скоро станет ясно, что именно они и определяют направление "стрелы времени". Мы считаем что при развитии процессов, в которых происходит некоторое перемешивание, выравнивание каких-то особенностей (вроде сглаживания гор на равнине), слияние с окружающим миром, время всегда возрастает по мере протекания процесса.

Эта особенность происходящих вокруг нас явлений на самом деле удивительна по следующей причине. Дело в том, что все основные фундаментальные законы природы совершенно симметричны по отношению к будущему и прошлому, как говорят физики, инвариантны к обращению времени.

Чтобы более точно понять, что это такое, рассмотрим для примера два столкнувшихся и разлетевшихся шара на бильярде, и снимем фильм об этом простом механическом событии. Теперь запустим фильм задом наперед. Разлетавшиеся шары представятся нам теперь сталкивающимися, а их столкновение в исходном процессе представится как их разлетание. Прошлое и будущее поменяются местами, но мы не увидим в нашем фильме ничего удивительного. "Обратный" процесс, который мы наблюдаем в запущенном задом наперед фильме, вполне возможен в действительности, это мы и чувствуем интуитивно, когда смотрим обращенный во времени фильм.

С точки зрения классической механики, достаточно взять исходный процесс столкновения шаров и, когда шары уже разлетелись, поменять их скорости на обратные, скажем, дать каждому из них упруго отразиться под углом  $180^\circ$  от барьера. Тогда шары покатятся в обратном направлении, столкнутся и разлетятся, повторяя в обратном порядке путь исходного процесса. Все точно как в фильме, запущенном задом наперед.

Теперь усложним немного наш процесс: представим себе два бильiardных шара, неподвижно лежащих на бильярде, и стукнем по ним третьим шаром. Все три шара разлетятся в разные стороны. Снимем об этом фильм и, как и в предыдущем случае, запустим его задом наперед. Что мы увидим? Три шара, двигающиеся с трех различных сторон, соберутся в одно место и столкнутся; после этого два из них останутся неподвижными в том месте, где они столкнулись, а третий шар улетит.

Большинство, увидевших такой фильм, заподозрят что-то неладное. Как-то странно, чтобы три шара столкнулись в одном месте таким образом. Чтобы два остались неподвижны, а третий улетел ... И все же, анализируя внимательно эту ситуацию, мы можем убедиться, что, в принципе, такой процесс возможен: теоретически для этого снова, надо в конце исходного процесса, когда, шары разлетаются в разные стороны, поменять их скорости на обратные (упруго отразить под углом  $180^\circ$ ) и все



пойдет как в фильме с обратным течением времени. Не будет, в частности, нарушен закон сохранения импульса: когда шары столкнутся, то импульс всех трех шаров будет передан одному шару, который улетит с места столкновения.

Вот эта принципиальная возможность иметь прямой и обратный процесс, в котором система проходит в обратном порядке через состояния, существовавшие в прямом процессе, и называется инвариантностью механических законов к обращению времени.

Произведем теперь третий (и последний!) мысленный эксперимент с бильярдными шарами. Разобьем "пирамидку состоящую из 10 шаров, одиннадцатым шаром, и прокрутим фильм об этом событии задом наперед. Теперь уже любой человек скажет, что что-то здесь неладно: никто никогда, не видел, чтобы 11 шаров с разных направлений одновременно столкнулись, 10 из них сложились в аккуратную неподвижную пирамидку, а один шар улетел.

Удивительное однако состоит в том, что и этот процесс в принципе возможен, - то есть не противоречит законам механики. Перейдем теперь от 10 бильярдных шаров к 10 молекулам газа в сосуде или в комнате. Пусть сперва они занимают лишь половину комнаты. Довольно скоро, сталкиваясь друг с другом и со стенами, молекулы газа займут всю комнату. Фильм об этом событии, прокрученный задом наперед, будет выглядеть совсем уже неправдоподобно: молекулы газа никогда самопроизвольно не собираются в одной половине комнаты.

Между тем, даже и этот процесс теоретически возможен! Поменяем в некоторый момент времени, уже после того, как газ заполнил всю комнату, скорости всех молекул на обратные. Тогда газ начнет проходить все те состояния, в результате которых возникло конечное состояние, в обратном порядке. В конечном счете, мы придем к исходной ситуации – газ в одной половине комнаты.

Беда только в том, что предложенный рецепт – "поменяем скорости всех молекул на обратные" – имеет весьма теоретический характер и на практике совершенно не ясно, как его осуществить.

Из всего сказанного можно сделать следующие выводы.

1. Направление стрелы времени определяется процессами типа распространения газа из одной половины сосуда на весь сосуд или перемешивания двух сортов газа, расположенных в двух концах сосуда. К процессам такого же типа относятся выравнивание температур при контакте горячего тела с холодным; растворение кристаллов соли в жидкости; ржавление и гниение, приводящие в конечном счете к перемешиванию исходного материала с окружающей средой; разрушение и исчезновение гор; рождение и смерть человека. Обратные процессы, по отношению к перечисленным, в природе практически не встречаются: смерть не бывает раньше рождения, температура более горячей части неравномерно нагретого тела не может спонтанно повышаться. Последнее утверждение формулируют иногда таким образом: тепло не может само по себе переходить от холодного тела к горячему, тем способствуя увеличению разности температур.

2. Все те процессы, которые мы не наблюдаем, вроде собирания молекул воздуха в одной половине комнаты или передачи тепла от холодного предмета к горячему возможны в принципе, т.е. не запрещены фундаментальными законами природы - законами механики или электромагнитных явлений.

Поэтому нельзя сказать, что эти процессы абсолютно не существуют. Бывает, что плотность воздуха в одной части комнаты вдруг может стать несколько большей, чем

в другой, даже без внешних на то причин. Эти кратковременные процессы, не согласующиеся с подавляющим большинством процессов, приводящих к выравниванию плотности, температуры и т.д., называются флуктуациями. Они не запрещены законами природы, но не часты, маловероятны. Значительных флуктуаций, таких как собирание всего воздуха в одной половине комнаты, просто не наблюдается.

Сформулированные утверждения составляют содержание второго начала термодинамики (первое начало термодинамики - закон сохранения энергии). Поскольку, как уже сказано, флуктуации возможны, но маловероятны, попытаемся понять, насколько маловероятна, например, такая флуктуация как собирание всех молекул воздуха ( $n \sim 10^{23}$  штук) в  $1/10$  части сосуда, их содержащего. Можно показать, что искомая вероятность есть

$$w = 10^{-n}$$

где  $n$  - число частиц. Для  $n = 10^{23}$  мы получаем:

$$w = 10^{-10^{23}}$$

Ясно, что это число очень малое, но как представить себе, насколько малое? Обратное этому число есть число с  $10^{23}$  нулями. Если записать эти нули явно на ленточке бумаги, тратя, скажем, 0.3 см на каждый ноль, то не хватит ленты длиной от Земли до Луны или от Земли до Солнца, как, впрочем, и до ближайших звезд. Понадобится лента длиной, приблизительно равной размерам нашей галактики. Напомним, что каждый лишний ноль уменьшает вероятность  $w$  в 10 раз!

Только если бы мы могли создать случайным образом такое число  $10^{10^{23}}$  сосудов с воздухом, можно было бы ожидать, что в одном из них молекулы газа соберутся все вместе в  $1/10$  части сосуда. Надо сказать, что, хотя сама по себе такая принципиальная возможность очень интересна, в реальных категориях она столь мало вероятна, что ее вероятность практически не отличается от нуля.

Можно быть абсолютно уверенным, что никакая самая высокопроизводительная поточная линия не сможет создать столько сосудов за время жизни Вселенной! Ведь это число во много раз превосходит число всех частиц (электронов, протонов и др.) во Вселенной.

Таково единственное на сегодня объяснение, почему мы не наблюдаем процессов с собиранием молекул газа в определенной части сосуда или чего-нибудь подобного. Но мы начали наше рассмотрение этого примера с этого же маловероятного состояния, когда все молекулы находятся в  $1/10$  части сосуда. Однако, кто сказал, что такие начальные состояния, в которых все молекулы собраны в  $1/10$  части сосуда, их содержащего, создаются случайным, вероятностным образом?

Нас несколько не удивляет такое начальное состояние. Мы не удивляемся по абсолютно понятной причине: нам и в голову не придет, что газ оказался в  $1/10$  части сосуда случайно. Мы резонно предположим, что его впустили в сосуд с какой-то стороны, и он еще не успел занять объем всего сосуда. Начальное состояние было приготовлено специальным образом, а не путем случайного набора всех возможных начальных состояний. Но тогда почему же природа предоставляет возможность готовить такие очень маловероятные начальные состояния и не дает возможности готовить начальные состояния - столь же маловероятные - которые приводят к собиранию молекул газа?

Ответ состоит в том, что в первом случае, хотя мы и имеем дело с относительно маловероятным состоянием, по сравнению с состояниями, когда газ заполняет весь

сосуд, это маловероятное состояние возникло из еще более маловероятного состояния, когда газ заполнял еще меньшую часть сосуда (при поступлении газа в пустой сосуд он в первый момент времени занимает не весь объем сосуда). Во втором случае, когда молекулы газа хотя и заполняют весь сосуд, но имеют скорости, приводящие к собиранию газа в части сосуда, такого предшествующего, более маловероятного состояния - нет.

Все это означает, что природа устроена таким образом, что развитие всегда идет от менее вероятных к более вероятным состояниям. Мы не можем найти полностью удовлетворительного объяснения этому факту с помощью фундаментальных законов физики. В самом деле, как уже упоминалось, они абсолютно симметричны относительно прошлого и настоящего. Тем не менее природа устроена именно таким образом.

Системы всегда эволюционируют от состояний с меньшей вероятностью их существования к состояниям с большей вероятностью. Величина, пропорциональная логарифму вероятности осуществления состояния, в том смысле, как это было объяснено выше, называется энтропией. Энтропия конечного состояния выше, чем энтропия начального состояния - энтропия всегда растет. Закон роста энтропии в замкнутой системе - это другая возможная формулировка 2-ого начала термодинамики.

Подобно тому, как мы проследили рост энтропии в процессе заполнения газом сосуда, ее рост можно проследить и в других случаях, например, в случае выравнивания температур изначально неравномерно нагретого тела. Оказывается, что максимальной энтропии соответствует равномерно нагретое тело, и 2-ое начало термодинамики утверждает, что именно к этому состоянию и будет стремиться предоставленное самому себе тело.

Применение этого начала ко Вселенной в целом приводит к выводу о том, что в ней все виды энергии в конце концов должны перейти в энергию теплового движения, которая равномерно распределится по пространству Вселенной, причем установившаяся температура будет только на несколько градусов превышать абсолютный нуль. Это положение составляет сущность теории так называемой тепловой смерти Вселенной. Однако последующие исследования показали ошибочность этого вывода.

Вообще рост энтропии всегда связан с некоторым выравниванием, исчезновением неоднородностей. Это может быть выравнивание плотности газа внутри сосуда или температуры двух соприкасающихся тел, а может быть и упомянутое выше сглаживание горного хребта, коррозия металлических изделий или смерть живого существа. В последнем случае, как и в предыдущих, материальная основа жизни - тело животного или человека - исчезает в процессе распада, перемешивается с окружающей средой. Переход от состояния с более низкой энтропией к состояниям с более высокой энтропией есть эволюция от состояний более выделенных (менее вероятных в том смысле, как объяснялось выше) к состояниям с большей вероятностью реализации, состояниям не исключительным.

Жизнь, например, - это состояние с очень низкой энтропией, чрезвычайно выделенное, состояние, в котором громадное число биологически активных систем работает по определенным сложнейшим рецептам. Попробуйте подсчитать какова вероятность случайного создания живого организма из составляющих его атомов! Несомненно много меньшая, чем вероятность случайного конгломерата молекул, которые будут с течением времени собираться в одной половине сосуда. Состояние живого - это состояние с предельно низкой энтропией, тем более низкой, чем сложнее суще-

ство. Переход от жизни к смерти есть скачок энтропии, когда она резко увеличивается. Но как же тогда рождение? Не противоречит ли рождение живого существа - столь низкоэнтропийной системы - закону возрастания энтропии? Оказывается, что необязательно. Энтропия возрастает лишь в замкнутых системах, а при рождении ребенка очень трудно проследить, какую систему мы можем считать замкнутой, уж во всяком случае не мать саму по себе. В процессе вынашивания ребенка мать, например, питается, а это значит, что она уничтожает весьма сложные биологические объекты, такие как овощи или мясо, и выделяет их в виде неорганической материи, имеющей гораздо более высокую энтропию. Поэтому нельзя утверждать, что при рождении ребенка обязательно происходит понижение энтропии. Со смертью - проще, здесь заведомо имеет место повышение энтропии. Смерть неизбежно наступает, если оставить живое существо надолго предоставленным самому себе.

Подводя итоги, мы можем сформулировать следующее утверждение: подавляющее большинство процессов, происходящих в природе, - это процессы с возрастанием энтропии. Именно это и создает в нашем мире "стрелу времени время течет туда, куда возрастает энтропия.

Существуют, однако, маловероятные и не слишком значительные явления временного уменьшения энтропии, к тому же для не очень больших систем. Это так называемые "флуктуации". Они не противоречат фундаментальным законам физики, но маловероятны, а потому встречаются относительно редко.

## Основные выводы.

1. Весь наш повседневный опыт говорит о неизменности течения времени в одном направлении, то что называют "стрелой времени".
2. Однако основные законы физики сохраняют свой вид при смене знака течения времени, что означает возможность осуществления процессов, в которых все тела проходят те же траектории, начиная с конечной точки к начальной.
3. Реализации таких обратных процессов не наблюдаются на практике, так как системы всегда эволюционируют от состояний с меньшей вероятностью к состояниям с большей вероятностью.
4. Величина, пропорциональная логарифму вероятности состояния, называется энтропией. Энтропия конечного состояния выше, чем энтропия начального состояния: энтропия всегда растет.
5. Закон роста энтропии создает в нашем мире "стрелу времени время течет туда, куда возрастает энтропия.
6. Переход от состояния с более низкой энтропией к состояниям с более высокой энтропией есть эволюция от менее вероятных состояний к состояниям с большей вероятностью реализации.
7. Жизнь - состояние с очень низкой энтропией, чрезвычайно выделенное состояние.

## 16 Антивещество

Существование антивещества было предсказано Дираком, построившим квантовую релятивистскую теорию для электрона. При построении теории в ней появилось уравнение для полной энергии электрона, выраженное через его массу и импульс. Это выражение дается формулой, полученной Эйнштейном:

$$E = \pm \sqrt{p^2 c^2 + m_0^2 c^4}$$

В механике Эйнштейна знак квадратного корня брался положительным, поскольку частиц с отрицательной энергией не существует. Но в теории Дирака оказалось необходимым учитывать оба знака в этом выражении, иначе формулы для вероятностей процессов получались неправильными. Перед Дираком встала проблема интерпретации частиц с отрицательной энергией.

Он выдвинул гипотезу о том, что этим решениям его уравнения соответствует электрон с положительным зарядом, свойства которого в остальном совпадают со свойствами электрона. Эта частица получила название позитрона и действительно была найдена на опыте в процессе, который предложил исследовать Дирак. Он утверждал, что должен существовать процесс превращения гамма - кванта с достаточной энергией в пару частиц - электрон и позитрон. Позитрон был первым открытым представителем семейства античастиц. Из теории Дирака следовало, что все частицы должны иметь своих двойников в виде античастиц. Исключением являются некоторые нейтральные частицы, такие как фотон. У них античастица совпадает с частицей.

Открытие мира античастиц было очень важно для понимания природы микромира. До введения в физику античастиц считалось, что если при соударении двух частиц появляются вместо них новые частицы, то это те частицы, из которых состоят соударяющиеся частицы. Например, при столкновении электрона с атомом водорода могут появиться два электрона и протон: это налетающий электрон и составные части атома водорода - ядро ( протон) и электрон -  $e^- + H \rightarrow e^- + e^- + p$ . Но с ростом энергии взаимодействующих частиц стали наблюдаться реакции типа  $e^- + p \rightarrow e^- + p + e^- + e^+$ , т.е. возникла пара электрон - позитрон, которые явно не являются составными частями ни электрона, ни протона. Это означает, что возможно рождение частиц в самом процессе взаимодействия частиц с высокой энергией, причем вновь рожденные частицы не входили в состав взаимодействующих частиц. Установление правил рождения новых частиц стало возможным при учете свойств частиц и античастиц.

Принципы теории предписывают определенную связь между свойствами частиц и античастиц. Но главное свойство системы частица - античастица - это способность к аннигиляции. Буквальный перевод слова аннигиляция есть превращение в ничто. Но физический смысл этого процесса состоит в том, что эта пара превращается либо в излучение ( фотоны), либо в другие частицы. В последнем случае число новых частиц должно быть равно числу новых античастиц. Для электрона и позитрона этот процесс имеет вид  $e^- + e^+ \rightarrow \gamma + \gamma$ , т. е. пара электрон - позитрон превращается в два гамма - кванта.

В таблице представлены характеристики пары частица - античастица.

Характеристика	частица	античастица
Электрический заряд	e	-e
Масса	m	m
Время жизни	T	T
Магнитный момент	$\mu$	$-\mu$
Собственный орбитальный момент, спин	s	s
Барионный заряд	B	-B
Лептонный заряд	L	-L

Барионный и лептонный заряд вводятся для того, что бы было удобнее определять, какие частицы могут родиться в ядерных процессах, в том числе и при аннигиляции. Правило состоит в том, что суммарный барионный и лептонный заряд в начальном и конечном состоянии должен быть одним и тем же. Два таких заряда потребовались, так как одни частицы обладают барионным зарядом (протон, нейтрон), другие лептонным (электрон, нейтрино).

Именно сохранение лептонного заряда не разрешает распад нейтрона на электрон и протон. В правой части лептонный заряд равен 1 (у электрона), а в левой он нуль. Реакция  $p + p \rightarrow p + p + n$  невозможна ни при каких энергиях протона, так как не сохраняется барионный заряд: слева он равен 2, справа 3. Но возможна реакция  $p + p \rightarrow p + p + n + \bar{n}$  с рождением пары нейтрон - антинейтрон. Здесь барионное число справа равно  $+1(p)+1(p)+1(n)-1(\text{анти } n)=2$ , так же как и слева - реакция возможна.

Закон сохранения барионного числа приводит к трудностям в концепции Большого Взрыва. В начальный момент число барионов равно числу антибарионов, но наш мир содержит только барионы. Поэтому разрабатываются теории, в которых с малой вероятностью возможно несохранение барионного числа: из  $10^9$  барионов сохраняется за счет таких процессов один.

Должны существовать и антиядра, состоящие из антипротонов и антинейтронов. Легчайшие антиядра (антидейтрон, антитритий и антигелий-3) получены в экспериментах на пучках заряженных частиц.

Возможно существование галактик, состоящих из антивещества. Но все сведения о свойствах удаленных от нас галактик мы получаем, изучая их электромагнитное излучение в разных диапазонах частот. Для этого регистрируются фотоны, приходящие на Землю из этих галактик. Но во всех процессах рождения фотонов, происходящих при взаимодействии частиц из антивещества, их характеристики не отличаются от тех, которые соответствуют процессам с участием обычного вещества. Сами фотоны не имеют античастиц. Поэтому в настоящее время мы не знаем способа определения из какого вещества состоят галактики.

## Основные выводы.

1. Наряду с любой частицей существует ее античастица. Отличие свойств этих частиц состоит в различных знаках электрического и магнитного заряда, лептонного или барионного числа.
2. Процесс взаимодействия частицы со своей античастицей приводит к исчезновению этих частиц и появлению в конечном счете гамма-квантов. Этот процесс называется аннигиляцией.

3. Наш мир состоит из частиц. Античастицы могут возникнуть при взаимодействии частиц с высокой энергией друг с другом, при этом рождение одной античастицы всегда сопровождается рождением одной частицы, так что разность числа рожденных частиц и античастиц всегда равна нулю.

## 17 Элементарные частицы.

Из чего создан окружающий мир? Этот вопрос ставился еще в древности учеными Эллады. Люди пытались найти те наименьшие частицы, из которых созданы все остальные малые и большие тела в окружающем нас мире. Предположение о том, что такие наименьшие частицы существуют, составляет сущность концепции атомизма. Но о свойствах этих частиц можно было судить только предположительно, исходя из логической необходимости их существования.

Эта необходимость возникала из существования веществ с вполне определенными для них свойствами, таких как газы, жидкости, твердые вещества. Вещество должно состоять из некоторых микрообъектов, от которых зависят его свойства; сейчас мы знаем, что это атомы и молекулы. Но во времена Ньютона эти объекты еще не были известны, но основные свойства этих частиц были описаны Ньютоном, причем он опирался на физические и философские положения.

Вот какими свойствами Ньютон наделяет элементарные частицы. Приведем цитату из его книги "Оптика". "При размышлении обо всех этих вещах мне кажется вероятным, что бог вначале дал материи форму твердых, массивных, непроницаемых, подвижных частиц, таких размеров и фигур и с такими свойствами и пропорциями в отношении к пространству, которые больше всего подходили бы к той цели, для которой он создал их. Эти первоначальные частицы, являясь твердыми, несравненно тверже, чем всякое пористое тело, составленное из них, настолько твердые, что они никогда не изнашиваются и не разбиваются на куски. Никакая обычная сила не способна разделить то, что создал сам бог при первом творении, так как частицы продолжают оставаться целыми, они могут составлять тела той же природы и сложения на века. Если бы они изнашивались или разбивались на куски, то природа вещей, зависящая от них, изменялась бы. Вода и земля, составленные из старых изношенных частиц и их обломков, не имели бы той же природы и строения теперь, как вода и земля, составленные из целых частиц вначале. Поэтому природа их должна быть постоянной, изменения телесных вещей должны проявляться только в различных разделениях и новых сочетаниях и движениях таких постоянных частиц".

В этих словах Ньютон выразил содержание концепции элементарных частиц, которая долгие годы была принята в науке и частично сохранилась до наших дней. Основные свойства элементарных частиц состоят в том, что

- 1) они не могут быть разложены на составляющие их части;
- 2) они обладают специфическими свойствами, определяющими характеристики веществ;
- 3) свойства этих частиц не изменяются со временем.

С развитием науки элементарными частицами стали считаться атомы. Химические свойства всякого вещества определяются его атомарным составом, разнообразие веществ создается разнообразием связанных в них атомов. Независимо от того, сколько раз атом входил в состав различных веществ, войдя в очередной раз в со-

став данного конкретного вещества он проявлял одни и те же свойства. Однако уже в начале XX века было установлено сложное строение атома: наличие у него ядра и электронной оболочки. Атом достаточно легко разрушается, собственно в любой химической реакции меняется его электронная оболочка. С точки зрения Ньютона атом не обладает важным свойством элементарной частицы - он может быть разрушен.

Но современная наука заменила требование неизменности свойств элементарной частицы, которое достигается невозможностью ее разрушения, существованием фундаментальных конфигураций микрочастиц, восстанавливаемых ими всякий раз при определенных внешних условиях. Свойства этих фундаментальных конфигураций микрочастиц не зависят от предыстории частиц, входящих в эту конфигурацию.

Поскольку на вопрос, что состоит из чего в отношении атома ответ заключался в том, что он состоит из электронов и ядра, а в отношении ядра атома ответ был - из протонов и нейтронов, то ни атом, ни его ядро как составные микрообъекты претендовать на роль элементарных частиц не могли, а роль истинно элементарных частиц заняли электрон, протон и нейтрон. Правда, к этому времени (20 - 30 годы XX века) был обнаружен позитрон, но как античастица электрона он имел тот же статус. В следующем десятилетии были открыты еще частицы мюон, пион и предсказанное, но еще не зарегистрированное в эксперименте, нейтрино. Таким образом, казалось, что роль первых кирпичей мироздания выполняют несколько (меньше десятка) микрообъектов и нужно только понять роль каждого из них в природе.

Основные характеристики элементарной частицы, как считалось в то время, есть ее масса, электрический заряд, спин и время ее жизни. Последнюю характеристику необходимо было ввести, так как полностью стабильными из всех перечисленных были электрон, позитрон, протон, остальные испытывали распад с образованием этих частиц. Например, распад нейтрона на протон, электрон и нейтрино.

Здесь уместен вопрос: раз нейтрон распадается на протон и электрон, то, может быть, нейтрон - составная частица, образованная из протона и электрона. Такие предположения вначале высказывались, но с развитием квантовой механики стало понятно, что это невозможно. Для электрона не хватает места в нейтроне. На это указывали соотношения неопределенности. Пределы геометрического размера нейтрона были известны из размеров ядра - радиус нейтрона  $r_n \approx 10^{-13}$  см. Следовательно, максимальная неопределенность координаты электрона в нейтроне должна иметь ту же величину. Тогда из соотношений неопределенности получим, что неопределенность импульса электрона  $\Delta p \geq \hbar/\Delta x \approx \hbar/r_n$ , отсюда получаем оценку для кинетической энергии электрона в нейтроне  $E_k \approx \Delta p \cdot c \approx 200$  МэВ, но при распаде нейтрона энергия электрона не превышает 0.765 МэВ.

Как выйти из этого противоречия? Ответ состоит в том, что никакого электрона в нейтроне нет, он рождается в момент распада. Поэтому нейтрон столь же элементарен, как и протон. Эта точка зрения подтверждается наблюдаемым в эксперименте распадом протона, входящего в состав некоторых ядер, на нейтрон, позитрон и нейтрино. Этот процесс аналогичен распаду нейтрона. С другой стороны нейтрон в составе ядер стабилен и не распадается. Обратим еще раз внимание на тот факт, что свободный протон стабилен, рассматриваемый распад происходит с протоном, входящим в состав некоторых (не всех) ядер, как, впрочем, и нейтрон стабилен не во всех ядрах.

Отсюда впервые ньютоновское требование к элементарной частице быть неизменной неопределенно долгое время оказалось неприменимым. Но одновременно было



поколеблено и другое требование к неизменности свойств элементарной частицы, а именно - ее масса переставала быть фиксированной, а могла колебаться вокруг некоторого значения. Этот факт также вытекал из общих принципов квантовой механики, которая устанавливала еще одно соотношение неопределенности, связывавшее неопределенность в значении полной энергии состояния квантового объекта  $\Delta E$  с его временем жизни  $\Delta T$

$$\Delta E \cdot \Delta T \geq \hbar$$

Поскольку среднее время жизни нейтрона составляет около 1000 сек, это означает, что энергия свободного покоящегося нейтрона не может быть фиксирована с ошибкой меньшей, чем дает это соотношение. А так как для свободного покоящегося нейтрона вся его энергия есть его масса покоя, то значение массы может быть измерено только с этой ошибкой. Для нейтрона эта ошибка пренебрежимо мала:  $\Delta E/m_n c^2 \approx 10^{-27}$ . Однако важен сам принцип, который в середине 60 годов изменил в корне наше понимание концепции элементарных частиц.

Постепенно с появлением новых ускорителей открывались новые частицы, особенно бурным рост их числа стал происходить в 60-е годы. При этом пришлось к их числу отнести образования с очень коротким временем жизни порядка  $10^{-23}$  сек. Для таких короткоживущих частиц неопределенность их полной энергии, а значит и массы, составляла величину порядка 70 МэВ; для массы частицы равной массе нуклона неопределенность значения массы равнялась 7%. Такой неопределенностью уже нельзя пренебрегать. В эксперименте были найдены сотни таких короткоживущих частиц, которые имели все признаки, присущие частице: электрический заряд, спин и массу. Однако их масса не имела точно определенного значения, а была распределена в некотором интервале, но ширина этого интервала соответствовала той неопределенности, которая вытекала из соотношения неопределенности энергия - время жизни. Во всяком случае никаких причин не признавать эти объекты такой же микрочастицей как протон или нейтрон не существовало.

Называть весь этот коллектив частиц элементарными было невозможно. Стало очевидным, что у них всех должно быть что то общее. Предпринимались многочисленные попытки построить теорию, в которой все эти частицы были бы составными из каких то других более фундаментальных частиц. Выражение "более фундаментальных" в данном случае означает, что этих частиц мало и возможно они уже сами ни из чего не состоят или, другими словами, не имеют внутренней структуры. После долгих усилий теоретики Геллман и Цвейг независимо друг от друга создали модель, в которой основными частицами, из которых строились остальные, были введенные ими частицы, получившие название кварков.

Но это далось дорогой ценой. Кварки должны иметь электрический заряд, так как из них строятся заряженные частицы. Теория требовала, чтобы заряд кварков был дробным и кратным  $1/3$  элементарного заряда. До этого все известные микрообъекты в физике имели только целые заряды. Кваркам были приписаны и другие характеристики частиц, в частности их спин равнялся  $1/2$ . Теория разделила все частицы на два класса. Первый содержал частицы, составленные из трех кварков, все они имеют полуцелый спин  $1/2, 3/2, 5/2$  и т.д. Эти частицы получили название барионов. Во второй класс частиц входили частицы, составленные из кварка и антикварка, их спин всегда целый  $0, 1, 2$  и т.д. Эти частицы называются мезонами. В этой схеме естественно возникают и античастицы. Для этого достаточно все кварки, входящие в состав частицы, заменить на антикварки. Например, приведем кварковый

состав протонов, нейтронов и их античастиц антипротонов  $\bar{p}$ , антинейтронов  $\bar{n}$ .

$$p = [uud], \bar{p} = [\bar{u}\bar{u}\bar{d}], n = [udd], \bar{n} = [\bar{u}\bar{d}\bar{d}]$$

Здесь  $u, d$  - два сорта кварков с электрическим зарядом, равным  $2/3$  и  $-1/3$  элементарного заряда (заряда электрона);  $\bar{u}, \bar{d}$  соответствующие антикварки.

После введения кварков начались их поиски. Их искали как свободные частицы, но безуспешно. Однако при рассеянии очень быстрых электронов на протонах и нейтронах оказалось, что результаты этих экспериментов очень хорошо удается описать, если предположить, что внутри протона и нейтрона находятся некие пространственно разделенные частицы, число которых равно трем. Эти составляющие нуклона и были отождествлены с кварками. Имеется экспериментальная возможность определить электрический заряд этих частиц, он действительно совпадает с зарядом кварков и является дробным.

Очень привлекательной чертой кварковой модели является то, что она свела большое количество барионов и мезонов к малому числу структурно одинаковых объектов. Свойства барионов и мезонов определяются свойствами входящих в его состав кварков. Кварковая модель позволяет не только провести естественную классификацию частиц, но и предсказать вероятности реакций с участием барионов и мезонов, а так же вероятности распадов этих частиц.

Введение кварков полностью лишило барионы и мезоны статуса элементарных частиц, более того, оказалось, что ядерные силы, связывающие нуклоны в ядрах, не имеют фундаментального характера, это свойство перешло к взаимодействию между кварками. Ядерные силы не более чем небольшой остаток взаимодействия кварка из одного нуклона с кварком в другом нуклоне. Основную часть своей способности взаимодействовать кварк тратит на взаимодействие с другим кварком в том же нуклоне, где находится он сам.

Пока мы упомянули только два типа кварков  $u$  и  $d$ , но существует еще несколько типов кварков: есть частицы, свойства которых определяются тем, что в их состав входит кварк другого типа, который получил название странного -  $s$  кварк. Этот кварк должен сохраняться во всех превращениях частиц. Это означает, что если в реакцию вступает частица, содержащая этот кварк, то среди конечных продуктов реакции обязательно должна быть частица, содержащая такой же кварк. Если же взаимодействующие частицы не содержат странного кварка  $s$ , а среди продуктов реакции родилась частица с таким кварком, то обязательно должна появиться и другая частица, содержащая странный антикварк -  $\bar{s}$ . Этому требует закон сохранения квантового числа - странности. Есть еще три кварка других типов, но частицы, содержащие их, могут быть рождены при существенно больших энергиях. Эти кварки получили следующие названия:  $c$  - очарованный,  $b$  - нижний,  $t$  - верхний.

Учет принципа Паули при построении частиц из кварков приводит к необходимости наделить каждый сорт кварков еще одной характеристикой, которая условно была названа цветом. Никакого соответствия с общепринятым понятием "цвет" эта характеристика не имеет, это чисто условное название. Цвет кварка играет роль заряда при сильном взаимодействии его с другим кварком. Неожиданным является факт, что в отличие взаимодействия электрических зарядов, где существуют два вида зарядов - положительный и отрицательный, у кварков существует три типа зарядов. Каждый тип условно определяется цветом кварка, который принимает значение для кварков красный, зеленый, синий, а для антикварков - антикрасный, антизеленый,

антисиний. Здесь есть некая аналогия с электрическими зарядами: назовем красный заряд положительным, тогда антикрасный будет играть роль отрицательного. Но таких зарядов в сильных взаимодействиях три типа. Теория показывает, что в природе мы можем наблюдать частицы, в состав которых входят такие кварки, что их суммарный цвет белый. Цветовой состав барионов может быть только такой: красный кварк, зеленый кварк, синий кварк. Здесь используется аналогия из оптики: смешение трех пучков света таких окрасок порождает впечатление белого цвета. Цветовой состав мезонов, например, такой - красный кварк, антикрасный антикварк. Введение цветов позволяет предсказывать вероятности образования барионов и мезонов. Эти теоретические предсказания более менее удовлетворительно подтверждаются экспериментальными данными.

Переносчиком взаимодействия между кварками являются глюоны. Эти частицы несут по два цветовых заряда: один цвет и один антицвет. Например, красный+антисиний, синий+антизеленый, красный+антикрасный и т.д. Таких глюонов всего восемь. Полное число существующих кварков равно 36: (6 типов кварков  $\times$  3 возможных цвета+6 типов антикварков  $\times$  3 возможных антицвета)=18+18=36. Таким образом, для описания строения и свойств частиц, испытывающих сильное взаимодействие, необходимо введение 36+8=44 частиц (кварки и антикварки плюс глюоны). Оправданием введения такого большого числа частиц служит то, что с их помощью можно объяснить строение нескольких сотен открытых частиц и предсказывать строение и свойства еще неоткрытых.

Все выше сказанное относится к частицам, испытывающим сильные взаимодействия. Мы ничего не сказали о лептонах - частицах испытывающих слабое взаимодействие: это электрон, позитрон, нейтрино. Детально изучен из них только электрон. Установлено, что электрон вплоть до областей пространства порядка  $10^{-17} \sim 10^{-16}$  см не обнаруживает никакой внутренней структуры, т. е. ведет себя как точечная частица. Иными словами, если заряд и масса электрона распределены в пространстве, то размеры этой области не более приведенной оценки. Поскольку позитрон есть античастица электрона можно считать, что все сказанное относится и к нему. Всего существует шесть лептонов - электрон, мюон, тау-лептон и соответствующие им три нейтрино.

Существует связь между кварками и лептонами, физический смысл которой до конца не выяснен. Эта связь состоит в том, что существует шесть типов кварков и шесть типов лептонов. Соответствие между ними показано в следующей таблице (в скобках приведена масса частиц в МэВ):

тип кварка	тип лептона	тип кварка	тип лептона	тип кварка	тип лептона
u (4.5)	$\nu_e$	c (1500)	$\nu_\mu$	t (175000)	$\nu_\tau$
d (8)	e (0.5)	s (300)	$\mu$ (106)	b (1800)	$\tau$ (1800)

Можно думать, что шесть лептонов и шесть кварков исчерпывают все истинно элементарные частицы. Комбинации либо из трех кварков, либо из кварка и антикварка образуют всю совокупность ядерных частиц. Тогда возникает ситуация, аналогичная периодической системе элементов, в которой свойства большого числа

химических элементов удалось объяснить посредством представлений об атомах с различными комбинациями электронных оболочек. Подобная ситуация существует и для ядер. Все разнообразие ядер создается различными комбинациями нейтронов и протонов.

Однако не исключена и ситуация, когда число кварков и лептонов больше шести, возможно их число и бесконечно. Ответ на эти вопросы должен дать эксперимент. Пока эксперимент свидетельствует о том, что если существуют еще неизвестные кварки, то их масса должна быть очень велика.

Как мы видим, в настоящее время роль фундаментальных частиц, из которых построены другие, выполняют кварки. Но их свойства весьма сильно отличаются от ньютоновского понимания природы элементарных частиц. Особенно поразительным является факт возможности наблюдения кварка только в виде одной из частей составного объекта и невозможности его существования в свободном состоянии. Мы не можем ничего сказать о том, являются ли кварки истинно бесструктурными объектами, не состоящими из каких-то других. Пока никаких экспериментальных данных, свидетельствующих о такой возможности, нет. Ясно только, что эти данные могут быть получены при исследовании структуры барионов и мезонов при энергиях значительно больших тех, которые доступны экспериментаторам сейчас.

Поскольку уже вступившие в строй действующих новейшие ускорители и строящиеся стоят чрезвычайно дорого. Эти проекты реализуются лишь совместными усилиями нескольких стран. Ускорители следующего поколения могут быть созданы лишь при участии всех стран. Таким образом, перед человечеством встает проблема определения приоритетов в распределении ограниченных ресурсов, которые оно готово выделять на научные исследования. Направить большую часть этих ресурсов на исследование природы в самых фундаментальных ее основах, что углубит наше понимание строения материи, но не принесет быстрой практической пользы в виде новых источников энергии или новых материалов и технологических процессов, или развивать медицину, биологию, генетику, энергетiku, экологию, т.е. те науки, результаты которых могут непосредственно улучшить материальную жизнь человечества. Эти вопросы должны решаться всей нашей цивилизацией.

## Основные выводы.

1. Понятие "элементарная частица" в современной науке означает, что не обнаружено внутреннее строение этой частицы из каких-либо других частиц.
2. Требование неразрушаемости элементарной частицы заменено признанием существования фундаментальной конфигурации, возобновляемой каждый раз при создании частицы, причем свойства этой конфигурации постоянны.
3. Появление новых частиц при распаде какой-то частицы не всегда означает, что распавшаяся частица состоит из вновь появившихся. Новые частицы могут родиться в процессе распада.
4. В настоящее время на роль элементарной частицы претендуют кварки и лептоны: современный эксперимент пока не обнаружил никакой внутренней структуры этих частиц.

5. Современная наука не знает, ограничивается ли число кварков и лептонов уже известными или их число бесконечно.

## 18 Понятие вакуума в современной физике.

В классической физике под вакуумом понималось пустое пространство, в котором отсутствовало вещество. Иначе говоря, вакуум это пустая сцена, на которой после появления материальных тел разыгрывались физические явления. С пониманием того, что кроме материи существуют еще и поля, такие как электромагнитное, гравитационное прибавилось требование к вакууму, состоящее в отсутствии в вакууме этих полей.

С появлением квантовой теории понятие вакуума претерпело радикальное изменение. В квантовой физике возможно самопроизвольное ( спонтанное ) появление на короткое время частиц. Так как каждая частица обладает какой то энергией, то такой процесс нарушает закон сохранения энергии, являющийся одной из основ физики. Но применяя принципы квантовой механики, можно показать, что никакого нарушения закона сохранения энергии нет.

Вспомним соотношение неопределенности, связывающее точность измерения энергии некоторой частицы с ее временем жизни:

$$\Delta E \cdot \Delta T \geq \hbar$$

Оно может быть интерпретировано следующим образом: если мы измеряем энергию частицы или другого квантового объекта в течение времени  $\Delta T$  , то мы определим эту энергию с ошибкой, не меньшей чем  $\Delta E \geq \hbar/\Delta T$ .

Следовательно, мы не можем утверждать, что производя измерения энергии вакуума в течение конечного интервала времени, мы всегда получим для этой величины нулевое значение. Это привело бы к нарушению соотношения неопределенности для энергии - времени. Поэтому можно считать, что на короткое время энергия вакуума может быть отлична от нуля. Это означает, что в вакууме может появиться частица обладающая массой, но время ее жизни будет в соответствии с рассматриваемым соотношением тем меньше, чем больше ее масса. Такие непрерывно возникающие и исчезающие в вакууме частицы получили название виртуальных частиц.

Эффекты, связанные с рождением виртуальных частиц, проявляются во всех видах взаимодействий. Последовательная теория этих взаимодействий должна учитывать эти эффекты. Таким образом, физический вакуум отнюдь не пустота, он заполнен виртуальными частицами всех сортов, непрерывно возникающими и исчезающими.

Такая физическая картина вакуума не является чисто умозрительной, не поддающейся экспериментальной проверке. При возникновении виртуальных частиц нарушается закон сохранения энергии, но на короткий интервал времени в соответствии с соотношением неопределенности, но все остальные законы сохранения выполняются. Так законы сохранения электрического заряда и лептонного числа требует, что бы виртуальный электрон рождался бы в паре с виртуальным позитроном. Это приводит к тому, что в вакууме постоянно возникают пары электрон - позитрон, которые затем аннигилируют и исчезают. У такой пары суммарные электрический, лептонный или барионный заряды равны нулю. Тогда начальное состояние, в котором виртуальные

частицы отсутствовали, и конечное, в котором виртуальные частицы появились, имеют одно и то же значение этих зарядов. Исчезновение виртуальной пары опять не изменяет этих зарядов.

Реальный электрон взаимодействует с этими виртуальными электроном и позитроном, так что притягивает к себе позитроны и отталкивает электроны. Это искажает пространственное распределение заряда виртуальных частиц вакуума. Электрон атома в вакууме взаимодействует не только с положительно заряженным ядром, но и с наведенным ядром и самим электроном зарядом виртуальных частиц в вакууме. Это приводит к изменению значений энергии электрона и сказывается на частоте света, излучаемого при переходе электрона в атоме с одной орбиты на другую. Это эффект обнаружен экспериментально, и теория вычисляет этот сдвиг и дает значение, совпадающее с экспериментальным.

Само взаимодействие между частицами с современной точки зрения происходит путем излучения и поглощения виртуальных частиц. Так, рассеяние электрона на другом электроном происходит следующим образом: первый электрон испускает виртуальный гамма-квант, который поглощается вторым электроном. При испускании и поглощении кванта импульс электрона изменяется так, чтобы выполнялся закон сохранения импульса. Изменение импульса электрона приводит к изменению его траектории, что мы и трактуем как проявление взаимодействия электронов друг с другом.

Концепция взаимодействия через рождение и поглощение виртуальных частиц применяется ко всем типам взаимодействия. При этом в качестве виртуальной частицы, переносящей взаимодействие, выступает частица с наименьшей массой со спином равным единице, которая может испытывать рассматриваемое взаимодействие. Так, для электромагнитного взаимодействия переносчиком является квант, для ядерного - пи-мезон, для слабого - W- бозоны. Чем больше масса переносчика взаимодействия, тем меньше его время существования в соответствии с соотношением неопределенности, и значит тем меньше расстояние, на которое он может удалиться от точки своего рождения, а значит и радиус действия этого взаимодействия. Так, для фотона с нулевой массой радиус действия бесконечен, для пиона он порядка  $10^{-13}$  см, а для слабого взаимодействия порядка  $10^{-17} \sim 10^{-16}$  см.

Концепция виртуальных частиц можно применить к кваркам для объяснения их ненаблюдаемости в свободном состоянии, хотя существование и свойства кварков подтверждены многочисленными экспериментальными и теоретическими исследованиями. Приходится принять то, что кварки остаются виртуальными при любых воздействиях как закон природы. Взаимодействие между кварками таково, что его энергия растет при увеличении расстояния между кварками. Чтобы попытаться освободить кварки, нужно затратить очень большую энергию. Но когда энергия становится достаточной для того, чтобы родить другую пару кварков, она и рождается в виде мезонов, состоящих из двух кварков, но не свободных кварков.

## Основные выводы.

1. Современные представления о вакууме состоят в том, что постоянно существуют процессы рождения и аннигиляции пары частица-античастица. Эти частицы называются виртуальными.

2. Состояния вакуума, в котором отсутствуют виртуальные частицы, не существуют.
3. Рождение виртуальных частиц в вакууме не нарушает закона сохранения энергии, так как время жизни этих частиц и их масса не превышают значений, допускаемых квантовомеханическим соотношением неопределенности для энергии-времени .
4. Реальность существования виртуальных частиц в вакууме подтверждается теоретическими расчетами, которые совпадают с экспериментальными значениями некоторых величин только при учете в расчете существования виртуальных частиц.
5. В состав виртуальных частиц входят все известные частицы. Особенность кварков в том, что они являются вечно виртуальными, т.е. не существуют в виде свободных частиц.

## 19 Что такое элементарная частица с точки зрения современной науки?

В релятивистской квантовой механике показывается, что в малой области пространства вблизи микрочастицы могут рождаться, уничтожаться, переходить в друг друга другие микрочастицы, называемые виртуальными. Вероятность того, что мы обнаружим ту или иную из этих виртуальных частиц, описывается волновой функцией.

Напрашивается желание определить как элементарную ту частицу, которая окружена облаком этих виртуальных частиц. Однако это определение встречает трудность, состоящую в том, что среди этих виртуальных частиц есть и те, которые совпадают с частицей, которую мы приняли за элементарную. Так, например, вокруг электрона существует облако электрон - позитронных пар. При экспериментальном изучении свойств частицы мы можем получить сведения только о свойствах всего этого образования - частица плюс облако виртуальных частиц. Эти характеристики частицы будут отличаться от характеристик той частицы, которая породила облако виртуальных частиц.

Поэтому мы считаем, что существуют истинно элементарные частицы, не состоящие из других частиц. Такие частицы называются "голыми". Для таких частиц и строится физическая теория, описывающая их свойства. На эксперименте же мы можем наблюдать только конгломерат - голая частица плюс облако виртуальных частиц. Этот конгломерат называется "одетой" частицей или физической частицей.

В составных микрообъектах участвуют только "одетые" частицы. Например, в атом входит только одетый электрон. В ядре содержатся только "одетые" протоны и нейтроны. При построении теории составных микрообъектов мы должны использовать "одетые" частицы.

Хотя теория элементарных частиц строится для "голых" частиц, в конечном счете, она должна вычислять свойства "одетых" частиц, так как эксперимент может определить свойства только этих частиц. Однако нам неизвестны такие фундаментальные свойства "голых" частиц, как величина их массы, электрического заряда и

теория не в состоянии их предсказать. Мы можем найти в эксперименте эти значения только для "одетых" частиц.

В качестве истинно элементарных частиц мы принимаем все лептоны и кварки. В настоящее время мы не обнаружили никаких свидетельств того, что они состоят из каких то других частиц.

Однозначного определения понятия элементарная частица дать невозможно. Понятие элементарности частицы зависит от тех объектов и процессов, в которых участвует частица. Так электрон в атоме можно считать с хорошей точностью элементарной частицей со свойствами присущими "одетому" электрону. Но при взаимодействии высокоэнергетичных электронов с другими объектами мы должны учитывать его внутреннюю структуру - облако виртуальных электрон - позитронных пар. При передаче в процессе взаимодействия виртуальной электрон - позитронной паре энергии, большей суммарной массы составляющих пару частиц, эти виртуальные частицы перейдут в реальные. Это и есть процесс рождения частиц в реакции.

## 20 Симметрии в физике и законы сохранения.

Когда мы говорим о симметрии, наверно, всякий представляет себе сферу, снежинку, кристалл, вазу, в общем, некий предмет, который может быть совмещен сам с собой путем некоторых действий: поворотов, отражений в зеркале, смещений в пространстве. Понятие симметрии подразумевает сохранение формы тела при некоторых перемещениях этого тела, например, его поворотах или при сдвиге его в другое место.

Но мы будем говорить о симметриях физических законов. Это понятие отличается от простой симметрии формы, поэтому следует определить, что же мы имеем в виду. Мы формулируем вопрос так: что можно сделать с физическим явлением, чтобы оно не изменилось, или какие изменения в описании явления мы можем сделать так, чтобы результат процесса был бы тем же. Вероятно, пока еще не все ясно, что же имеется в виду. Поэтому лучше обратиться к примерам.

Предположим, мы провели некий опыт, скажем, изучили законы отскока мяча от стены, причем этот опыт провели в этой аудитории. Никто не сомневается, что если мы перенесем все наше оборудование в соседнюю аудиторию и сделаем там этот опыт, то результаты будут те же самые. Это мы и имеем в виду, когда говорим о симметрии физических законов относительно переносов в пространстве. При этом мы, конечно, считаем, что все существенно влияющее на проводимый опыт либо переносится вместе с оборудованием, либо имеется в новом месте. Из этого внешне очевидного свойства физических законов вытекают существенные следствия.

Свойства нашего пространства - времени таковы, что они определяют очень важные законы сохранения. Описание любого явления не должно зависеть от выбора начала отсчета времени. Мы можем отсчитывать время от момента Большого Взрыва, можем от даты своего рождения. Во все уравнения, описывающие физические законы, входит интервал времени  $\Delta t = t - t_0$ , где  $t_0$  - момент начала процесса. Эта разность не зависит от выбора начала отсчета времени. Например, когда мы пишем известную формулу для скорости равноускоренного движения  $v = a \cdot t$ , под  $t$  мы имеем в виду интервал времени, протекший с момента начала движения, т.е. этот момент времени мы и принимаем за начало отсчета времени -  $t_0 = 0$ . Строго доказывается,



что независимость описания физических процессов от выбора начала времени, или от сдвига во времени, приводит к одному из важнейших законов сохранения - закону сохранения энергии.

Изотропность нашего пространства по отношению к сдвигу в пространстве, состоящая в том, что протекание физических процессов не зависит от места, где этот процесс происходит, приводит к другому закону сохранения - закону сохранения импульса.

Изотропность нашего пространства по отношению к повороту в пространстве, состоящая в том, что протекание физических процессов не зависит от поворота осей координат для системы, где этот процесс происходит, приводит к другому закону сохранения - закону сохранения момента импульса. Напомним, что момент импульса  $L$  для частицы, движущейся со скоростью  $v$  на расстоянии  $r$  от точки, в которой расположен источник силы, есть  $L = mvr$ . Рассмотрим движение Земли по ее орбите, которая является эллипсом. Расстояние Земли от Солнца меняется в разных точках орбиты. Из требования сохранения момента импульса следует, что в точках орбиты, менее удаленных от Солнца (меньшие значения  $r$ ) скорость движения Земли должна возрастать.

Возьмем не столь простой пример: что будет, если бы мы перенесли Солнечную систему в другое место Вселенной, но при этом потребуем, чтобы поблизости в новом месте не было других небесных тел, как и сейчас. Ответ на вопрос - ничего не произойдет, все характеристики Солнечной системы сохраняться.

Именно эта симметрия закона всемирного тяготения относительно переноса и поворота в пространстве и сдвига времени и позволяет нам применять его ко всем объектам во Вселенной и быть уверенными в правильности получаемых результатов. Мы можем задать себе вопрос, а что именно в законе всемирного тяготения обеспечивает его симметрию по отношению к переносам. Математическая формулировка этого закона состоит в утверждении, что сила притяжения обратно пропорциональна квадрату расстояния между телами. А это расстояние при переносе никак не меняется. Вот если бы в закон входило в каком либо виде расстояние от какой-то выделенной точки Вселенной, то рассматриваемая симметрия уже бы не существовала.

На этом примере можно проиллюстрировать как знание того, что существует некая симметрия, разрешает или запрещает входить в формулировку физического закона тем или иным величинам. Так, если мы в результате экспериментов установили, что для систем тел, притягивающих друг друга, выполняется симметрия по отношению к переносам в пространстве, то, даже не зная точного выражения для силы притяжения, мы можем сказать, что она может зависеть только от относительного расстояния между телами, но не от расстояния этих тел до некоторой точки пространства.

Таким образом, симметрия в физике - это свойство физических величин, описывающих поведение системы, оставаться неизменными (инвариантными) при определенных преобразованиях, которым могут быть подвергнуты входящие в них величины.

Есть еще одна симметрия, относящаяся к пространству и времени. Это инвариантность законов физики для всех инерциальных систем отсчета, т.е. для всех систем движущихся равномерно друг относительно друга.

Но существуют и другие симметрии физических законов, не связанные с геометрией пространства. Рассмотрим некоторые из них. В квантовой механике квадрат

модуля волновой функции определяет вероятность процесса. Эта вероятность не изменится, если волновая функция будет умножена на постоянную, имеющую вид  $e^{i\delta}$ , где  $\delta$  произвольное число. Этот множитель меняет фазу волновой функции. Оказывается, что закон сохранения, связанный с квантовомеханической фазой, есть закон сохранения электрического заряда.

Фундаментальные физические законы не изменяются при обращении времени, т.е. при замене в уравнениях  $t \rightarrow -t$ . При такой операции для каждого физического процесса можно осуществить процесс, в котором система последовательно проходит те же состояния, что и в исходном процессе, но в обратном порядке.

Существует зеркальная симметрия законов природы. Самый простой пример - это наблюдение за опытом с отскоком мяча в зеркале. Там мы увидим ту же картину, только правое перейдет в левое. Если мы проведем все наши измерения над характеристиками процесса по их зеркальному отражению, мы установим, что физические законы выполняются. Но оказывается, что эта симметрия сохраняется только для сильных, электромагнитных и гравитационных взаимодействий. Для слабых взаимодействий она нарушается, и открытие этого факта в конце пятидесятых годов было совершенно неожиданным и привело к пересмотру представлений о микромире. Нарушение зеркальной симметрии позволяет ввести понятие "правого" и "левого" не условно, а в абсолютном смысле. Здесь мы впервые встретились с приближенной симметрией, т.е. с такой, которая верна не для всех взаимодействий.

Следующий вид симметрии законов природы состоит в том, что если мы заменим все частицы на их античастицы, то получим мир в котором действуют те же физические законы, что и в нашем мире. В нем будут антиатомы, с теми же свойствами, что и в нашем мире. В последние годы получены атомы антиводорода, состоящие из антипротона и позитрона. Нет особых сомнений в том, что спектр излучения антиводорода такой же, как и у обычного водорода. Эта симметрия свойств вещества и антивещества не позволяет отыскать во Вселенной антигалактики или антизвезды. Вся информация о процессах в этих объектах, доступная для анализа, приходит к нам в виде квантов электромагнитного поля. Но, как мы уже говорили, излучение атома и соответствующего ему антиатома совпадает по всем характеристикам. Поэтому эта информация не содержит сведений о том, вещество или антивещество породило эти излучения.

Еще один вид приближенной симметрии, существующей только для сильных взаимодействий. Эта симметрия состоит в том, что частицы, испытывающие это взаимодействие, могут быть объединены в группы, и внутри одной такой группы можно считать, что все частицы есть проявление одной и той же частицы. Поясним это на примере такой группы, состоящей из протона и нейтрона. Обе эти частицы по своим характеристикам аналогичны, массы их отличаются на 0.1%. Единственное отличие - электрический заряд. Если пренебречь электромагнитным взаимодействием в ядрах, то два ядра, которые отличаются друг от друга тем, что все протоны и нейтроны в первом заменены на нейтроны и протоны во втором соответственно, должны иметь одинаковые свойства: например, одну и ту же последовательность возбужденных состояний. Такие ядра существуют, и их свойства действительно близки. Поэтому в ядерной физике протон и нейтрон считаются двумя реализациями одной частицы - нуклона, которая может находиться в двух состояниях: либо в состоянии протона, либо нейтрона. Такая симметрия получила название изотопической инвариантности. Ее введение позволило объединить в группы (их называют мультиплетами) части-

цы с близкими свойствами. Это не только упрощает классификацию частиц, но и позволяет предсказать соотношения вероятностей протекания различных ядерных реакций.

Использование понятия изотопической инвариантности позволило построить кварковую модель строения частиц, испытывающих сильное взаимодействие.

Мы уже говорили о том, что некоторым видам симметрий соответствуют законы сохранения. Но иногда мы имеем некоторые законы сохранения, которым мы не можем сопоставить никакой симметрии. Возможно ее не существует, а возможно мы просто ее пока не знаем. Два таких закона сохранения относятся к сохранению числа барионов и лептонов во всех процессах.

Существуют симметрии физических законов совсем другого типа. Например, справедливо утверждение, что возможна замена любого атома в системе на другой атом того же типа. При такой замене никакие свойства системы не изменятся. Это утверждение, на первый взгляд, кажется довольно бессодержательным, но его истинный смысл состоит в утверждении о существовании возобновляемых фундаментальных конфигураций микрочастиц, что приводит к существованию, например, тождественных атомов одного химического элемента.

Мы много говорили о найденных симметриях физических законов. Подтверждением соответствующих им сохраняющихся величин являются результаты экспериментов. Но можно изменить способ нахождения сохраняющихся величин. Впервые этот подход в начале века предложил Пуанкаре, французский математик. Он предложил исследовать уравнения, описывающие конкретное физическое явление, с целью поиска таких преобразований их переменных, которые не меняют их вида. Если такие симметрии найдены, то многие следствия, вытекающие из этих симметрий, можно распространять на описывающие эти явления законы, точный вид которых нам еще неизвестны.

С другой стороны, если предлагаемое для описания физического явления уравнение не инвариантно относительно преобразования, которое, как мы знаем, должно выполняться, есть основания отвергнуть это уравнение как неверное. Сейчас это очень распространенный способ построения новых физических теорий. Суть его состоит в том, что с самого начала постулируется, что математические уравнения, описывающие рассматриваемое явление, должны быть инвариантны по отношению к существующим симметриям. Это требование очень сильно сужает класс допустимых уравнений, что облегчает построение теории.

В заключение скажем, что законы природы симметричны относительно далеко не всех изменений. Например, законы физики не остаются неизменными относительно изменения масштаба. Например, если изменить все размеры человека в два раза его вес увеличится в 8 раз. Для сохранения прочности костей их размеры недостаточно увеличить в два раза, т.к. прочность стержня пропорциональна его поперечному сечению, то при увеличении линейных размеров в два раза сечение растёт в 4 раза, следовательно, при увеличении длины костей в 2 раза их поперечный размер нужно увеличить в  $\sqrt{8}$  раз, т.е. почти в 3 раза. Такой человек не будет симметричен исходному.

Другой пример, все физические процессы во вращающейся вокруг какой-либо оси лаборатории происходят не так, как в инерциальной системе отсчета.

## Основные выводы.

1. Симметрия физических законов - это свойство физических величин, описывающих поведение системы, оставаться неизменными (инвариантными) при определенных преобразованиях, которым могут быть подвергнуты входящие в них величины.
2. Изотропность нашего пространства - времени относительно сдвигов во времени и пространстве и поворотов в пространстве порождает важнейшие законы сохранения: энергии, импульса, момента импульса.
3. Некоторым видам симметрий соответствуют законы сохранения. Но иногда мы имеем законы сохранения, которым не можем сопоставить никакой симметрии.
4. Требование того, чтобы описание явления было инвариантным по отношению к определенному преобразованию, вытекающему из закона сохранения, значительно ограничивает число возможных теорий описания явления, что упрощает выбор правильной теории.

## 21 Механизм передачи наследственной информации.

Известно, что вся информация о биологических свойствах организма содержится в генах. Если представить себе, что программа развития организма записана в виде текста в некоторой книге, то объем этой книги должен быть весьма велик - скорее это должно быть многотомное издание.

Природа выбрала гораздо более экономный путь - вся эта информация записана в хромосоме, которая с химической точки зрения представляет молекулу дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК). Это линейный полимер, т.е. структура из многих однородных структур (мономеров), расположенных в пространстве последовательно в виде цепочки. Структурная единица, многократно повторяющаяся, называется нуклеотидом. Она состоит из молекулы сахара, к которому присоединено основание и молекула фосфата, связывающая этот нуклеотид со следующим.<sup>1</sup> Эта структура изображена на рис. 4.

Экспериментально установлено, что в состав ДНК входят четыре азотистых основания (в скобках приведены их обозначения, которые будем использовать далее): аденин (А), тимин (Т), гуанин (G) и цитозин (С).<sup>2</sup> Их структурные формулы приведены на рис. 4.

ДНК состоит из двух цепей, состоящих из нуклеотид. Эти цепи спирально закручены одна вокруг другой. Химическая связь этих цепей создается связью двух оснований между собой, одно из которых входит в первую цепь, а другое во вторую. Но в ДНК связываются между собой основания только в двух вариантах: А-Т и G-С. Такие комбинации отбираются геометрическими размерами оснований: А и G имеют большие размеры, чем Т и С. Против А в ДНК остается достаточно места

<sup>1</sup>Фосфорная кислота  $H_3PO_4$ . Сахар  $C_6O_6H_{12}$ , общая формула сахаров  $(CH_2O)_n$ .

<sup>2</sup>Аденин  $NC_5H_4N_4$ ; гуанин  $NC_5H_4ON_4$ ; цитозин  $NC_4H_4ON_4$ ; тимин  $NC_5H_4ON_4$ .

Рис. 4: Структура одиночной цепи ДНК

только для меньшего по размерам основания Т. Состав пары А-Т или G-C объясняется химическими особенностями этих молекул - водородная связь возможна только в приведенных парах. Такое точное соответствие оснований и нитей ДНК называют комплементарностью, а сами нити и основания — комплементарными друг другу. Водородная связь между основаниями довольно слаба, но число таких связей в двухцепочечной молекуле ДНК может достигать миллионов и поэтому эти цепи связаны между собой очень прочно.

Известно, что в живом организме синтезируется 20 аминокислот. В состав белков входят эти аминокислоты, но число их в белке может достигать миллионов и для того, чтобы записать структуру белка нужно указать последовательность расположения этих аминокислот в белке. Природа решила эту проблему очень экономным способом: данная аминокислота кодируется последовательностью нуклеотидов. Сколько нуклеотидов должно входить в эту последовательность? Если всего один, то тогда можно закодировать всего четыре аминокислоты. Если два, то  $4 \times 4 = 16$ , это мало - нужно кодировать 20. Следующая возможность - последовательность из трех нуклеотидов; тогда можно закодировать  $4 \times 4 \times 4 = 64$  аминокислот. Это более, чем достаточно, так как нужно всего 20.

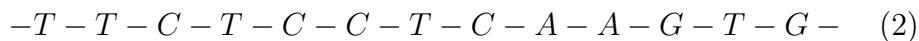
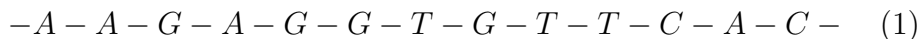
Природа выбрала этот путь. Она очень изящно использовала существование лишних последовательностей. Будем называть отдельную последовательность трех нуклеотидов кодоном. Большинство аминокислот кодируется несколькими кодонами: например, аминокислота глицин кодируется кодонами GGG, GGA, GGC и GGT. Любой из этих четырех кодонов означает, что должен быть синтезирован глицин. Этот способ повышает устойчивость записи информации к разрушающим воздействиям. Видно, что если в результате мутации произошла замена третьего нуклеотида в любом из кодирующих глицин кодонов на любой из четырех существующих нуклеотидов, образовавшийся кодон все равно указывает на глицин. Три кодона, не кодирующие никакую аминокислоту, используются для обозначения конца последовательности аминокислот для данного белка.

Итак каждая из двух цепей ДНК содержит отдельные последовательности кодонов, в которых содержится информация о составе аминокислот, образующих один из белков. Совокупность такой информации и есть программа, развития организма, всех его свойств и характеристик.

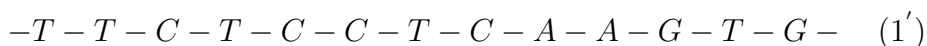
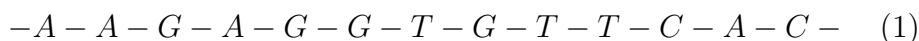
Итак, пусть во фрагменте молекулы ДНК последовательность оснований в двух

Рис. 5: Структурные формулы компонентов цепи ДНК. А - одиночная цепь молекулы ДНК, образованная из комплексов основания с сахаром, соединенных между собой фосфатными группами. Б и В - структура оснований и водородные связи между ними (пунктир).

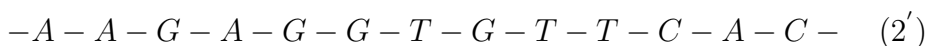
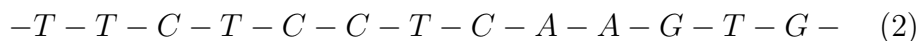
цепях (1) и (2) имеет вид



В процессе деления клетки связь между двумя цепями молекулы ДНК разрываются и к каждому основанию присоединяется основание, выбираемое по тому же принципу как и в исходной молекуле. В результате возникают две новые молекулы ДНК, полностью идентичные исходной. Действительно, возьмем цепь (1) и присоединим к ее основаниям новые. Тогда получим молекулу ДНК со структурой



Здесь (1') вновь образованная цепь. Для цепи (2) получим молекулу ДНК со структурой



В ней (2') так же вновь образованная цепь. В результате из одной молекулы ДНК возникли две со структурой тождественной первичной.

Рассмотрим более подробно структуру хромосомы. Первое предположение о роли нуклеиновых кислот в качестве генетического материала сформулировал доцент Петербургского университета А. Щепотьев в 1914 г.

Структура хромосомы была предложена американским биохимиком Д. Уотсоном и английским физиком Ф. Криком в 1953 г. Хромосома состоит из двух идущих рядом нитей, скрепленных одна с другой перемычками. В пространстве эти нити образуют двойную спираль, эта структура и есть молекула ДНК. Обе нити одинаковы по длине, расстояние между каждой цепью одно и то же по всей длине. Между цепями размещаются остатки пар А-Т и Г-С. Суммарная длина обеих пар одинакова и равна расстоянию между цепями, но длины остатков различны, поэтому между цепями могут разместиться только указанные комбинации оснований. Длина комбинации оснований А-Г больше расстояния между цепями, а Т-Г меньше. Каждая связь основание - сахар находится на одинаковом расстоянии от оси спирали и повернута на  $36^\circ$ , причем в каждой из них в зависимости от вида ДНК могут быть до миллионов блоков - нуклеотидов. Порядок их чередования определяет наследственную информацию, записанную в ДНК и передаваемую следующим поколениям. Снаружи спирали - остов, а внутри - перпендикулярные ему основания. На один виток спирали приходится примерно по десять нуклеотидов.

Диаметр двойной спирали  $2 \cdot 10^{-9}$  м (2 нм), расстояние между соседними парами оснований спирали  $0,34 \cdot 10^{-9}$  (0,34 нм), В живых клетках цепи очень длинные, содержат до  $10^8$  нуклеотид. Это число означает огромность числа возможных вариантов расположения молекул в ДНК, а каждый вариант соответствует своей программе развития организма.

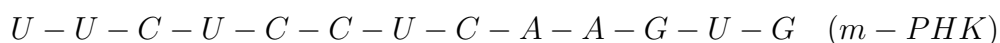
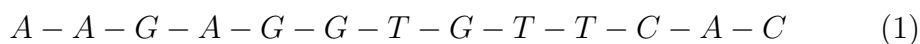
Сама хромосома свита в плотный клубок. У человека длина такой спирали в размотанном состоянии составляет нескольких метров. Эта длина зависит от организма, которому принадлежит эта молекула ДНК. Длина плодовой мушки (дрозофилы)

$4 \cdot 10^{-3}$  м, а самой длинной ее хромосомы - в 10 раз больше. У простейших вирусов ДНК содержит несколько тысяч звеньев, у бактерий - несколько миллионов, а у высших - миллиарды. Но она уместается в клеточном ядре, значит, ее "укладка" такова, чтобы по всей длине она была доступна для чтения, записанной в ней информации.

Теперь уточним понятие ген - это участок ДНК, в котором последовательность нуклеотидов определяет последовательность аминокислот в белке, синтезируемого в клетке. Вся совокупность генов определяет структуру всех белков.

Рассмотрим теперь процесс синтеза белков в клетке. Последовательность аминокислот в данном белке записана в участке молекулы ДНК, но эта молекула не принимает непосредственного участия в синтезе. Механизм синтеза состоит в следующем: вначале копируется участок одной из цепей молекулы ДНК и создается молекула матричной (или информационной) рибонуклеиновой кислоты м-РНК. Этот участок кодирует всю последовательность аминокислот в данном белке.

Цепь м-РНК создается рядом с молекулой ДНК по тому же принципу, что и при делении ДНК с одной заменой - вместо тимина включается другое основание уранил (U). Для нашего примера структура образованной м-РНК имеет состав:



Процесс копирования участка ДНК и создания молекулы м-РНК называется транскрипцией. На молекуле РНК есть кодоны, означающие начало и конец цепочки кодонов, на которой происходит транскрипция. По завершении процесса образование молекулы м-РНК она поступает в цитоплазму клетки. Эта молекула живет в клетке ограниченное время и затем распадается. Это необходимо для того, чтобы регулировать время производства белка. Некоторые белки должны существовать в клетке только при протекании определенного процесса, имеющего конечную длительность.

Процесс генерации белка происходит в рибосомах, которые представляют сложный молекулярный агрегат, находящееся в цитоплазме клетки. Молекула м-РНК проходит через рибосому, сдвигаясь дискретными шагами длиной в один кодон. Кодон, находящийся в рибосоме в данный момент, говорит ей какая очередная аминокислота должна присоединиться к белку. В самой рибосоме аминокислот нет. Они доставляются в нее небольшими молекулами, называемыми транспортными РНК (т-РНК).

Аминокислота, находящаяся в цитоплазме клетки, прикрепляется к молекуле т-РНК на одном из ее концов, а на другом участке т-РНК находится кодон, который может химически связаться с кодоном м-РНК, находящимся в данный момент времени в рибосоме. Например, кодон м-РНК, означающий аминокислоту глутамин, имеет вид САА. Этому кодону в м-РНК соответствует кодон GUU, находящийся в т-РНК, переносящей глутамин. Когда к рибосоме случайно подойдет именно такая молекула т-РНК, молекула аминокислоты глутамина освободится от т-РНК и присоединится к цепи аминокислот, входящих генерируемый белок. После этого м-РНК продвинется в теле рибосомы на один кодон и процесс образования белка продолжится по тому же алгоритму. Процесс закончивается, когда в рибосоме окажется кодон, которому не соответствует никакая аминокислота. Этот кодон можно назвать знаком конца процесса. Весь этот процесс называется транскрипцией. Процесс построения



одной белковой молекулы у человека проходит за несколько минут, у бактерии нужно несколько секунд для этого же.

Для осуществления процесса создания белка необходимо, чтобы в клетке организма присутствовали аминокислоты. У растений и микроорганизмов есть механизм производящий в клетке весь набор из 20 аминокислот. У животных в клетке имеются только некоторые из полного набора аминокислоты. Остальные аминокислоты организм должен получать извне с пищей. Эти аминокислоты называются незаменимыми. У человека полностью незаменимыми являются восемь и еще четыре условно незаменимыми, они образуются при достаточной концентрации первых.

## 22 Жизнь.

Живые существа, если сравнивать их с объектами неживой природы, обладают рядом необычных свойств: их поведение нередко кажется целенаправленным, они прекрасно приспособлены для достижения определенных целей и чрезвычайно сложно устроены. Отсюда многие приходили к выводу, что хотя живые существа и материальны, их свойства нельзя объяснить только физическими законами - видимо материю "одушевляет" некий внетелесный фактор. Такая точка зрения существует с античных времен. Ее высказывали люди разных религиозных и философских убеждений. Какова же концепция современной науки по этому вопросу?

Ученые, называемые виталистами, считают, что явление жизни нельзя понять на основе естественных наук. С другой стороны, безоговорочно принять тезис, что жизнь целиком основана на физических и химических процессах, тоже не так просто, как это может показаться на первый взгляд.

Если принять существование некоего одушеворяющего начала, то следует задаться вопросом о том, сопровождаются ли его проявления в живых организмах нарушениями законов физики, химии, которым подчиняются неживые системы. Многочисленными опытами установлено, что ни один закон физики и химии в биологических системах не нарушается. Но формула "жизнь подчиняется законам физики и химии" утверждает лишь факт, что в биологических системах они не нарушаются, и не отрицает того, что живые существа обладают рядом свойств, не присущих физическим системам.

Из чего состоит живая система? Какие вещества в ней преобладают количественно, а какие являются определяющими, от присутствия которых зависят свойства живого организма?

Во всех живых системах преобладающим в их составе веществом является вода. Но наличие воды является необходимым условием существования живого, но далеко недостаточным. В состав таких систем входят белки, нуклеиновые кислоты (НК), включающих в себя дезоксирибонуклеиновую кислоту (ДНК) и рибонуклеиновую кислоту (РНК), липиды, углеводы, их комплексы и различные соли. Важной чертой живых систем является способность создавать себе подобные системы или способность к размножению. Роль НК особенно велика, поскольку они являются носителями наследственности и необходимым звеном при синтезе белка.

В биологии принят основополагающий постулат - живое только из живого. Этот постулат основывается на том, что, несмотря на многочисленные попытки, еще никому не удалось создать жизнь простой комбинацией различных соединений в пробирке. Элементарной единицей живого организма можно считать клетку. В пределах клетки происходит большое количество химических реакций, необходимых для поддержания структуры клетки. Эти реакции вырабатывают энергию, удаляют из клетки химические соединения, созданные в процессе жизнедеятельности и более не нужные ей. Все живые организмы состоят из агрегата клеток, взаимодействующих между собой согласованным образом, обеспечивающим возможность существования этого организма в окружающей среде. Клетки постоянно обмениваются друг с другом веществами и выводят в окружающую среду некоторые вещества. Таким образом, клетка представляет открытую систему, находящуюся в стационарном состоянии.

Сейчас известны практически все химические реакции, протекающие в клетке; все они могут быть воспроизведены в пробирке. Но для их протекания в пробир-

ке требуются высокие температуры, высокие давления, присутствие катализаторов - веществ, которые способствуют протеканию реакции. Таких условий в клетке нет. Однако эти же реакции в клетке происходят при нормальном давлении, при температуре 35 - 40 градусов. Большая эффективность химических процессов в клетке возникла в процессе длительной эволюции биологических систем. Природа пошла по пути создания в клетке специфических химических веществ, способствующих протеканию химических реакций с высокой скоростью. Эти вещества получили название ферментов.

Как правило некоторый конечный продукт создается в клетке в результате протекания цепочки химических реакций, в которой продукт предыдущей реакции является исходным материалом для следующей. При этом таких цепочек в клетке одновременно может протекать несколько тысяч. В клетке реализуются условия, позволяющие всем этим реакциям протекать согласовано, так что продукты одной реакции не нарушают протекание других реакций. Необычайная согласованность последовательности реакций в клетке так же обеспечивается ферментами - веществами белковой природы, содержащимися в клетке, которые регулируют и ускоряют биохимические процессы.

Следующее главное свойство живого - способность к воспроизведению себе подобных с передачей по наследству важнейших свойств и функций. Природа весьма консервативна в своих принципах организации живого. У ископаемых - давно вымерших представителей флоры и фауны - фундаментальные процессы на уровне клеток ничем не отличаются от ныне живущих животных и растений.

Суммируя все сказанное, можно дать следующее определение жизни. Жизнь есть способ существования открытой системы, построенной из белков и НК и организованной не менее чем в клетку, находящуюся в стационарном состоянии и осуществляющую биологический обмен веществ и воспроизведение себе подобных с передачей по наследству общих принципов структуры и функций. Заметим, что это определение жизни является одним из возможных. Существует и другие определения, подчеркивающие те или иные характеристики явления жизни, наиболее существенные при рассмотрении данного аспекта этого явления.

## **Принципы строения и функционирования живых организмов.**

Можно утверждать, что все биологические объекты обладают единством принципов структуры и функционирования. Это означает, что одноклеточная амeba и гигантский слон на клеточном уровне имеют фундаментальные элементарные процессы, которые принципиально не различаются. Различия между ними наступают на более высоких ступенях иерархической лестницы.

Рассмотрим принципы, определяющие структуру живых организмов.

1. **Единство элементного состава.** Все живые существа содержат кислород, углерод, азот, водород, которые в сумме составляют 97 - 98 % массы. На долю серы, фосфора, хлора, калия, магния, кальция, натрия, железа приходится около 2 %. Соединения углерода составляют основу всех типов биологически важных соединений. Может ли такой основой являться какой-либо иной хими-

ческий элемент? Атомы самого распространенного на Земле элемента кремния так же как углерод способны образовывать при взаимодействии друг с другом длинные цепи. Однако физико-химические свойства аналогичных соединений, образованных углеродом и кремнием, весьма различны. Так двуокись углерода  $CO_2$  является газом, который играет важную роль в процессе фотосинтеза. Аналогичное соединение кремния  $SiO_2$  является весьма стойким твердым соединением (песок), практически не вступающим в реакции при температурах, при которых происходят жизненные процессы. Углерод имеет и другие преимущества перед кремнием: образует прочные С-С связи, дает кратные связи, соединения углерода стойки в присутствии воды, кислорода, аммиака. Соединения кремния такими свойствами не обладают.

2. **Одинаковый состав химических соединений у живых существ.** Все живые существа содержат одни и те же химические соединения и примерно в одинаковой пропорции: вода - 70-85%, соли - 1%, белок - 10 - 20%, жир - 1 -5%, углеводы - 0.2 - 2%, нуклеиновые кислоты - 0.5 - 1.5%. Совершенно различные живые существа - амеба и слон - содержат большинство этих соединений в приблизительно одинаковой пропорции. Но каждый живой организм может иметь еще белки, присущие только ему.
3. **Единство строения внутриклеточных элементов.** Клетки, как животных, так и растений построены по единому мембранному типу. Мембраны отделяют клетку от межклеточной жидкости, ядро клетки и другие внутри клеточные структуры (органеллы) - от внутриклеточной жидкости. Все мембраны имеют толщину  $\sim 10^{-6}$  см и состоят из трех слоев: однорядный слой белка, двухрядный слой жировых молекул еще один однорядный слой белка.
4. **Единство клеточного строения живых организмов.** Все живое представляет либо одну собой клетку (одноклеточный организм) или состоит из некоторого числа клеток (многоклеточный организм). Многоклеточные организмы построены по блочному принципу из различного количества клеток, между которыми устанавливается высокая корреляция между выполняемыми ими функциями. Общность клеточного строения живых систем возникла в результате единого эволюционного процесса возникновения жизни на Земле.
5. **Единый принцип развития многоклеточных организмов.** Каждый многоклеточный организм представляет собой результат деления одной исходной клетки. Например, человеческий организм является результатом 50-60 кратного деления исходной клетки. Половые клетки сильно различаются по величине у разных существ, но действуют одинаковым образом. Алгоритм развития организма содержится в хромосомах, передаваемых этими клетками. Конечный организм является продуктом деления одной исходной клетки. После ряда делений клеток, их роста и дифференциации возникают специализированные клетки, выполняющие одну функцию.
6. **Единство химических процессов, протекающих у живых существ.** Все без исключения живые организмы дышат, сущность этого процесса состоит в выработке универсального клеточного горючего - молекул АТФ (аденозинфосфата). Процесс внутриклеточного пищеварения у всех живых организмов

построен единообразно и состоит в превращении длинных молекул в короткие отрезки, которые затем включаются в структуры клеток. Эти процессы происходят при обязательном участии ферментов.

7. **Единый механизм наследования строения и функционирования.** У всех без исключения живых организмов этот процесс происходит путем передачи генетического материала в виде генов, образующих хромосомы. Материал хромосом в течение жизни клетки не расходуется и не обменивается, что обеспечивает устойчивость и постоянство вида и индивидуального организма.

Итак, мы показали, что живые организмы, имея единый план молекулярного, субклеточного, клеточного строения, будучи построены из одинаковых элементов, функционируют на основе единых принципов, что позволяет говорить о единстве структуры и функционирования всего живого.

## Основные выводы.

1. Жизнь есть способ существования открытой системы, построенной из белков и НК и организованной не менее чем в клетку, находящуюся в стационарном состоянии и осуществляющую биологический обмен веществ и воспроизведение себе подобных с передачей по наследству общих принципов структуры и функций.
2. В биологических системах не нарушаются законы физики и химии. Живые существа обладают рядом свойств, не присущих физическим системам.
3. Главное свойство живого - способность к воспроизведению себе подобных с передачей по наследству важнейших свойств и функций.
4. Все биологические объекты обладают единством принципов структуры и функционирования. Все организмы, независимо от их размеров, на клеточном уровне имеют фундаментальные элементарные процессы, которые принципиально не различаются.

## 23 Процесс возникновения жизни на Земле.

Сразу нужно сказать, что общепринятого взгляда на процесс возникновения жизни на Земле наука до сих пор не выработала. Причина этого состоит, с одной стороны, в том, что, как мы уже говорили, экспериментальные попытки получить живое вещество в пробирке из химических компонентов не увенчались успехом. С другой стороны, возникновение первых организмов на Земле относится к периоду, отстоящему от нас на 3.5 млрд лет. Мы очень приблизительно представляем себе природные условия, существовавшие на Земле в то время, первые организмы не дошли до нас даже в виде ископаемых остатков. В такой ситуации наука вынуждена строить пока гипотезы о развитии процесса возникновения жизни на Земле.

Исторически первой концепцией, объясняющей причину возникновения жизни, явилась креационная: жизнь на Земле создана Богом и жизнь такова, какова она

есть, потому что ее сотворил Бог. Такое решение проблемы не является научным. Но эта концепция пользуется и до сих пор популярностью.

Существуют несколько научных концепций процесса возникновения жизни на Земле. Среди них наиболее разработанными являются концепция самопроизвольного зарождения жизни из неживого вещества в земных условиях и концепция внеземного зарождения жизни, по которой жизнь на Землю была занесена из космоса метеоритами и космической пылью.

Остановимся на последней концепции. Сразу отметим, что она не раскрывает механизма возникновения живого из неживого, а переносит эту проблему в глубины космоса, где неизвестным нам образом возникла жизнь. Какие реальные факты служат доказательством права на существование этой гипотезы? В основном они сводятся к обнаружению в метеоритах химических соединений органического состава. Высказывается предположение, что это следы жизни, существующей на некой планете в космосе. В результате природных процессов, предположим, извержений, камень был выброшен в космическое пространство. При прохождении через атмосферу этой планеты на него были занесены микроорганизмы. Эта концепция встречается с трудностями при объяснении, каким образом эти микроорганизмы перенесли суровые условия космического пространства, где они путешествовали миллионы лет. Наиболее опасными для живых организмов в космическом пространстве являются ультрафиолетовое излучение Солнца и космические лучи. Действие последних по оценкам приводит к получению таких доз радиации, которых не выдерживает ни один из земных организмов. Рассматриваемая концепция не может считаться заведомо ошибочной, но и убедительных доказательств ее правильности тоже нет.

Возникновению жизни на Земле предшествовала длительная и сложная эволюция химического состава атмосферы. При образовании планеты Земля первичная атмосфера состояла из простейших соединений водорода, которые наиболее распространены в космической среде, это молекулы  $H_2$ ,  $H_2O$ ,  $NH_3$ ,  $CH_4$  - современная атмосфера Земли имеет вторичное происхождение, так как она существенно отличается по составу от первичной. Она образовалась после утечки водорода в космическое пространство из газов, вошедших в состав твердой оболочки Земли, и некоторых соединений газов первичной атмосферы. После образования поверхностной воды (океанов) большинство молекул аммиака растворилось в ней. Диссоциация молекул аммиака и воды под действием ультрафиолетового излучения Солнца приводила к обогащению атмосферы азотом и кислородом, а образовавшийся при этом водород улетучивался в межпланетное пространство. Однако, основная часть кислорода атмосферы была продуктом фотосинтеза растений в более позднюю эпоху. Возможно, что некоторое и не малое количество органических веществ было принесено на Землю метеоритами. Среди метеоритов около 1% составляют метеориты с повышенным содержанием углерода, они также содержат серу, воду. В этих метеоритах были обнаружены органические вещества довольно сложного состава: высокомолекулярные парафиновые углеводороды и жирные кислоты. Удалось в одном случае выделить из метеорита органическое вещество, подобное цитозину, входящему в состав ДНК.

Карл Саган, известный специалист по планетной астрономии, подсчитал, что за 2 миллиарда лет метеориты могли принести на Землю от  $10^8$  до  $10^{12}$  тонн органических соединений.

В настоящее время накоплен значительный экспериментальный материал по образованию из первичных веществ, таких как вода, аммиак, окись углерода, высоко-

организованных структур, являющихся основными строительными блоками клетки - единицы живого. При пропускании через смесь газов, характерных для первичной атмосферы Земли, таких как метан, водород, аммиак, пары воды, электрических разрядов возникали глицин, аламин и другие аминокислоты, а также ряд органических соединений. Экспериментально доказано, что под действием УФ радиации в такой смеси происходит образование органических соединений. Все это говорит о том, что под воздействием различных форм энергии на первичной Земле возникали достаточно сложные органические молекулы. Источники энергии на ранней Земле имелись. Это молнии, ультрафиолетовое излучение Солнца, тепло от извержений магмы как при извержениях вулканов, так и при разломах земной коры.

Но даже имея необходимую для синтеза органических веществ энергию, нужно осуществить эволюцию органических молекул с малым атомным весом, образующихся при указанных условиях на Земле, в сложные молекулы с атомным весом, достигающим сотен тысяч. Но и этого мало. Эти молекулы в этапах своей эволюции должны были привести к появлению механизма образования полимеров, затем механизма катализа, способствующего эффективному протеканию реакций. Эти полимеры должны были получить способность образовывать соединения, из которых создавались мембраны, которые в ходе дальнейшей эволюции привели бы к образованию клетки. И начиная с некоторого этапа этой эволюции должно начаться создание механизма передачи наследственных признаков. Из всех этих этапов у науки пока некоторое представление о механизме осуществления существует только для самого первого - создание первичных органических соединений.

Наиболее изученным этапом предбиологической химии является эволюция малых молекул. Проведенные эксперименты продемонстрировали возможность образования основных биологических активных соединений небиологическим путем в условиях, моделирующих природные условия, существовавшие на ранней Земле. Однако образование самых сложных молекул не решает вопроса об отборе и сохранении определенных типов молекулярных соединений.

Возникшие довольно сложные молекулы должны были разрушаться при поглощении солнечного излучения с меньшей энергией, чем то, которое способствовало их образованию. Возможно, часть этих соединений за счет конвекции опускались в глубину океана и там были защищены от губительного воздействия УФ излучения Солнца. К.Саган, исходя из потока УФ, стимулировавшего образование органических молекул, предположив, что они не разрушаются, а постепенно накапливаются, оценил количество образованного таким образом органического вещества. Если этот процесс длился 2 млрд лет, то за это время концентрация раствора этих органических молекул в мировом океане составила бы около 1%. Такая среда была весьма благоприятна для образования новых, более сложных органических соединений. В частности, из аминокислот могли синтезироваться различные белковые соединения. Молекулы этих соединений должны сливаться в целые молекулярные агрегаты, насчитывающие сотни тысяч и миллионы молекул. Они получены экспериментальным путем. Эти агрегаты молекул называются "коэцверватными каплями".

Академик Опарин развил теорию, по которой именно эти капли при определенных условиях могли дать начало образованию первичных живых систем. Он показал экспериментальным путем, что эти капли могут улавливать и впитывать в свою структуру некоторые вещества из окружающего их раствора молекул. В этом Опарин видит зачаточные формы обмена веществ - одного из важнейших атрибутов

жизни. Поглощенные коэцерватными каплями вещества вступали в химическое взаимодействие с веществом капли. Происходили процессы синтеза. Наряду с такими процессами шли и процессы распада капель. Скорость, как синтеза, так и распада определялась внутренней организацией капли. При данных условиях внешней среды более или менее долго существовали только те капли, у которых скорости синтеза превышали скорости процессов распада. Таким образом, вступал в действие естественный отбор.

Однако эта теория не объясняет самый важный шаг в процессе зарождения жизни на Земле - возникновение механизма передачи по наследству всех характерных особенностей данной особи, отсутствует механизм зарождения генного способа передачи признаков.

Центральной проблемой создания теории возникновения жизни на Земле является объяснение эволюции механизма наследственности. Жизнь возникла лишь тогда, когда начал действовать механизм воспроизведения себе подобных. Необходимо показать путь возникновения носителя этого процесса - молекулы ДНК. Предположение о том, что когда-то совершенно случайным образом из смеси белков и аминокислот возникла первая молекула ДНК, из которой затем уже начали возникать другие молекулы - ее копии, не может быть справедливым, так как кроме ДНК в механизме передачи наследственных признаков участвуют белки - ферменты. Вероятность случайного возникновения этого сложнейшего комплекса ничтожна. По-видимому, механизм передачи наследственности за миллиарды лет прошел эволюционный путь от простого к сложному, но в чем он состоял пока неизвестно.

Некоторые указания на возможный путь возникновения этого механизма были получены, когда выяснилось, что у некоторых организмов передача наследственности происходит с помощью молекулы РНК. В обычной ситуации вся наследственная информация содержится в ДНК, а РНК служит для превращения этой информации в реальные молекулы белка, т. е. для непосредственного синтеза белка, характерного для данного организма. Поскольку нет ни одного организма, не содержащего РНК, и известны организмы, содержащие только РНК, то естественно предположить, что первичной молекулой была РНК.

Было установлено, что РНК способна к саморепродукции в отсутствие белковых ферментов. Это решило, как казалось ранее неразрешимую проблему объединения двух функций - выполнения функций катализатора (ранее считалось, что это присуще только белкам) и функций передачи генетической информации.

В результате сформировано представление, что древняя РНК претерпевала генетическое преобразование, и затем естественный отбор благоприятных для приспособления к условиям внешней среды генетических мутаций. Процесс эволюции шел от РНК к белку, а затем к образованию молекулы ДНК, у которой С-Н связи более прочны, чем С-ОН связи РНК.

Существуют и другие вопросы, связанные с проблемой возникновения жизни на Земле. Например, почему в настоящее время не происходит возникновения жизни из неживого вещества? Ответ на этот вопрос состоит в том, что уже существующая жизнь не даст развиваться росткам новой жизни - она будет съедена бактериями и вирусами. Интересен вопрос о том, возникала на Земле жизнь неоднократно или это произошло только один раз. Ответа на этот вопрос пока нет.



## Основные выводы.

1. Общепринятого взгляда на процесс возникновения жизни на Земле наука до сих пор не выработала.
2. Существуют несколько концепций процесса возникновения жизни на Земле: креационная, панспермия, эволюционный процесс, протекший на Земле.
3. Центральной проблемой в теории возникновения жизни на Земле является объяснение возникновения механизма наследственности, которое наука до сих пор не выработала

## 24 Случайно или закономерно возникновение жизни. Антропный принцип.

Итак, мы имеем неоспоримый факт - на Земле существует жизнь. Можно поставить вопрос - было ли неизбежным возникновение жизни на Земле. Мы наблюдаем ситуацию, в которой не только организмы приспособлены к среде, но и сама среда превосходно соответствует их нуждам, что делает жизнь возможной. Конечно, можно сейчас прекратить обсуждение этого вопроса, заявив, что, если бы среда не позволила развиваться жизни, то некому было бы обсуждать этот вопрос, а посему дискуссии на эту тему просто бессмысленны. Однако есть целый ряд фактов, которые показывают, что наша среда обитания очень тонко настроена для того, чтобы в ней возникла жизнь. Естественно возникает вопрос - случайность это, или закономерность.

Начнем с того, что основа жизни органические соединения, куда обязательно входит углерод. Атомы углерода обладают уникальной способностью соединяться в длинные цепи или кольца, с которыми могут связываться атомы других элементов. Поэтому число соединений углерода составляет сотни тысяч, в то время как число соединений других элементов, всех вместе взятых, не превышает 10 -20 тысяч. Это свойство углерода делает возможным существование многочисленных разнообразных ферментов, гормонов, нуклеиновых кислот - соединений являющихся химической основой жизни.

По химическим свойствам к углероду ближе всего кремний, но углерод образует газообразный оксид  $CO_2$ , что делает доступным его для живых существ; аналогичное соединение кремния  $SiO_2$  - твердое вещество (песок), очень инертное в химическом отношении.

Другой основой жизни является вода. Свойства воды как вещества так же уникальны. Вода - наилучший из известных растворителей. Она растворяет вещества, содержащиеся в породах и почве, вынося их в океаны, где они включаются в процесс жизни. Она растворяет кислоты, щелочи, соли, при этом способность этих веществ к реагированию увеличивается. Вода обладает максимальной среди других веществ способностью поглощать тепло (большая удельная теплоемкость). Это приводит к тому, что вода океанов поглощает огромное количество тепла, которое стабилизирует температуру атмосферы, не допуская больших колебаний. Это обеспечивает относительное постоянство температуры окружающей среды, что очень важно для

протекания биологических процессов. Среди всех веществ только вода при замерзании имеет меньшую плотность (лед), чем в жидком состоянии: это приводит к тому, что лед поднимается на поверхность, в противном случае он скапливался бы на дне, и водоемы промерзали бы полностью, что вредно действовало бы на живые организмы. Поверхностное натяжение воды больше, чем у других обычных жидкостей, и поэтому вода легко поднимается по капиллярам почвы и тканей растений.

Если обратиться к космическим свойствам вещества, то и там найдем много удивительных совпадений, благоприятствующих возникновению жизни. В состав вещества входят протоны и нейтроны. Масса нейтрона всего на 0.07% больше массы протона. Свободный нейтрон живет около 1000 сек и распадается в протон. Если бы разность масс была бы большей, время жизни нейтрона уменьшилось, и тогда все нейтроны распались бы, не образовав ядер. Очевидно, что тогда не существовали бы и молекулы, а стало быть, и жизнь.

Если бы постоянная всемирного тяготения была бы немного меньше, то образовались бы звезды малой массы и небольшой светимости, если бы эта постоянная была бы чуть больше, то возникали бы звезды очень большой массы с очень высокой температурой, но время жизни таких звезд было бы мало. В обоих случаях около них не могли бы существовать планеты с температурными условиями, пригодными для жизни.

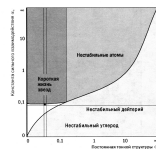


Рис. 6: Ограничения на силу электромагнитного  $\alpha$  и сильного  $\alpha_s$  взаимодействий.

На рис.6 показано, что произошло бы в нашем мире, если бы сила электромагнитного  $\alpha$  и сильного  $\alpha_s$  взаимодействий могла изменяться (данные на рисунке рассчитаны М.Тегмарк и взяты из книги С.Г.Рубина "Устройство нашей Вселенной Век2,2006).

Пусть заряд электрона возрастет от существующего значения, чему соответствует величина  $\alpha = 1/137$ . Тогда атомы с достаточно большим зарядом не смогут существовать: сила притяжения между положительно заряженным ядром и отрицательно

заряженным электроном станет настолько велика, что электрон упадет на ядро. Увеличение электростатического отталкивания приводит к тому, что для существования стабильного ядра углерода нужно увеличивать притяжение между протонами и нейтронами за счет сильного взаимодействия. А этот элемент является основным для возникновения жизни. Ниже горизонтальной линии не может существовать стабильный дейтерий: сильное взаимодействие слабо и не может связать протон и нейтрон в стабильное ядро дейтерий. Но дейтерий необходим в процессе выработки энергии в звездах: он входит в цикл превращения водорода в гелий. Увеличение силы ядерного взаимодействия увеличивает скорость ядерных реакций и тогда звезды быстро сжигают свой водород. Это означает короткий во времени цикл эволюции звезд: за такое время жизнь не успевает развиваться.

Подходящее соотношение между силой рассматриваемых двух взаимодействий, при котором может существовать жизнь, ограничено на рис.6 неокрашенным треугольником внизу слева. Теории великого объединения взаимодействий ограничивают область допустимых значений  $\alpha$  и  $\alpha_s$ , заключенную между двумя вертикальными линиями, что еще больше ограничивает допустимую область. Существующие в нашем мире значения  $\alpha$  и  $\alpha_s$  показаны маленьким черным квадратиком. Видно, что эти значения очень близки к областям, где жизнь не может возникнуть: либо нестабильный дейтерий, либо короткая жизнь звезд.

Все эти совпадения приводили к мысли, что значения мировых констант не случайны, а связаны между собой неким принципом. На основе подобных совпадений сформулирован так называемый антропный принцип: Вселенная должна быть такой, чтобы в ней на некотором этапе эволюции возникла разумная жизнь.

Поскольку этот принцип определяет требования к свойствам Вселенной, он накладывает определенные ограничения на физические законы, реализующиеся в ней, что означает ограничения на соотношения между мировыми постоянными. Если бы эти постоянные были иными, но жизнь была бы невозможна. Если не верить в существование Творца, который так устроил нашу Вселенную, что все постоянные подобраны из требования возможности возникновения разумной жизни, то тогда остается предположить, что разумная жизнь есть некий случайно возникший процесс. Однако этот вывод также не имеет под собой прочной научной основы. В науке под вероятностью понимают частоту некоего события в целой серии наблюдений. Но мы имеем единственное наблюдение - мы существуем; при такой малой статистике наблюдений говорить о вероятности просто нельзя.

Можно предположить, что из всех возможных сочетаний значений констант лишь немногие позволяют реализовать условия, при которых возможна жизнь. Существуют теории, допускающие существование множества вселенных со своими значениями мировых констант, а, следовательно, и со своими физическими законами. Возможно среди этих вселенных найдутся такие, в которых эти законы не исключают возникновения жизни и разума. Однако, современная наука не знает способов обмена информацией между нами и этими вселенными. Поэтому бессмысленно обсуждать вопрос о существовании жизни в таких вселенных, так как у нас нет возможности проверить наши теории.

Таким образом ответить на поставленный вопрос о том является ли возникновение жизни случайностью или закономерностью наука пока не в состоянии. Поэтому необходимы исследования возможности существования жизни на других планетах, как нашей Солнечной системы, так и в планетных системах, принадлежащих другим

звездам.

На планетах Солнечной системы, отличных от Земли, признаков жизни пока не обнаружено, хотя условия, позволяющие ей возникнуть, существуют на Марсе, и, может быть, на Венере, но в особой форме, в виде простейших организмов, обитающих в атмосфере. Эти исследования переходят в стадию прямого эксперимента, так что следует подождать ответа.

А что можно сказать об условиях на других планетных системах. Пока мы имеем только косвенные факты, по которым можно сделать вывод, что в нашей галактике может быть несколько сот миллионов планетных систем. В последнее время у нескольких звезд с массой порядка солнечной обнаружены планетные системы и показано, что массы планет приблизительно такие же, как и у планет Солнечной системы.

Если считать, что при выполнении некоторых общих условий на планете возникает жизнь, то число обитаемых миров в галактике может быть того же порядка. На некоторых планетах развитие жизни могло пойти так далеко, что на них появились разумные существа. Однако ниоткуда не следует, что в итоге миллиардов лет развития жизни на какой-нибудь планете там с необходимостью должны возникнуть разумные существа.

С другой стороны, можно предположить, что возникновение разумной жизни где-нибудь во Вселенной на некотором, пусть даже небольшом, количестве планет, обращающихся вокруг своих солнц, есть процесс закономерный. Возникшие цивилизации могут находиться на разных ступенях технического и научного прогресса, в том числе и быть выше нас по уровню развития. Проблема поиска, установления связи с такими цивилизациями стоит перед наукой и даже сделаны первые, пока безрезультатные попытки, зарегистрировать сигналы от таких цивилизаций в радиодиапазоне.

## Основные выводы.

1. Природные условия, существующие на Земле, способствуют возникновению жизни: основа жизни - углеродные соединения и вода; необходимый для их создания углекислый газ и вода имеются на Земле.
2. Физические законы, реализованные в нашей Вселенной, удивительным образом способствуют образованию существующих природных условий. Малые изменения значений мировых констант приводят к радикальному изменению строения вещества, образующего наш мир .
3. Существуют неожиданные связи между мировыми константами, относящимися к процессам совершенно различной природы.
4. Эти связи являются основой антропного принципа: Вселенная должна быть такой, чтобы в ней на некотором этапе эволюции возникла разумная жизнь.
5. Наука сейчас не может ответить на вопрос: является ли жизнь на Земле уникальным явлением или существование жизни является закономерным явлением во Вселенной.

## 25 Естественный отбор с точки зрения генетики.

Основы теории Дарвина, объясняющей эволюцию живых организмов, состоят в следующем. Любой вид животных и растений стремится к размножению в геометрической прогрессии. Однако число взрослых особей каждого вида остается относительно постоянным. Следовательно, в природе существуют механизмы, регулирующие число особей. Одним из таких механизмов является ограничение в доступных данному виду пищевых ресурсов, другой механизм - неблагоприятное воздействие внешней среды на данный вид. Это приводит к тому, что в природе происходит борьба за существование, и побеждают в этой борьбе особи, наиболее приспособленные к внешним условиям. При этом в процессе выживания важным является передача по наследству полезных признаков, что может приводить к изменению вида настолько, что появляются новые виды. В борьбе за существование выживают и оставляют потомство индивидуумы и особи, обладающие таким комплексом признаков и свойств, которые позволяют им наиболее успешно конкурировать с другими. Таким образом, в природе происходят процессы избирательного уничтожения одних особей и преимущественного размножения других; этот процесс называется естественным отбором или выживанием наиболее приспособленных.

Но при появлении этой теории и позднее в ней существовала серьезная трудность: она не могла объяснить механизм передачи по наследству полезных признаков. Решение этой проблемы было получено генетикой. Сейчас мы знаем, что все характерные особенности живого существа содержатся в генах, которые этот организм получает от родителей. Наследуемые признаки можно разбить на две категории, Есть признаки с четкими различиями в фенотипе (фенотип - совокупность всех признаков и свойств организма, сформировавшихся в процессе его индивидуального развития). Они передаются одним или двумя дискретными генами. Примером таких признаков может быть группа крови, окраска цветка у определенного сорта. Очень часто, хотя и не всегда, на проявление таких признаков среда не влияет.

С другой стороны, есть много признаков, которые можно назвать количественными: фенотипы здесь не дискретны, а образуют непрерывный ряд с разной степенью проявления какого-либо качества. Например, уровень интеллекта у людей, молочная продуктивность у коров и т.д. Эти признаки определяются не одним геном, а несколькими, передача такого признака происходит по обычным законам генетики, но каждой комбинации генов отвечает своя степень проявления наследственного признака, так что создается иллюзия усреднения у потомства признаков родителей. Так, например, цвет кожи человека зависит от количества меланина - вещества, синтезируемого в клетках. Это количество определяется четырьмя генами, но ген может быть двух видов: первый способствует синтезу меланина, второй - не способствует. В смешанных браках людей с разным цветом кожи потомство может иметь набор этих четырех генов в различных комбинациях, поэтому потомство может иметь все оттенки кожи от черного до белого, создавая иллюзию непрерывного изменения наследуемого признака.

Далее мы рассмотрим процесс эволюции живых организмов и выделим элементарные механизмы, осуществляющие этот процесс. В данном случае под элементарностью мы подразумеваем то, что каждый из этих механизмов не может объяснить эволюционный процесс, но каждый из них является составной частью этого процесса.

### Элементарный эволюционный материал.

Мутация - совокупность элементарных, дискретных наследственных изменений. По своей природе мутации являются дискретными изменениями разных единиц общего кода наследственной информации - отдельных генов, отдельных хромосом, изменением числа хромосом. Мутации возникают спонтанно и постоянно у всех живых организмов. Далее рассмотрим общие черты мутаций и мутационного процесса, присущие живым организмам.

Частота возникновения мутаций у всех видов лежит в пределах одного порядка величин и составляет от нескольких процентов до нескольких десятков процентов на одно поколение. Это справедливо для видов, различающихся продолжительностью жизни на несколько порядков. Оптимальной для протекания процесса эволюции является не слишком большая и не слишком малая степень стабильности генетических структур.

Мутационный процесс вызывает неопределенную наследственную изменчивость - он является случайным и ненаправленным. Мутации могут вызывать как небольшие отклонения от исходной формы, так и быть очень большими вплоть до патологических и летально действующих изменений. Но установлено, что мутациями затрагиваются все способные варьироваться признаки и свойства живых организмов.

Мутации могут как повышать, так и понижать относительную жизнеспособность особей, имеющих ген, подверженный определенной мутации, по сравнению с исходной формой.

Мутации возникают и присутствуют постоянно в достаточных количествах во всех природных популяциях.

В ряде случаев мутация некоторого вида приводит к тому, что этот вид занимает определенную ограниченную территорию. Можно сказать, что такая мутация вышла на историческую эволюционную арену.

Во всех случаях происходит менделевское расщепление признаков в скрещивании подвидов, отличающихся по ряду признаков.

Далее рассмотрим элементарные эволюционные факторы. Элементарность фактора понимается как явление, вызывающее элементарное эволюционное явление - изменение генотипического состава популяции.

#### **Мутационный процесс.**

Частота возникновения отдельных определенных мутаций всегда относительно низка и составляют  $10^{-10} \div 10^{-4}$  на поколение. Пример: Доля растений кукурузы, дающие сморщенные семена  $1.2 \cdot 10^{-6}$ , с отсутствием хлорофилла -  $2.3 \cdot 10^{-6}$ . Но так как генов много, общая частота всех мутаций высока - от единиц до десятков процентов. Вновь возникшие мутации в значительной части являются неблагоприятными и даже смертельными для продолжения жизни. Причина этого состоит в том, что нормальный набор генов и хромосом образовался в процессе длительного отбора на лучшие комбинации, приспособленные к среде, поэтому возникающие изменения, как правило, не улучшают эту приспособленность. Однако, среди мутаций, оказавшихся хуже исходного материала, большинство не обладает заметно пониженной, а некоторые имеют даже повышенную относительную жизнестойкость в гетерозиготном состоянии. Эти мутации могут относительно долго сохраняться в популяциях и при создании определенных условий оказаться выгодными.

Представим себе, что популяция ворон, заселяющих целый континент, состоит из миллиона свободно скрещивающихся особей и среди них есть одна ворона, имеющая в скрытом виде (в гетерозиготном состоянии) ген белой окраски. Из поколения в

поколение такая ворона будет вступать в брак с черной, и давать потомка, несущего в скрытой форме редкий признак. Такая концентрация - один на миллион - будет поддерживаться в течение неограниченно долгого времени. Пусть среди ворон возникла новая мутация белизны. Возникла в гетерезиготном состоянии и находится в скрытой форме. Если новая мутация встретится с носителем того же гена, четверть их потомков будет уже настоящими альбиносами. Однако вероятность такого события равна одной миллионной. Но пусть эта ситуация сложилась не среди миллиона, а среди десятка ворон, которые оказались изолированными от остальных. Тогда вероятность встречи двух носителей рецессивного гена уже одна десятая и рождение альбиноса в таком малом сообществе очень велика.

Мутационный процесс как эволюционный фактор поддерживает высокую степень гетерогенности (наличие различных наборов генов) природных популяций. Однако этот процесс не направляет эволюционные изменения. Этот процесс является случайным - исходные свойства и признаки меняются в разных направлениях. Давление мутационного процесса относительно невелико и перекрывается влиянием других факторов.

Таким образом, мутационный процесс является лишь поставщиком элементарного эволюционного материала, не способным оказывать направляющее влияние на процесс эволюции.

#### **Популяционные волны.**

Популяции живых организмов подвержены количественной флуктуации численности входящих в них особей. Эти флуктуации происходят как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения численности. Эти изменения могут быть сезонными (у многих насекомых с коротким жизненным циклом), могут вызываться изменениями климата или урожаем кормов. Известна корреляция численности особей хищников и их жертв: размножение жертвы приводит к увеличению популяции хищников, что приводит к уменьшению популяции жертв, что, в свою очередь, ведет к уменьшению популяции хищников из-за уменьшившейся кормовой базы.

Эти флуктуации имеют эволюционное значение: при резком уменьшении популяции в последующем восстановлении ее численности сохраняются лишь те мутации и генотипы, которые достаточно часто представлены, а мутации, представленные в малых количествах, могут либо исчезнуть, либо, если они остались в значительно более высокой концентрации по случайным причинам, резко повысят свою концентрацию. Например, мутация распространилась среди лягушек наиболее глубокого болота, которое не высохло в засуху. Все остальные лягушки погибли, а эти выжили и, размножившись, заселили всю округу. Популяционные волны являются поставщиком эволюционного материала для действия относительно интенсивного отбора. Они способствуют выходу ряда мутаций и генотипов на эволюционную арену, что является своего рода апробацией. Но этот процесс происходит совершенно случайно и не направлен. Значение этого фактора может превышать роль спонтанного мутационного процесса.

#### **Изоляция.**

Изоляция - это возникновение любых барьеров, нарушающих свободное скрещивание индивидуумов. Возникновение изоляции закрепляет возникшее как случайно, так и под влиянием отбора различие в наборах и относительных численностях различных генотипов в изолированной популяции. Сама по себе изоляция не создает новых форм, но способствует и усиливает эволюцию. Пример: голубая сорока оби-

тает в Китае и Японии, а другой ареал ее обитания - Испания. Обе эти популяции эволюционирует независимо друг от друга.

### **Естественный отбор.**

Отбор - это процесс, направленный к повышению вероятности оставления после себя потомства одними организмами по сравнению с другими. Отбор действует в пределах каждой популяции, отбирая или отменяя те или иные входящие в ее состав генотипы. Отбор устраняет из популяции все генотипы с пониженной жизнеспособностью и плодовитостью и повышает концентрацию генотипов с повышенной жизнеспособностью и плодовитостью. Из всех элементарных эволюционных факторов лишь естественный отбор имеет свойство достижения определенной биологической "цели". Естественный отбор является основным фактором, поддерживающим должное равновесие между организмом и средой, а также определяющим становление и развитие адаптаций. Остальные элементарные эволюционные факторы лишь организуют потенциальные возможности для дальнейших наследственных изменений.

Темпы и формы эволюции зависят от многих обстоятельств. Для возникновения новых семейств и отрядов нужны интервалы времени, равные многим миллионам лет. Так представители большинства отрядов млекопитающих возникли не более 70-80 миллионов лет тому назад, а современные отряды млекопитающих сложились за 10-20 миллионов лет. Процесс видообразования занимает не менее сотен и тысяч поколений.

## **26 Понятие о ноосфере**

Появление жизни на Земле, как мы покажем далее, существенно изменило темпы эволюции как живой так и неживой природы. Рассмотрение темпов эволюции Вселенной показывает, что они были высоки на начальной стадии, затем замедлились, а эволюция жизни на Земле наоборот ускоряется. Примем для определенности возраст Вселенной за 15 млрд лет. Построим хронологическую таблицу основных этапов развития Вселенной и жизни на Земле, причем для удобства примем, что настоящий момент времени условно соответствует 1 году, а большой взрыв произошел 1 января 0 ч 00 мин. Тогда даты основных событий будут следующими (временной масштаб - 1 сек соответствует 500 лет).

Таблица показывает, что темпы развития жизни на Земле непрерывно растут. Время существования Земли составляет 30% всего периода существования Вселенной, жизнь существует 25% этого периода, наиболее важные этапы своей эволюции жизнь проделала за 8% периода, причем существование человека занимает только 0.017% всего периода. В настоящий момент времени деятельность Человека приобретает планетарный характер, т.е. начинает определять направление развития природы на Земле.

Долгое время наука выделяла человека как особое существо, стоящее над остальной природой. Только к концу XIX века наука выработала представление о единстве человека и природы, однако, миры живого вещества и неживого, с одной стороны, и мир человека и созданного им общества, с другой стороны, не были взаимосвязанными в единый объект, подлежащий совместному исследованию. Впервые с такой точкой зрения, объединяющей все эти разобщенные области исследования, выступил Вернадский. Он показал, что развитие жизни на Земле достигло такой стадии,



Большой Взрыв	1 января 0 ч 00 мин.
Образование галактик	10 января
Образование Солнечной системы	9 сентября
Образование Земли	14 сентября
Возникновение жизни на Земле	25 сентября
Появление бактерий и сине-зеленых водорослей	9 октября
Возникновение фотосинтеза	12 ноября
Первые клетки с ядром	15 ноября
Возникновение кислородной атмосферы	1 декабря
Первые черви	16 декабря
Первые рыбы	19 декабря
Первые цветы	21 декабря
Первые амфибии и крылатые насекомые	22 декабря
Первые деревья, первые рептилии	23 декабря
Первые динозавры	24 декабря
Первые млекопитающие	26 декабря
Первые птицы	27 декабря
Первые насекомые и животные населяют сушу	28 декабря
Первые приматы	29 декабря
Первые гоминиды	30 декабря
Первые люди	31 декабря в 22 ч 30 мин

что структура атмосферы, химический состав океана, ландшафты есть порождение жизни. Он предложил рассматривать эволюцию биосферы, т.е. совокупности живой природы, с момента ее возникновения и до настоящего времени.

Вернадский не занимался проблемой возникновения жизни на Земле. Он исходил из самого факта существования жизни на Земле и предполагал, что это явление длится достаточно много лет. С современной точки зрения, основанной на экспериментальных фактах, Земля как космическое тело образовалась 4-4.5 миллиардов лет тому назад, а первые следы жизни на ней датируются временем 3.5-3.8 миллиардов лет тому назад, т.е. по космическим масштабам эти два события произошли почти одновременно. Исходя из этого факта, Вернадский считал жизнь космическим явлением, но он не был сторонником гипотезы пансмермии. Он считал, что жизнь является не случайным явлением в мировой эволюции, но тесно с ним связанным следствием. Фактически, очень тонкая пленка жизни на поверхности Земли, возникнув, стала определять весь процесс эволюции планеты за счет способности поглощать и утилизировать космическую энергию в виде излучения Солнца и трансформировать с ее помощью земное вещество. Сравнение Луны и Земли, возникших одновременно, демонстрирует эффективность живого вещества как катализатора процесса развития.

С точки зрения Вернадского, наша планета и космос представляют единую систему, в которой жизнь связывает космические и земные процессы. Энергия Солнца породила круговорот веществ в природе, приведший к возникновению толщ осадочных пород, которые затем преобразовывались геологическими и геохимическими процессами.

На определенном этапе эволюции Земли возник Человек, деятельность которого со временем многократно ускорила процессы, протекающие на Земле, увы, не всегда в лучшую сторону. Природа породила в лице Человека еще один катализатор своего развития.

Вернадский поставил вопрос о месте Человека в процессе общепланетарного развития. Он пророчески утверждал, что со временем деятельность Человека превратится в основную причину геологообразующего процесса. Вследствие этого Человек должен принять на себя ответственность за будущее развитие планеты. Развитие окружающей среды и общества станут неразрывными. Это приведет к тому, что биосфера и сознательная деятельность Человека объединятся в единую сферу, названную Вернадским ноосферой- сферой разума. Дальнейшее совместное развитие природы и общества, должно происходить таким образом, что развитие общества, использующего земные ресурсы, требует от Человека понимания своей ответственности за сохранение природы. Необходимо создание специальных структур общества, организующих это совместное согласованное развитие, как в интересах развития человечества, так и сохранения природы как необходимой среды обитания Человека. Таким образом, ноосфера это такое состояние биосферы, когда ее развитие происходит целенаправленно, когда Разум должен направлять это развитие в интересах Человека и его будущего.

Биосфера существовала до появления Человека и, если он не сможет существовать в ноосфере, то биосфера в том или ином виде будет существовать и после его исчезновения. Но человек без биосферы существовать не может. Отсюда вытекает необходимость обеспечения совместного развития Человека и природы, что требует регламентации и ограничения деятельности человечества. Эти требования не могут выполняться автоматически. Новые принципы поведения человечества требуют уже сейчас выработки новой нравственности. Переход в стадию ноосферы требует коренной перестройки нашего бытия, смену стандартов и идеалов. Способно ли человечество поставить свое развитие в ограниченные рамки - ответ даст только история.

Однако не следует пассивно наблюдать за развитием опасных тенденций и только предупреждать о грядущих последствиях. Осознание глобальной экологической опасности для человечества привело к пониманию необходимости разработки концепции устойчивого развития.

Такая концепция обсуждалась и была принята на конференции ООН в 1992 г. На ней было констатировано, что путь развития, пройденный развитыми странами, неприемлем как модель для развивающихся стран. Повторение этого пути грозит экологической катастрофой. Концепция устойчивого развития предполагает изменение подходов при решении задачи экономического развития всех стран. Эта концепция требует осуществления следующих мер:

1. Снижение материало- и энергоемкости производства и максимального сокращения отходов производства, применения токсических веществ, расширения использования возобновляемых ресурсов, включая источники энергии.
2. Включение в себестоимость продукции расходов на устранение экологического вреда, возникающего при производстве. Это будет стимулировать разработку и использование новых экологически безопасных производственных процессов.

3. Повышение продуктивности сельского хозяйства за счет экологически приемлемых способов использования удобрений и методов борьбы с вредителями.
4. Осторожное использование методов генной инженерии при создании живых организмов с целью увеличения их продуктивности.
5. Передача уже разработанных и опробованных развитыми странами новых и передовых технологий развивающимся странам.
6. Создание международной сети организаций, разрабатывающих единую глобальную стратегию устойчивого развития и обязательные для всех стран экологические стандарты, а также контролирующих их соблюдение.
7. Аккумуляция и перераспределение ресурсов в интересах всего человечества.

Существующая сейчас ситуация с биосферой Земли далека от благополучной. В принципе возможен катастрофический сценарий развития биосферы с исчезновением человечества. Особенную опасность в этом аспекте представляет потенциальная возможность применения оружия массового поражения - ядерного, химического, биологического. Но кроме решения вопроса о ликвидации запасов этого оружия человечество должно решать и проблему более экономного ведения промышленного производства с меньшей затратой энергии и природных ресурсов - воды, ископаемых. Наконец, человечество должно решить и демографическую проблему - остановить рост народонаселения на уровне, который может быть обеспечен доступными земными ресурсами без их истощения.

Выбор пути развития - за человечеством. Либо оно совместными усилиями всех стран решит эти проблемы, либо нас ждут тяжелые испытания с трагическим финалом.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ.

1. Темп эволюции Вселенной высок на начальной стадии, а затем замедлился, темп эволюции жизни на Земле наоборот ускоряется.
2. Возникновение жизни на Земле привело к формированию ею планетарных изменений - возникновение кислородной атмосферы, накопление энергетических ресурсов (уголь, нефть, газ).
3. На определенном этапе эволюции Земли возник Человек, деятельность которого со временем многократно ускорила процессы, протекающие на Земле. Природа породила в лице Человека еще один катализатор своего развития.
4. Со временем биосфера и сознательная деятельность Человека должны объединиться в единую сферу разума - ноосферу. Ноосфера - это такое состояние биосферы, когда ее развитие происходит целенаправленно под управлением Разума в интересах Человека и его будущего.
5. Развитие общества, использующего земные ресурсы, требует от Человека понимания своей ответственности за сохранение природы и осуществления соответствующих действий.

## 27 Возможность внеземной разумной жизни.

Возможно с развитием космонавтики человечество попытается осуществить заселение других планет Солнечной системы. Проанализируем реальность этого. В таблице приведены основные характеристики планет Солнечной системы. Можно разделить все планеты на две группы: планеты земной группы - ближайшие к Солнцу планеты до Марса, и планеты гиганты - остальные. Первые имеют сравнительно малые массы, высокую среднюю плотность, атмосферу (за исключением Меркурия), состоящую из углекислого газа, азота, кислорода. В этих атмосферах отсутствует водород. Он успел улечься в космическое пространство, так как при его малой массе тяготение этих планет недостаточно велико для его удержания. Планеты гиганты имеют низкую плотность, мощную атмосферу, состоящую из водорода (90 % по числу атомов, гелия 10%).

	Большая полуось орбиты в а.е.	Длит года в земных годах	Радиус в радиусах Земли	Масса в массах Земли	Средняя плотность в г/см <sup>3</sup>	Число спутников
Меркурий	0.387	0.241	0.380	0.055	5.4	0
Венера	0.723	0.615	0.950	0.815	5.2	0
Земля	1.00	1.00	1.00	1.00	5.5	1
Марс	1.523	1.881	0.532	0.108	3.95	2
Юпитер	5.202	11.862	11.18	318	1.34	28
Сатурн	9.54	29.5	9.42	95.1	0.70	30
Уран	19.2	84.0	3.84	14.5	1.58	20
Нептун	30.1	164.8	3.93	17.2	2.30	8
Плутон	39.4	247.7	0.5	0.017	0.7	1

Наиболее перспективной в отношении существования жизни планетой является Марс. Но даже здесь человечество ждет весьма большие трудности. Начнем с атмосферы. На Марсе на уровне поверхности атмосфера в 150 раз более разрежена, чем на Земле. На Земле такая плотность атмосферы наблюдается на высотах около 40 км. Марсианская атмосфера на 95% состоит из углекислого газа, остальное - азот и аргон. Содержание водяных паров составляет 0.001%. Наблюдаемые полярные шапки состоят из замершей углекислоты. Средняя температура поверхности ниже земной на 40 градусов. Но поверхность Марса в районе экватора может нагреваться до 30°C в полдень, однако температура воздуха всегда ниже нуля. Непосредственные исследования, проведенные на поверхности Марса автоматической лабораторией "Викинг" не обнаружили никаких следов органических соединений. Это дает основания считать, что жизнь на Марсе отсутствует.

Венера еще менее чем Марс, подходит для жизни. Длительность дня и ночи составляет 243 дня, а длительность года 225 дней. Это не способствует развитию жизни. Атмосфера Венеры на 97% состоит из CO<sub>2</sub>. Но давление на поверхности составляет 100 атмосфер, а температура достигает 480°C. Скорее всего такие экстремальные условия исключают возможность существования жизни. Таким образом, единственным пригодным для жизни человека местом в Солнечной системе является Земля.

Меркурий находится так близко к Солнцу, что температура на его поверхности

слишком велика для возникновения жизни.

Но может в других планетных системах имеются планеты, подходящие для жизни человека. Здесь мы пока не касаемся технической возможности достичь этих планет. Для начала следует ответить на вопрос - существуют ли еще во Вселенной планетные системы. Время от времени в научной литературе появляются сообщения о возможном существовании планет около некоторых звезд. Поскольку планеты имеют небольшую поверхность, отражающую свет звезды, непосредственное наблюдение планеты невозможно, т.к. слабосветящийся объект вблизи яркой звезды не наблюдаем. Утверждения об открытии планеты основываются на небольших смещениях в положении звезды, приписываемых возмущению движения звезды другим телом. Теоретические оценки дают долю числа звезд, обладающих планетными системами, порядка 20% для звезд типа нашего Солнца. Число галактических планетных систем, в состав которых входят планеты земного типа, исходя из числа звезд, похожих на Солнце, должно составить несколько десятков миллионов, а среднее расстояние до ближайших к нам планетных систем составит 50 световых лет. В последнее время сообщалось об открытии планетных систем у некоторых звезд по массам близким к массе Солнца. Были определены размеры этих планет. Они оказались близкими к размерам планет-гигантов Солнечной системы.

Для возникновения жизни на планете необходимо выполнение некоторых условий, которые вытекают из общих соображений: масса планеты должна быть больше нескольких сотых массы Земли (иначе не будет атмосферы), но не превышать ее более чем в 10-20 раз (если больше, то существует плотная водородно-гелиевая атмосфера). Планета должна быть достаточно близка к центральной звезде (тогда она образуется при конденсации пыли и молекулярных агрегатов, что повышает содержание тяжелых элементов; при больших расстояниях планеты содержат в основном водород и гелий). Необходимо наличие мощной гидросферы, для чего требуется, чтобы водород не улетучился, а соединился с кислородом. Это накладывает жесткое ограничение на массу планеты, ее радиус и расстояние до звезды. Мы не можем с достоверностью оценить, сколько же планет из предполагаемого числа порядка  $10^7 - 10^8$  существующих планет удовлетворяют условиям, необходимым для возникновения жизни, но, апеллируя к единственно нам известной Солнечной системе, где из 10 планет на одной возникла жизнь, примем вероятность этого события порядка единиц процентов. Тогда число планет в Галактике, где существует жизнь, насчитывает от сотен тысяч до миллиона.

Однако ниоткуда не следует, что в итоге миллиардов лет развития жизни на какой-нибудь из планет там с необходимостью возникнут разумные существа, да еще достигшие высокого научно-технического уровня. Оценить вероятность того, что возникшая жизнь станет разумной, мы не в состоянии. Все что можно сделать, это предположить, что в Галактике имеется некоторое, хотя бы и даже небольшое, количество цивилизаций, существенно продвинувшихся по пути научного и технического прогресса. Тогда естественно встает вопрос о возможности обнаружения таких цивилизаций и об установлении связи с ними. Естественным способом установления связи является использование радиоволн, так как они имеют максимальную скорость распространения и мало поглощаются и рассеиваются в космическом пространстве. Оценки показывают, что оптимальная длина волны лежит в диапазоне от 300 м до 3 см. Первые шаги состоят в попытках обнаружить сигнал искусственного происхождения, приходящий из космоса. Эти эксперименты уже выполнялись на радио-

телескопах, но никаких сигналов не обнаружено. Однако следует сказать, что выбор звезд - объектов наблюдения достаточно случаен, в основном это ближайшие звезды. Время проведения наблюдений мало, при этом использовались радиотелескопы, предназначенные для решения других задач. Следует шире развивать эти эксперименты, построить специализированный для таких задач радиотелескоп. Однако стоимость такого телескопа порядка миллиарда долларов и нет уверенности, что эта научная проблема имеет приоритет по отношению к другим.

Есть и другой способ установления связи с внеземными цивилизациями, который пока кажется фантастическим. Можно предположить, что Землю когда-либо посещали представители этих цивилизаций. Поскольку в историческую эпоху никаких таких посещений не было, их следы следует искать в легендах и мифах. Некоторые события, описанные в Библии, могут быть интерпретированы как свидетельства такого посещения. Например, обстоятельства гибели городов Содома и Гомморы весьма напоминают ядерный взрыв в описании малообразованных наблюдателей; аналогично, описание вознесения на небеса жителей Земли может соответствовать взятием людей на борт космического корабля. Однако никаких материальных следов посещений Земли представителями внеземных цивилизаций, обладающих достаточной доказательной силой, не обнаружено. В связи с этим, отметим, что те свидетельства о наблюдении НЛО, которые были подвергнуты серьезному научному анализу, находят вполне естественное объяснение.

По мнению видного астрофизика И.Шкловского утверждение о том, что разумная жизнь с достаточным развитием науки и техники существует только на Земле в пределах нашей Галактики, обосновывается не хуже, а значительно лучше, чем концепция множественности обитаемых миров. По оптимистическим прогнозам ближайшие внеземные цивилизации удалены от нас на 200-300 пс ( 650 - 1000 св.лет). Это означает, что мы практически одиноки.

Знание того, что мы, земляне, являемся единственными представителями разумной жизни в огромной части Вселенной, должно породить сознание огромной ответственности всего человечества за сохранение жизни на Земле. Нам не приходится ожидать никакой помощи со стороны других высокоразвитых космических цивилизаций. Все свои проблемы мы должны решать сами. Человечество должно прекратить варварские войны и употребить все свои интеллектуальные и материальные ресурсы на сохранение среды своего обитания на уровне, обеспечивающем разумные жизненные потребности, что, однако требует высокоразвитой промышленности, работа которой оказывает негативное влияние на среду обитания Человека.

## 28 Экологический кризис и пути его преодоления.

Хозяйственная деятельность привела к сильному ухудшению состояния среды обитания: накапливается большое количество вредных отходов производства, которые отравляют воздух, воду, почву. Этот эффект принял глобальный всепланетарный характер и опасен для всего человеческого сообщества. Перед человечеством встала задача борьбы с глобальным экологическим кризисом (ЭК). Цель этой борьбы состоит в уменьшении уровня загрязнения, вызываемого производством, до такой величины, с которым природа Земли сможет справиться самостоятельно. В настоящее время глобальный ЭК состоит из четырех основных компонентов: кислотные

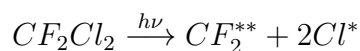
дожди, парниковый эффект, загрязнение планеты вредными веществами - отходами производства, озоновые дыры.

Кислотные дожди возникают вследствие попадания в атмосферу оксидов серы и азота. Источники  $SO_2$  - процессы сгорания каменного угля, нефти, природного газа, цветная металлургия. В результате химических реакций  $SO_2$  с атмосферной влагой образуется серная кислота. Оксиды азота образуются при работе тепловых электростанций и работе двигателей внутреннего сгорания. В атмосфере оксиды азота превращаются в азотную кислоту. Кислотные осадки вредно действуют на биосферу. Установлено, что за период наблюдений 1955-1985 гг сильно повысилась кислотность тысяч озер Европы и Северной Америки, что привело к резкому обеднению их фауны и гибели многих видов организмов. Кислотные дожди вызывают деградацию лесов - в Северной Европе от них пострадало 50% деревьев. Увеличение кислотности почв усиливает их эрозию, увеличивает подвижность токсичных металлов.

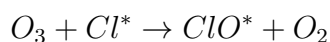
Парниковый эффект состоит в препятствовании уходу в космическое пространство теплового излучения поверхности Земли, нагреваемой Солнцем. При увеличении в атмосфере концентрации  $CO_2$  это излучение эффективно поглощается, что меняет тепловой баланс атмосферы, вызывая повышение средней температуры на Земле. Последствия состоят в повышении уровня Мирового океана за счет таяния арктического и антарктического льда, что вызовет затопление больших площадей низменных участков земной поверхности. Возможны непредсказуемые изменения климата Земли. Достоверно установлено увеличение концентрации  $CO_2$  в атмосфере на 20% за последние 100 лет. Основной источник выработки углекислого газа - тепловые станции, автомобильные двигатели, лесные пожары.

Следующий компонент ЭК - загрязнение поверхности Земли суперэкоотоксикантами, к которым относятся некоторые химические вещества (хлордиоксины, полихлорированные бифенилы, полициклические ароматические углеводороды, тяжелые металлы (ртуть, свинец, кадмий), долгоживущие радиоактивные вещества. Эти вещества попадают в окружающую среду в результате аварий на химических производствах, неполного сгорания топлива в автомобильных двигателях, неэффективной очистки сточных вод, аварий на ядерных производствах и даже от сгорания полимерных изделий в кострах на садовых участках. Суперэкоотоксиканты вызывают многочисленные болезни, аллергии, повышенную смертность, нарушения генетического аппарата человека и растений.

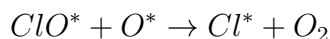
Озоновый слой защищает человека от опасного ультрафиолетового излучения Солнца (240-300 нм). Слой располагается на высоте от 20 до 30 км. Наблюдения за концентрацией озона в этом слое ведутся в течение последних 20 лет и показывают ее существенное локальное понижение (до 50% от исходной). Такие места, называемые "озоновыми дырами" в основном обнаруживаются над Антарктидой. Причина возникновения этой аномалии достоверно не установлена, хотя в массовой прессе и учебной литературе этот эффект приписывается фреону, используемому как хладагент, при производстве аэрозолей в баллончиках, средств пожаротушения. Суть этого процесса состоит в следующем: попав в верхние слои атмосферы, фреон под действием света разрушается с образованием свободных атомов хлора по реакции



Далее атомы хлора интенсивно взаимодействуют с озоном по реакции



и регенерируются по реакции



Таким образом, один атом хлора может разрушить не менее 10 тысяч молекул озона. Однако эта теория никак не может объяснить того факта, что основная доля фреона попадает в атмосферу в Европе и США, а эффект проявляется в Антарктиде. Другая гипотеза появления озоновых дыр считает, что эффект взаимодействия озона с потоками водорода и метана, поступающими в атмосферу через разломы земной коры: координаты этих разломов коррелируют с координатами озоновых дыр.

Мы видим, что антропогенное вмешательство в природные процессы представляет опасность для жизни на Земле, т.е. вызывает глобальный ЭК. Может ли быть он преодолен? Да, может, но при условии грандиозных усилий всего человечества. Основная сложность проблемы заключается в том, что развитие цивилизации неминуемо влечет загрязнение среды обитания.

Развитие цивилизации предполагает рост промышленного и сельскохозяйственного производства, значительный рост энерговооруженности человечества. Из 5.5 млрд населения Земли лишь один миллиард живет в благополучных условиях, следовательно, для того, что бы все население достигло этого уровня, производство должно вырасти в 5 раз. В дальнейшем ожидаемый уровень стабилизации численности населения Земли ожидается около 12-13 миллиардов к середине 21 века, что еще более усугубляет эту проблему.

Однако организация полностью безотходных производств невозможна. Чем выше степень сокращения загрязнения, тем выше затраты на реализацию безопасного производства, так что полностью безотходное производство будет давать продукцию по бесконечно высокой цене.

Развитие энергетики также порождает экологические проблемы. Использование ископаемого топлива, особенно угля, приводит к загрязнению атмосферы и поверхности Земли. Использование экологически чистых источников энергии как то ветра, Солнца, приливов не спасает. Что бы развернуть масштабное использование, например энергии ветра, необходимо увеличить производство алюминия для постройки ветряков, а это производство одно из наиболее экологически грязных. Далее, нужно выделить огромные площади Земли для установки этих агрегатов и, наконец, нарушить установившуюся циркуляцию тепла и влаги в атмосфере, вызываемую ветрами. Аналогичные проблемы возникнут и при попытке использовать солнечную и другие виды природной энергии.

Создание экологически чистого транспорта на основе электромоторов также иллюзия, так как источником энергии должны быть свинцовые или кадмиевые аккумуляторы, содержащие весьма экологически вредные металлы, производство и утилизацию которых придется увеличивать. Добившись решения экологической проблемы в одной отрасли хозяйства, мы многократно увеличим ее в другой.

Для обеспечения питанием 12-13 миллиардов человек необходимо при имеющихся площадях пахотных земель добиться урожайности 70-80 ц/га. Это требует использования такого количества химических удобрений и средств защиты растений, которое



эквивалентно производству 1 миллиарда тонн соединений со связанными азотом и фосфором. Это означает необходимость развертывания крупномасштабного химического производства, которое не может быть полностью экологически чистым.

Все большая доля населения сосредотачивается в мегаполисах, что порождает проблему утилизации отходов. Мусороперерабатывающие заводы дают экологически вредные газовые отходы.

Итак, развитие цивилизации неминуемо приводит к появлению сложных экологических проблем, пути решения которых не найдены и во всяком случае весьма дорогостоящи. В этой ситуации звучат предложения к возврату к патриархальному быту середины XIX века, сопряженному со сворачиванием промышленного производства. Но нельзя забывать, что тогда численность человечества была в три раза меньше сегодняшней, средняя продолжительность жизни составляла 30 лет. Вряд ли человечество согласится с такими предложениями.

Рассмотрим распределение доли общего загрязнения по отраслям промышленности для России и США.

Таблица. Доля общего загрязнения по отраслям промышленности.

Отрасль промышленности	Россия	США
Электроэнергетика	32	14
Транспорт	26	60
Металлургия	20	17
Химическая промышленность	5	
Производство нефти	5	
Производство бумаги	2	
Переработка и уничтожение отходов	?	
		9

Анализ таблицы показывает, что общее мнение о химической промышленности, как о главном источнике загрязнения неверно. Основной вклад в загрязнение вносят энергетика и транспорт, при этом доля транспорта в России будет возрастать, об этом говорит опыт США. Уже сейчас расходы на природоохранные мероприятия составляют заметную долю капитальных расходов при строительстве предприятий. В следующей таблице приведены данные для России.

Таблица. Доля расходов на природоохранные мероприятия в России

Отрасль промышленности	%
Металлургия	17
Энергетика	17
Химическая промышленность	15-30 в зависимости от типа производства
Машиностроение	5

Каковы же причины загрязнения среды, лежащие вне собственно сферы производства.

*Экономические причины.* Высокая стоимость очистных сооружений и других природоохранных мер, достигающая до трети капиталовложений, является причиной отказа от них.

*Научно-технические причины.* Важно понимать, что основная часть потока загрязнений обусловлена не злым умыслом хозяйственников, стремящихся к максимальной прибыли, а объективно существующими научно-техническими проблемами. Лишь малая часть химических процессов идет со 100% выходом; как правило, образуется целая гамма побочных продуктов, полная утилизация которых невозможна. Пример, 60% всех газообразных загрязнений атмосферы в России составляют органические вещества: пары растворителей, горюче-смазочных материалов и угарный газ.

Наиболее эффективный способ их удаления - сжигание. Но этот процесс возможен только при совместном сжигании паров вместе с основным топливом: газом, мазутом, углем. Для этого необходимо, чтобы источник паров находился рядом с котельной, но это бывает редко. Разработан способ, при котором вентиляционные выбросы проходят через алюмоплатиновый катализатор, где сгорают в атмосфере постоянно горящего природного газа. Очевидно, что реализация этого способа требует достаточных финансовых вложений, а это увеличивает стоимость продукции.

Причина кислотных дождей сернистый газ  $SO_2$  образуется при обжиге сульфидных руд цветных металлов. Рекомендуется окислять его до серного ангидрида  $SO_3$  с последующим получением серной кислоты. Однако эффективное окисление возможно лишь при достаточной концентрации  $SO_2$  и при отсутствии в нем отравляющих примесей. Эти требования не выполняются для газовых выбросов в цветной металлургии. Эффективного способа осуществления этого процесса не найдено до сих пор. Значительная часть сернистого газа через высокие дымовые трубы поступает в атмосферу и распределяется с атмосферными потоками по большой территории.

Выхлопные газы автомобиля могут быть эффективно очищены от вредных примесей при использовании катализаторов. Стоимость этого устройства достигает 10-15% стоимости автомобиля. В развитых странах они используются. Но в России этот способ неприменим, так как мы используем бензин, содержащий тетраэтилсвинец, дающий при сгорании экологически вредные соединения свинца, отравляющие рассматриваемый катализатор. Полный отказ от этилированного бензина потребует от России гигантских затрат, но это совершенно необходимо сделать в ближайшие годы.

Огромная проблема связана с утилизацией накопленного химического оружия. Но безопасный метод их ликвидации не удается пока разработать.

Число подобных примеров можно умножить, однако и так ясно, сколь важно развитие науки, техники и технологии в решении проблемы глобального ЭК.

*Низкий уровень знаний.* В наше время существование людей, имеющих право принимать ответственные технические решения, но не обладающих соответствующим уровнем знаний, социально опасно для общества. Яркий пример - катастрофа продуктопровода, перекачивающего с северных месторождений фракцию легких углеводородов, способных в случае утечки образовывать взрывоопасную смесь. Меры безопасности для такого продуктопровода совершенно отличаются от требований к нефте- и газопроводам. Этих знаний не оказалось у проектировщиков и строителей, имевших большой опыт строительства нефте- и газопроводов.

*Низкий уровень культуры и нравственности.*

Для сохранения природы совершенно необходимо, чтобы каждый человек сознавал свою ответственность за действия, наносящие вред природе. Но все мы видим как в чистый водоем ставится автомобиль для мытья, как жгут в автохозяйствах старые

покрышки, как после посева на полях валяются мешки с остатками удобрений, как засоряются бытовым мусором наши леса.

Каковы же пути преодоления глобального ЭК? Первое что необходимо - добиться понимания каждым жителем нашей планеты того, что экологическая угроза исходит не от человечества вообще, а от него лично также. Для этого необходимо экологическое просвещение всего общества. Следующий шаг - создание эффективного экологического законодательства, причем как национального, так и международного.

Необходимо надлежащее финансирование природоохранных мероприятий, без которого невозможно решение проблемы. Охрана Земли от загрязнений - дело дорогое, но необходимое; бюджеты всех уровней, включая личный, должны планировать эти расходы.

Экологический кризис является наибольшей опасностью, стоящей сейчас перед человечеством. У жителей Земли нет альтернативы: либо они справятся с загрязнением, либо загрязнение расправится с большей частью человечества.

## Основные выводы.

1. Темпы эволюции Вселенной были высоки на начальной стадии, а затем замедлились. Темпы эволюции жизни на Земле постоянно ускоряются.
2. Образование Земли и возникновение жизни на Земле по космическим масштабам произошли почти одновременно (4.- 4.5 и 3.5-3.8 млрд лет тому назад)
3. Явление жизни определило процесс эволюции Земли за счет способности живой природы перерабатывать солнечную энергию.
4. Деятельность Человека многократно ускорила течение процесса эволюции на Земле.
5. Ноосфера - состояние биосферы, когда ее развитие происходит целенаправленно под управлением разума.
6. Дальнейшее развитие биосферы в приемлемом для человечества направлении зависит от его способности преодолеть негативные последствия производства материальных благ.

## 29 Как возникла наша Вселенная и является ли она единственной.

Общая теория относительности, созданная Эйнштейном, и модель эволюции нашей Вселенной, развитая Фридманом на основе этой теории, дали возможность построить так называемую стандартную космологическую модель, которая объясняет многие свойства Вселенной, описывает ее эволюцию в прошлом и предсказывает возможные пути ее дальнейшей эволюции в будущем. Эта модель является одним из наиболее фундаментальных достижений науки.

Однако несмотря на все достижения этой модели, возникают вопросы ответить на которые модель не в состоянии. Среди таких вопросов наиболее важными являются следующие:

1. Почему возник Большой взрыв, в результате которого и возникла наша Вселенная? Какие физические процессы вызвали этот взрыв? Откуда взялась та громадная энергия, которая затем преобразовалась в массу частиц и их энергию?

2. Каким образом установилась во всей Вселенной одна и та же температура реликтового излучения? Проблема здесь состоит в следующем: выравнивание температур во всем объеме, занятым каким то веществом происходит в результате взаимодействия атомов этого вещества друг с другом. Этот процесс требует некоторого времени. Например, если мы поддерживаем постоянной температуру одного конца длинного стержня, то это время не может быть меньше, чем время необходимое быстрому атому для того, чтобы пройти от горячего конца стержня до холодного. В нашей Вселенной есть области настолько удаленные друг от друга, что за время их существования свет от одной области не мог достичь другой. Скорость света максимальная скорость и никакой процесс не может распространяться в среде с большей скоростью. Поэтому непонятно какой физический процесс выровнял температуру реликтового излучения этих областей ?

3. Каким образом первичное вещество разбилось на отдельные области, из которых затем сформировались галактики.

4. Мы выяснили, что многие физические константы имеют те значения, которые позволяют возникнуть на Земле биологической жизни. Изменение этих констант всего на несколько процентов сделало бы невозможным возникновение жизни и даже химических элементов. Какой процесс позволил установить значения мировых констант, необходимые для возникновения жизни?

Все эти вопросы являются передовой областью исследования современной космологии. Многие утверждения, содержащиеся в этих теориях, могут быть изменены и отвергнуты при дальнейшем развитии этой области исследования.

Разработка этих теорий сталкивается с тем, что необходимо описать эволюцию вещества в первые мгновения существования Вселенной. Вещество в это время находится в состоянии большой плотности и высоких температур. Такое состояние не может быть получено в лабораторных условиях, не существует и в космических объектах. Поэтому свойства такого состояния вещества могут быть изучены только теоретически, но на этом пути существует проблема, состоящая в том, что мы не уверены действуют ли при таких условиях известные нам физические законы или они меняются кардинальным образом. Это приводит к использованию гипотез при построении теории, правильность которых должна проверяться при проверке предсказаний, сделанных теорией, на эксперименте. Беда в том, что эти теории часто не дают предсказаний, которые могут проверены доступными экспериментальными методами.

Далее будут изложена наиболее признанная в настоящее время картина возникновения Вселенной. Невозможно в рамках данного курса достаточно полно изложить процессы, протекавшие при этом, поэтому часто объяснений почему справедливо то или другое утверждение не будет. Задача состоит в том, чтобы изложить основные положения этих теорий.

Итак, считается, что все пространство заполнено некими частицами, которые являются виртуальными, т.е. появляются на короткое время и исчезают. Энергия, всего

этого пространства, измеряемая за большой промежуток времени равна нулю. Однако в любой точке пространства за счет рождения виртуальных частиц энергия некоторого малого объема на короткое время может отличаться от нуля. Этот процесс называется квантовыми флуктуациями. Считается, что наша Вселенная родилась тогда, когда возникла квантовая флуктуация с громадной плотностью энергии, которая составила в пересчете на массу (по соотношению  $E = mc^2$ )  $\rho \sim 10^{93} \text{ г/см}^3$ .

Это вещество было нагрето до температуры  $\sim 10^{32} \text{ К}$ . Далее этот объем начал расширяться, при этом скорость расширения была такой, что температура вещества успевала выравниваться до одного значения во всем объеме. Такое протекание расширения объясняет постоянство температуры реликтового излучения во всех точках нашей Вселенной.

Процесс расширения описывается одним из решений уравнений общей теории относительности. Весь процесс расширения происходил очень короткий интервал времени от  $\sim 10^{-36}$  до  $\sim 10^{-32} \text{ сек}$ . За это время первичная флуктуация расширилась более, чем  $\sim 10^{30}$  раз и материя распределилась по громадному объему, занимаемому нашей. Этот процесс получил название инфляционного расширения. С момента окончания этого расширения начал действовать сценарий эволюции Вселенной, описываемый моделью Фридмана, которая была рассмотрена ранее. Таким образом новая модель эволюции Вселенной состоит из инфляционной стадии и стандартного фридмановского расширения. Можно сказать, что в новой модели Большой взрыв произошел на  $\sim 10^{-36} \text{ сек}$  ранее, чем в модели Фридмана. Но за этот ничтожный по нашим понятиям отрезок времени наша Вселенная прошла важные стадии эволюции.

Итак, наша Вселенная родилась в состоянии, в котором вещество имело колоссальные плотность и температуру, т.е. количество энергии, состоявшей из массы покоя всего вещества и его кинетической энергии, было громадно. И тут резонно задать вопрос: если в начале всего энергия пространства, в котором родилась Вселенная равнялась нулю, а во вновь рожденной Вселенной содержится громадное количество энергии, то произошло нарушение одного из самых фундаментальных законов природы - закона сохранения энергии.

Однако никакого нарушения этого закона нет. Мы не учли в нашем рассуждении гравитационную энергию, содержащуюся в нашей Вселенной. Чтобы понять роль этой энергии, рассмотрим следующий пример. Пусть на поверхности массивного тела (например, Земли, Солнца) покоится тело с массой  $m$ . Его энергия покоя равна  $mc^2$ . Для того, чтобы это тело переместить в область пространства, где нет гравитации, вызываемой массивным телом, необходимо совершить некоторую работу, или затратить энергию. Таким образом полная энергия тела  $E$  состоит из суммы его энергии покоя  $mc^2$  и гравитационной энергии  $E_g$ , при этом в сумму эти энергии входят с разными знаками:  $E = mc^2 - E_g$ . Значение полной энергии может в частности обратиться в нуль. Считается, что в процессе образования Вселенной вклад гравитационной энергии таков, что полная энергия Вселенной равна нулю и нарушения закона сохранения энергии не происходит.

Инфляционная космологическая сделала важное предсказание состоящее в том, что температура реликтового излучения одинакова во всех точках с точностью до малых отклонений, составляющих  $\sim (10^{-5})^\circ \text{К}$ . Эти неоднородности температуры действительно были обнаружены в экспериментальных исследованиях и составили предсказанную величину. Эта же теория предсказывает, что к моменту окончания инфляционной стадии вещество распределено по объему Вселенной равномерно с

малыми флуктуациями плотности в малых участках пространства. Области с повышенной плотностью материи явились зародышами галактик. Эти области за счет повышенной гравитации собирали из окружающего пространства вещество, из которого затем образовались звезды. Теория предсказывает характеристики распределения галактик по объему Вселенной, которые подтверждаются экспериментальными данными.

Таким образом, современная космологическая модель смогла объяснить механизм возникновения некоторых свойств нашей Вселенной. Доверие к этой теории покоится на экспериментальном подтверждении предсказаний, сделанных этой теорией.

С точки зрения этой теории не имеет смысла вопрос, почему наша Вселенная возникла именно 13.7 миллиарда лет тому назад. В этой теории возникновение Вселенной вызвано рождением флуктуации некоторого поля. Эти флуктуации возникают и исчезают постоянно. Если величина флуктуации очень велика, могут развиваться процессы, приводящие к возникновению Вселенной. Отсюда следует вывод, что рождение нашей Вселенной не является каким-то уникальным событием. Постоянно рождаются другие Вселенные. И тогда возникает вопрос - где же они эти другие Вселенные, почему мы не видим их.

Во-первых, мы можем наблюдать объекты, которые удалены от нас на расстояние не большее, чем то, которое свет прошел за время существования нашей Вселенной, т.е. 13.7 миллиардов световых лет. Инфляционная модель предсказывает, что размеры нашей Вселенной существенно больше этой величины, а эти другие Вселенные находятся вне нашей Вселенной. Во-вторых, общая теории относительности показывает, что наблюдателя, расположенного в нашей Вселенной, процесс возникновения и эволюции другой Вселенной длится исчезающе малое время. Миллиарды лет эволюции ой для стороннего наблюдателя длятся мгновения.

Современная наука утверждает, что наша Вселенная одна из бесчисленного множества Вселенных, существующих в некотором пространстве. Все эти Вселенные существуют, не взаимодействуя друг с другом. Принципиально невозможно установить связь с другой Вселенной, а, следовательно, невозможно подтвердить ее существование. Раз это так, то существование других Вселенных никак не сказывается на процессах, происходящих в нашей Вселенной. Тогда можно считать, что все эти утверждения о множественности Вселенных имеют только академический интерес. Но это не так.

Предсказание существования многих Вселенных позволяет ответить на вопрос о том, почему основные физические константы имеют именно такие значения, что позволяют возникнуть разумной жизни по крайней мере на Земле. Ответ состоит в том, что в каждой Вселенной реализуются свои физические законы со своим набором значений фундаментальных констант. Если эти законы и значения таковы, что жизнь может возникнуть - она может появиться. Если же нет, то в этой Вселенной жизнь никогда не возникнет.

Нам повезло. Случайно в нашей Вселенной реализовались условия, допускающие возникновение жизни и она возникла. Размышлять, почему масса протона и нейтрона отличаются не больше, чем это необходимо для возникновения жизни, мало продуктивно. Это произошло случайно и могло реализоваться другое соотношение между этими массами. Но тогда не было бы субъекта, размышляющего над этими проблемами.

В заключение еще раз скажем, что изложенная картина построена на основании

теорий, часто построенных на экстраполяции наших данных в области состояний вещества, которые невозможно изучать экспериментально. Эти теории построены на смелых гипотезах. Многие еще предстоит сделать и многие выводы и предсказания претерпят изменения. Однако изложенная история возникновения нашей Вселенной является наиболее признанной в современной космологии.