

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ
(ТУСУР)**

Кафедра радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга
(РЭТЭМ)

УТВЕРЖДАЮ

Зав.кафедрой РЭТЭМ

_____ В.И.Туев

«___» _____ 2012г.

Г.Ф. Карлова, Смирнов Г.В.

**Концепции современного естествознания
(Курс лекций)**

Учебно-методическое пособие для студентов
всех форм обучения

Томск 2012

Карлова Г.Ф., Смирнов Г.В.

Концепции современного естествознания: учебное пособие / Г.Ф. Карлова, Г.В. Смирнов – Томск: ТУСУР, 2011. – 182 с.

© Карлова Г.Ф., Смирнов Г.В. 2012

© ТУСУР, 2012

ОГЛАВЛЕНИЕ

Лекция 1 Интегрированный взгляд на мир в рамках междисциплинарного курса «Концепции современного естествознания»	4
Лекция 2 Основные экологические проблемы	8
Лекция 3 Методы научного познания.....	19
Лекция 4 История естествознания (VI в. до н.э.– XV в. н.э.)	28
Лекция 5 История естествознания (XV в. –XX в.)	35
Лекция 6 Квантовая механика.....	46
Лекция 7 Теория относительности А. Эйнштейна.....	52
Лекция 8 Теория относительности и кривизна пространства	63
Лекция 9 Фундаментальные взаимодействия в физике	68
Лекция 10 Электромагнитные взаимодействия. Часть 1. Электростатика.	78
Лекция 11 Электромагнитные взаимодействия. Часть 2. Электромагнитная индукция М. Фарадея и электромагнитные волны Дж. Максвелла	88
Лекция 12 Сильные взаимодействия	98
Лекция 13 Слабые взаимодействия.....	108
Лекция 14 Предмет и задачи химической науки.....	118
Лекция 15 Строение земного шара	127
Лекция 16 Космология.....	134
Лекция 17 Термодинамика равновесных процессов.....	148
Лекция 18 Термодинамика неравновесных процессов	154
Лекция 19 Особенности развития жизни на Земле	160
Лекция 20 Теории происхождения жизни на Земле. Сохранение жизни на планете.....	166
Лекция 21 Генетика.....	174
Лекция 22 Биоэтика и поведение человека.....	178
Лекция 23 Интеграция естественных и гуманитарных наук	183

Лекция 1

Интегрированный взгляд на мир в рамках междисциплинарного курса «Концепции современного естествознания»

В настоящее время в научную деятельность вовлечены или как-то с ней связаны миллионы людей. Наука является частью культуры. Культура (от латинского cultura - возделывание, воспитание, образование, развитие) – исторически определённый уровень развития общества, творческих сил и способностей человека, выраженный в типах и формах организации жизни и деятельности людей, а также в создаваемых ими материальных и духовных ценностях.

Каждый исторический этап характеризуется определённым уровнем развития культуры. Различают культуру античную, средневековую, капиталистическую. Век XIX и особенно XX и XXI века отмечены быстрым ростом точных и естественных наук, всё более масштабным технологическим применением достижений естествознания. Влияние науки растёт во всех сферах жизни: на производстве, в технике, в быту, военном деле, экономике и т.д. Наука позволила человеку проникнуть в космос, создать скоростные средства перемещения, радио, телевидение, компьютеры, излечить от многих, ранее неизлечимых болезней, сделать жизнь комфортней и разнообразней. Но, с другой стороны, наукой порождены различные виды смертоносного оружия колоссальной разрушительной силы, в значительной мере разрушена и продолжает разрушаться среда нашего обитания. Таким образом, накопление знаний о природе принесло с собой не только позитивные результаты.

Уже к середине XX века человеческая культура стала утрачивать свою универсальность, в ней обозначились естественно-научная и гуманитарная составляющие. На практике это привело к тому, что принимаемые государственно-политические, социально-экономические и производственно-технологические решения всё чаще в должной мере не учитывали либо природных, либо социальных последствий. Есть основания говорить о том, что обособление естественно-научной и гуманитарной культур стало одной из причин как антропогенных катастроф XX и XXI столетий, так и обострения глобальных проблем современности.

Если мы зададимся вопросом, каков критерий ценности знаний, навыков и любой разумной деятельности человека сейчас, то ответ будет один: выгода, причём экономическая, а не эволюционная. Человечество, образно говоря, живёт в одном сценарии развития общества – экономическом. Науки моделируют различные экономически выгодные версии управления покорённой природой и не изучают её естественное состояние или её естественные эволюционные воз-

возможности. Поэтому естествознание в XXI веке далеко от понимания новых процессов окружающего мира.

В последнее время общественность обеспокоена ростом количества, разнообразия и интенсивности природных катаклизмов. К многочисленным природным наводнениям, пожарам и землетрясениям добавляются технические авиа- и автокатастрофы с большим числом человеческих жертв. Вместе с этим резко меняются климатические условия. С шестидесятых годов XX в. такие процессы стали особенно заметны. Для учёных это не стало неожиданностью. В 60-х – 70-х годах XX века благодаря полётам американских космических зондов «Пионер-1», «Пионер-2», «Вояджер-1», «Вояджер-2» и российского космического зонда «Галилей» было обнаружено столь значительное увеличение вещества и энергии в межпланетных полостях, что вопрос о причинах катастрофических земных процессов как бы отпал сам собой. Тогда же стало ясно, что погода и климат на Земле определяются поведением магнитного и электрического полей, которыми наша планета связана с внешней средой – Солнцем, Юпитером, другими планетами и межпланетным пространством. К подобной подстройке относится и начавшаяся в середине XX века переполюсовка магнитного поля Земли. Этот процесс неизбежно будет сопровождаться крупными климатическими преобразованиями. Информационно-энергетическая связь между планетами и Солнцем обусловлена как состоянием пространства между планетами, так и состоянием самих планет. В случае Земли это антропогенная активность (деятельность человека). Именно в XX веке техногенная мощь вышла на планетарный масштаб и поэтому стала определяющим воздействующим фактором. Основными энергоёмкими видами человеческой деятельности являются ресурсодобыча, энерговыработка, ядерные взрывы, ракетные пуски. Назовём только некоторые факты: повышение глобальной температуры, бурное развитие и распространение растительности в Арктике и Антарктике, уменьшение периметра льдов Гренландии и на Алтае. Следствием происходящих энергетических процессов является изменение влагооборота (где-то сушит, где-то заливает), возрастание сейсмичности и т.д. Уже в академических работах в связи с интенсивным нарастанием вероятности глобальной земной катастрофы утверждается тезис о необходимости переключения системных интересов людей от вещественно – материальных к нравственно – духовным.

Необходимым, хотя и недостаточным средством преодоления тенденции к дезинтеграции человеческой культуры является введение гуманитарного образования будущих специалистов в области естественных и технических наук и естественно-научного образования студентов социально-гуманитарных дисциплин. В связи с этим и введён в государственный образовательный стандарт новый предмет «Концепции современного естествознания». Для введения новой

дисциплины существуют, с одной стороны, общекультурные основания. С другой стороны, в пользу новой дисциплины говорит и логика развития всего комплекса социально-гуманитарных наук: в последние десятилетия в них стали всё более энергично проникать методы, идеи, модели, концептуальные подходы, характерные для естествознания.

Курс «Концепции современного естествознания» является не конкретно-научным или философским (учебников с такими подходами много), а мета-научным (от греческого слова *meta* - после, за). Мета-наука есть осмысление науки, то есть необходимо понять сущность основных концепций естествознания, позволяющих людям объяснять самые загадочные явления природы, рассмотреть их исторически и понять, почему создаются новые теории, основания которых иные, чем у устаревших концепций.

Слово естествознание представляет собой сочетание слов естество (природа) и знание. В своём познании природы человечество, начиная с самых первых его шагов, прошло через три стадии и вступило в четвёртую [1].

I. Первой в истории человечества формой существования естествознания была натурфилософия или философия Природы. Она характеризовалась чисто умозрительным представлением природного мира, рассматриваемого в целостности, поэтому эта стадия называется *синкретической* (от греческого *synkretismos* – соединение). Натурфилософии отводилась роль науки наук, ибо она являла собой вместилище всех человеческих знаний об окружающем мире. Это период с VI в. до н. э. по XI-XV в. нашей эры, когда стали формироваться зачатки естественных наук.

II стадия носит название *аналитической* (XV - XIX в.), когда из натурфилософии стали выделяться отдельные естественные науки. III стадия - *синтетическая* (конец XIX – начало XX века), когда воссоздавалась общая картина мира из отдельных наук, и IV стадия – *интегро-дифференциальная* (с конца XX века и до настоящего времени), когда, с одной стороны, возникают новые естественные науки, а на стыке наук возникают интегральные науки (например, биохимия, биофизика, палеогеография и т.д.).

Естественных наук, изучающих явления и законы природы, в настоящее время насчитывается более 2000, границы между ними весьма условны. Но основными и самостоятельными разделами науки о Природе являются физика, химия и биология. Между отдельными науками существует преемственность. Физика – основа космологии, физика и космология – основа химии; химия – основа биологии, физика, химия и космология – основа геологии.

Начиная с XVI в., характер научного процесса существенно меняется. Наблюдаются переломные этапы, когда радикально менялось прежнее видение мира. Они получили название научных революций.

История науки знает немало выдающихся исследователей отдельных направлений естествознания, но значительно более редко встречались учёные, которые своей мыслью охватывали все знания о природе и пытались дать их синтез. В XV и начале XVI в. это был Леонардо да Винчи (1452-1519), в XVI в. - М. Ломоносов (1711-1765) и Жорж Луи Бюффон, в XVI – XIX - А. Гумбольдт (1769-1859). В нашей культуре почва для переосмысления достижений в гуманитарной, технической и естественно - научной областях была подготовлена работой русских «космистов»: Н. Ф. Фёдорова, В. Н. Сукачёва, Н. В. Тимофеева-Ресовского, В. И. Вернадского, А. А. Богданова, А. Л. Чижевского. Именно в их работах зародилась мысль о неизбежном противоречии между природой и разумом, если разум ставится над ней и призывает к покорению природы для своего сиюминутного блага. Совершенствование нравственных начал необходимо было для преодоления этого противоречия.

Курс «Концепции современного естествознания» введён во многие специальности гуманитарного профиля сравнительно недавно. Цель его – сделать выпускников более разносторонними, способными разбираться в фундаментальных проблемах естественных наук. Актуальность его изучения обусловлена необходимостью:

1) любого образованного человека иметь представление о современных достижениях человечества в области естественных наук для формирования научного мировоззрения и адекватного восприятия окружающего мира;

2) понимания смены языка описания природных процессов по мере развития науки;

3) аргументированного опровержения различного рода иррациональных видов знания, таких, например, как астрология, магия, мистические учения, так как постепенно и достаточно последовательно они вытесняют из общественного сознания естественно-научную картину мира, основанную на рациональных способах его объяснения;

4) системного подхода для принятия грамотных управленческих решений, не наносящих ущерба природе;

5) понимания роли культурно-исторических условий, в рамках которых формировались эти науки;

6) знания экологического состояния нашей планеты, причин, поставивших человечество на грань экологической катастрофы, и путей их предотвращения и устранения.

Лекция 2

Основные экологические проблемы

Тревогу за нашу Землю, за существование на ней различных форм жизни вызывают следующие глобальные экологические проблемы.

1. **Разрушение озонового слоя.** Жизнь на Земле сохраняется потому, что вокруг планеты образовался озоновый экран, защищающий биосферу от смертоносных ультрафиолетовых (УФ) лучей. Основная масса озона в атмосфере расположена в виде слоя - озоносферы – на высоте от 10 до 50 км с максимумом концентрации на высоте 20-25 км. Озоносфера ослабляет УФ-В с длиной волны $\lambda=280-315$ нм и полностью поглощает жёсткое ультрафиолетовое излучение с $\lambda < 280$ нм.

Средняя концентрация озона в стратосфере составляет приблизительно 0,0003%. Толщина озонового слоя составляет всего 2-4 мм над всей поверхностью Земли, хотя и колеблется в разных географических областях. Колебания концентрации озона даже до 30 % в одном и том же месте считаются нормальными. Колебания среднего уровня могут достигать 10 % и обусловлены, вероятно, естественными флуктуациями содержания озона. Но в последние десятилетия отмечено снижение содержания озона в защитном слое.

Разрушение озонового экрана обнаруживалось каждой весной над Антарктидой с 1975 года. Позже над Северным полюсом было также замечено сокращение озонового столба на 10 %, а над Антарктидой – на 40 % (озоновый столб – это количество озона, через которое ультрафиолетовые лучи должны пройти из верхних слоёв атмосферы до поверхности Земли в данном пункте). В защитном озоновом слое появились «дыры» (разрывы озоносферы). Впервые озоновая дыра была обнаружена в 1985 г. английским исследователем Дж. Фарманом над Антарктидой.

Уменьшение количества озона в результате деятельности человека может оказать вредное влияние на здоровье людей и климат Земли. По оценкам американских учёных каждое уменьшение озонового столба на 1% приводит к 2% - ному усилению ультрафиолетовой радиации и учащению случаев заболевания раком кожи на 2,5%, к появлению 150 000 дополнительных случаев слепоты из-за катаракты, увеличению числа болезней, вызванных ослаблением иммунной системы. Ультрафиолетовая радиация крайне вредна для планктона (мальков, креветок, крабов, водорослей на поверхности океана).

Причины появления «озоновых дыр» различны. Возможно, это связано с естественными циклами в природе, на которые раньше не обращали внимания. Первоначально основной причиной считали разрушительное воздействие на

озоновый слой сверхзвуковых транспортных самолётов, летающих выше 12 км, которые загрязняют стратосферу водой и оксидами азота, способными разрушать озон. Но высокая стоимость таких полётов настолько замедлила развитие сверхзвуковых перевозок, что теперь они не представляют существенной угрозы для озонового экрана.

Однако в одном учёные сходятся: фреоны (хлорфторуглеводороды) способствуют разрушению озонового слоя. Фреоны – это газы, не вступающие у поверхности Земли ни в какие химические реакции, кипящие при комнатной температуре, а потому резко увеличивающие свой объём, что делает их хорошими распылителями. Они широко использовались в качестве аэрозолей, хладагентов и растворителей.

Производство хлорфторуглеводородов в мире было очень высоко (около 800-900 тысяч тонн в год только в различных распылителях и холодильниках); половину всего количества производили США. Ядерные взрывы также высвобождают оксиды азота, разрушающие озон. Выхлопные газы автомобилей и удобрения в почве – тоже источники оксидов азота. Известно, что бром в виде метилбромида (CH_3Br), широко используемый в сельском хозяйстве, также может разрушать озон. Сколько его улетучивается в атмосферу, пока неизвестно. Предполагают, что большие количества таких промышленных химикатов как четырёххлористый углерод (CCl_4) и метилхлороформ (CH_3Cl), могут выделять большие количества хлора. Известно, что один атом хлора может разбить 100 000 молекул озона за время пребывания в атмосфере. Время же пребывания в атмосфере уже попавших туда фреонов оценивается в 400 лет.

Как только была обнаружена озоновая дыра, в 1985 г. была проведена первая конференция в Вене, на которой принята Венская конвенция об охране озонового слоя, запрещающая производство агрессивных по отношению к озоновой оболочке фреонов. 16 сентября 1987 г. она была дополнена Монреальским протоколом (именно этот день стал днём защиты озонового слоя). Протокол и поправки к нему были приняты далее в Лондоне (1990 г.) и в Копенгагене (1992 г.). Принятые меры предотвратили ухудшение ситуации, *озоновая дыра стала затягиваться.*

Кислотные дожди. Другим видом загрязнения атмосферы, не признающим государственных границ, являются оксиды серы и азота. Оксиды серы и азота в атмосфере - основная причина кислотных дождей. Оксиды серы и азота поступают в воздух при сжигании ископаемых видов топлива, содержащих серу. Первое место среди них занимает каменный уголь (до 90%), на втором месте – нефть, значительно уступает им газ. Оксиды азота также образуются при

сжигании топлива, а дополнительным крупным их источником является автомобильный транспорт.

В 1983 году тепловые электростанции при сжигании угля и нефти выбросили в атмосферу 16,8 млн. тонн серы или 87% всех оксидов серы, выброшенных в том же году. При сжигании угля и нефти образуются два кислородных соединения серы: двуокись и трёхокись серы (SO_2 и SO_3). В атмосфере SO_2 окисляется до SO_3 . Трёхокись серы реагирует с водяным паром, образуя серную кислоту.

Количество содержащихся в городском воздухе твёрдых частиц сульфатов и капелек серной кислоты может достигать 20 %. Ветер разносит эти загрязнения за сотни километров от места их выброса, образуются туманы и смоги. Оксиды азота окисляются в воздухе до диоксидов, которые тоже растворяются в капельках воды, образуя азотную кислоту.

Эти две кислоты (серная H_2SO_4 и азотная HNO_3), а также их соли и обуславливают выпадение кислотных дождей. На растения, почву и воду выпадают также сухие частицы в виде солей.

Подкисленные воды лучше растворяют различные минералы. Ртуть, содержащаяся в природных водоёмах, в кислой среде может превратиться в ядовитую монометилую ртуть. Подкисление воды в источниках водоснабжения могут приводить к растворению в трубах токсичных металлов и попаданию их в питьевую воду. Так в одном из районов Нью-Йорка подкисленная питьевая вода, простоявшая в трубах целую ночь, растворила свинец; и его содержание превысило все допустимые нормы.

Кислотные дожди разрушают строительные материалы (растворы, гипс, камень и др.) реагируя с кальцием и магнием, входящими в их состав; усиливают коррозию строительных конструкций из железа и других металлов. Шведские специалисты обнаружили высокую корреляцию между кислотными дождями и коррозией стали.

Конечно, кислотные дожди отрицательно влияют и на наземные экосистемы. Несомненно, что они – одна из причин деградации лесов. По имеющимся данным, например, в Чехословакии серьёзно повреждены деревья на 200 тыс. га лесов именно в тех местах, где интенсивно сжигают бурый уголь с высоким содержанием серы. В Польше погибшие деревья в районах, где используется бурый уголь, обнаружены уже на 500 тыс. га. То же самое отмечено в Австрии, Швейцарии, Германии, Голландии, Румынии, США и других странах. Кислотные дожди могут высвободить из почв токсичный для растений алюминий.

Твёрдые частицы и оксиды серы, действуя совместно, вредно влияют и на здоровье людей. Серная кислота, растворяясь в каплях воды, образует едкий туман, вызывающий аллергию и другие заболевания. Частицы сульфатов железа могут создавать дополнительное канцерогенное загрязнение в городском воздухе.

Отсюда следует необходимость требований органов экологического контроля к предприятиям по очистке выбросов от вредных веществ, к автомобилистам по очистке выхлопных газов, проведение экологического контроля и мониторинга содержания вредных веществ в атмосфере.

2. Опустынивание земель. Производство достаточного количества продуктов питания для обеспечения всё возрастающего населения нашей планеты, безусловно, является одной из важнейших задач, стоящих перед человечеством. Однако решение этой задачи осложняется двумя проблемами. Первая – это потеря плодородных земель, вызванная эрозией почвы. Учёные подсчитали, что 4 основные страны – производители продовольствия (США, СССР, Китай и Индия) в результате эрозии ежегодно теряют до 13, 2 млн. тонн почвы с обрабатываемых полей. Вторая проблема связана с загрязнением окружающей среды ядовитыми химическими веществами, которые применяются для борьбы с вредителями.

Образование почвы – это очень медленный и растянутый во времени процесс. Скорость образования новой почвы составляет примерно 2,5 см верхнего слоя почвы за 100-1000 лет. Однако этот показатель широко варьируется в зависимости от климата, растительности, типа почвы и характера землепользования.

Эрозия измеряется в тоннах почвы на 1 гектар (га). Чтобы понять, что означает скорость потери почвы, нам необходимо познакомиться с некоторыми фактами. В настоящее время глубина вспашки обычно составляет около 15 см. Масса одного га этого слоя почвы равна примерно 2245 тонн (т). При скорости эрозии примерно 33 т/га·год, ежегодно утрачивается около 0,25 см почвы, а весь пахотный слой будет утрачен за 60-70 лет, если не предпринимать специальных мер по восстановлению почвы.

3. Парниковый эффект. Круг экологических проблем чрезвычайно широк. Среди них – состояние атмосферы, загрязнение которой выбросами промышленных предприятий и, прежде всего, парниковыми газами может привести к глобальным климатическим изменениям на Земле. Парниковыми называются газы, которые интенсивно поглощают тепловое инфракрасное излучение и тем самым усиливают функции атмосферы как парникового прикрытия по отношению к поверхности Земли. Рост концентрации парниковых газов в атмо-

сфере и обуславливает ожидаемое глобальное потепление климата нашей планеты. Такое изменение может принести многие беды для сельского хозяйства в результате регионального изменения погодного и водного режима; создаёт угрозу для многих экосистем, адаптировавшихся к определённым климатическим условиям, а также может явиться трагедией для прибрежных районов в результате подъёма уровня морей и океанов. Многие специалисты полагают, что глобальное потепление климата Земли уже началось.

Как и водяной пар, углекислый газ является парниковым газом. Это значит, что он, пропуская солнечное излучение в видимой части спектра, сильно поглощает инфракрасное (тепловое) излучение, которое идёт от поверхности Земли. Таким образом, углекислый газ играет роль оболочки, поглощающей тепловое излучение планеты и за счёт процессов в атмосфере возвращающей его назад.

К парниковым газам, кроме водяного пара и углекислого газа, относятся также фреоны, используемые в промышленных и бытовых холодильных установках и в аэрозольных товарах, а также метан, озон и оксиды азота. Их относительный вклад в прирост парникового эффекта атмосферы составляет соответственно 50, 20, 16, 9 и 5 %.

4. Геологические особенности современного геологического кризиса. Современный экологический кризис противоестественен, он вызван самим человеком. Неразумная материально-хозяйственная или техногенная (антропогенная) деятельность во всех её сложных и многообразных формах приводит на наших глазах природу на Земле к экологическому кризису.

Ярким примером глобального вмешательства человека в литосферу является *добыча полезных ископаемых*. Так, например, количество только механически извлекаемого материала в литосфере Земли при добыче полезных ископаемых и строительстве превышает 100 миллиардов тонн в год, что примерно в четыре раза больше массы материала, сносимого водами рек в океаны в процессах выветривания, размыва суши и денудации. Ежегодный объём наносов, перемещаемых всеми текучими водами на земной поверхности, в 30 раз меньше, чем перемещается горных пород при строительстве и добыче полезных ископаемых. При этом надо иметь в виду, что суммарная мощность производства в мире удваивается каждые 14-15 лет. То есть антропогенная деятельность по своим масштабам и интенсивности стала не только соизмеримой с природными геологическими процессами, но и существенно их превосходит.

Такие процессы искусственного, а не естественного происхождения стали называть инженерно-геологическими. Они ровесники человеческой цивилизации, и по мере углубления экологического кризиса масштабы их проявлений на

Земле всё возрастают. Инженерно-геологические процессы идут одновременно с природными геологическими процессами, но их интенсивность, концентрация, частота проявления и другие параметры существенно превышают аналогичные природные. Отсюда вытекает их чрезвычайное значение.

Широко бытует ошибочное мнение, что в отличие от растений или животных, которые более или менее чутко реагируют на техногенные воздействия, сама «Земля» (а точнее, верхние горизонты литосферы, горные породы и почвы) может «выдержать» что угодно: и сброс загрязнений, и подземные атомные взрывы, и захоронение всевозможных токсических или просто ненужных отходов. Существуют допустимые уровни техногенных воздействий на литосферу. В результате разномасштабных проявлений техногенных воздействий Земля превращается в гигантскую свалку, литосфера начинает испытывать необратимые негативные изменения, экологические последствия которых трудно предсказать. Необходимо развеять ложность бытующих неверных представлений о литосфере как о геосфере, которая «может всё выдержать».

С каждым годом интенсивность воздействия человека на природу всё возрастает. Если к 1985 году суммарная площадь суши, покрываемая всеми видами инженерных сооружений (здания, дороги, водохранилища каналы и т. п.) составляла около 8 %, то к 1990 году она превысила 10 %, а к 2002 году возросла до 16 %, то есть приблизиться к величине 1/6 суши Земли.

Можно привести много примеров, раскрывающих масштабы техногенных воздействий на литосферу. Ограничимся лишь некоторыми. В настоящее время общая протяженность железных дорог на Земле составляет более 1400 тыс. км, т. е. в 3,5 раза больше, чем расстояние от Земли до Луны, и на всём этом протяжении нарушается почвенный покров, меняются геологические условия прилегающих к дороге территорий, возникают новые геологические процессы. Протяженность автомобильных дорог в мире ещё больше. Вдоль автотрасс также происходит нарушение геологических условий. Подсчитано, что при прокладке 1 км дороги нарушается около 2 га растительного и почвенного покрова.

Суммарная длина берегов только искусственных водохранилищ, построенных на территории бывшего СССР к середине 80-х годов XX века, равнялась длине экватора Земли. На всём их протяжении развивались и продолжают развиваться различные геологические процессы (активизация склонных процессов, переработка берегов, подтопление и т. д.), протяженность магистральных оросительных и судоходных каналов на этой территории, также изменяющих геологическую обстановку, намного больше и составляет около $\frac{3}{4}$ расстояния от Земли до Луны.

Чтобы уменьшить вредные воздействия на Землю при добыче нефти и газа, введены требования заполнения образовавшихся полостей в литосфере водой и необходимо строго контролировать выполнение этих требований.

5. *Радиоактивное загрязнение окружающей среды.* Приведём вначале краткую справку о единицах измерения радиации.

Различают поглощённую и экспозиционную дозу поглощения. Поглощённая доза облучения – отношение энергии излучения к массе облучаемого вещества; измеряется в Дж/кг (эта единица носит название Грей, обозначается Гр) или радах ($1 \text{ рад} = 10^{-2} \text{ Гр}$). Доза величиной 1 Гр соответствует началу лучевой болезни. Экспозиционная доза облучения – это доза, при которой сумма электрических зарядов ионов одного знака, созданных электронами, освободившимися в облучённом воздухе массой 1 кг, равна 1 Кл; измеряется в Кл/кг. Используемая ранее внесистемная единица экспозиционной дозы 1 рентген (Р) равен $2,58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг. Вместо неё сейчас используется 1бэр = 0,01 Дж/кг (до 1963 г. определялась как биологический эквивалент рентгена). Кроме этих единиц, применяются единица 1 беккерель (1 Бк) = акт распада; 1 Кюри (Ки) = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк.

Радиационную обстановку на Земле обуславливают многочисленные события и факторы, происшедшие или происходящие в том или ином месте. Например, в Сибири, и, в частности, в Томской области радиационную обстановку формировали ниже перечисленные факторы и события:

- глобальный радиационный фон, обусловленный ранее проводившимися ядерными испытаниями на полигонах Семипалатинска, Новой Земли и др.;
- выпадения радиоактивных продуктов осколочного происхождения после атомного взрыва на Тоцком учении в 1954 году;
- эксплуатация предприятий ядерного топливного цикла и региональных хранилищ радиоактивных отходов, пульпохранилищ, бассейнов, хвостохранилищ и пр.;
- наличие загрязнённых территорий вследствие аварий на предприятиях ядерного топливного цикла;
- загрязнение атмосферы естественными радионуклидами (ЕРН) вследствие работы тепловых электростанций и угольных котельных;
- вторичное загрязнение приземной атмосферы радиоактивными веществами вследствие ветрового переноса их с почвы;
- выделение радона-222 из почвы, строительных материалов и стен помещений;
- мощность дозы, обусловленная содержанием ЕРН в почве.

Рассмотрим эти факторы и события более подробно.

Тоцкие учения. 14 сентября 1954 года на Тоцком полигоне (между городами Самарой и Оренбургом) были проведены общевойсковые учения с реальным ядерным взрывом. Атомная бомба мощностью порядка 40 тысяч тонн тротилового эквивалента была взорвана на высоте 350 м. Облако взрыва и пыль, поднятая с земли на высоту до 15 км, рассеялись со сносом в восточном направлении. Сформировался «ближний» след радиоактивного загрязнения протяжённостью более 200 км с мощностью дозы гамма-излучения до 100 мР/ч. Дальнейший след выпадений определился переносом облака взрыва в северо-восточном направлении. Выпадение радиоактивных продуктов (радиоактивных частиц размером от 24 до 40 мкм) произошло на удалении в сотни километров от эпицентра взрыва, и след радиоактивного загрязнения сформировался на территории Томской области и Красноярского края, обусловив накопленную дозу облучения около 0,1 бэр.

В настоящее время оценить дозу, полученную населением этих районов за счёт внутреннего облучения (при поступлении радионуклидов в организм через органы дыхания и пищеварения), не представляется возможным.

Семипалатинский полигон. Радиационная обстановка на территории Томской области формировалась как за счёт глобальных выпадений радиоактивных продуктов после проведения в атмосфере ядерных испытаний США, СССР, Великобританией, Францией и Китаем, так и в результате взрывов, проведенных в атмосфере на Семипалатинском полигоне при северо-восточном переносе воздушных масс с территории полигона. Отчётливо выраженное движение циклона над Западной Сибирью с юго-запада на северо-восток явилось одной из причин радиоактивного загрязнения территорий Томской и Новосибирской областей при взрывах на Семипалатинском полигоне с 29.08.49 г. по 24.12.62 г. В 1962 году прекращены ядерные взрывы. Из 113 атмосферных ядерных испытаний, проведённых на полигоне с 1949 по 1962 год, 25 были наземными. Именно такой взрыв характеризуется тем, что высокотемпературный «огненный шар» соприкасается с поверхностью земли, вследствие чего происходит активация огромного количества частиц грунта. Перенос этих частиц с воздушными потоками и их постепенное осаждение образует след радиоактивных выпадений. На этом следе в удалении от места взрыва на 100-300 км («ближний» радиоактивный след) выпадает до 25 % образовавшихся радиоактивных продуктов. Остальная их доля, в основном, формирует «дальний» радиоактивный перенос мелкодисперсных частиц в глобальном масштабе. Всего на Семипалатинском полигоне проведено 470 ядерных испытаний с суммарным выделением энергии 6,3 млн. тонн в тротиловом эквиваленте. Радиационному воздействию подверглись несколько регионов России, в том числе и Томская область.

Испытания ядерных устройств в Китае. С 1964 года Китай приступил к проведению ядерных испытаний на полигоне в районе озера Лобнор. Проведённые на нём испытания в атмосфере дали суммарное выделение энергии 10 млн. тонн в тротиловом эквиваленте. Широкомасштабное загрязнение нижних слоёв атмосферы на территории СССР продуктами китайских ядерных взрывов началось с 1968 года, последствия мощного воздушного ядерного взрыва в 1980 году прослеживаются вплоть до настоящего времени. Вклад в загрязнение почв территории СССР цезием-137 и стронцием-90 от китайских взрывов за весь период составил, соответственно, 10-16 и 6-10 мКи/км², цирконием-95 и ниобием-95 до 10 мКи/км² (в 1966-1986 г.г.), церием-144 до 20 мКи/км².

К настоящему времени в почве от китайских взрывов практически определяется только долгоживущий цезий-137 и стронций-90. по абсолютной величине максимальный вклад каждого из этих изотопов в общее загрязнение почв этими же изотопами не превышает 20 %.

Ядерные испытания на Новой Земле. Суммарное выделение энергии от ядерных взрывов, проведённых на Северном полигоне (Новая Земля), оценивается примерно в 273 млн. т. в тротиловом эквиваленте (с 1955 г. по январь 1992 г. было проведено 132 взрыва, в том числе сверхмощный воздушный 30 сентября 1961 года мощностью примерно 58 млн. т. в тротиловом эквиваленте). Испытания на Новой Земле явились источником длительного роста глобального фона радиоактивного загрязнения земной поверхности, в том числе в азиатской части территории России. Испытания в атмосфере завершили: Великобритания – в 1958 г. СССР – в 1962 г., США – в 1963 г., Франция – в 1974 г. и Китай в 1980 г. Систематический контроль радиационной обстановки в Западной Сибири стал проводиться с 1965 года, т. е. после прекращения СССР ядерных испытаний в атмосфере. В настоящее время невозможно дать однозначную оценку степени радиационного воздействия на население, так как к началу систематического радиационного контроля короткоживущие радионуклиды распались, и основная доза облучения уже реализована.

США провели испытание ядерного устройства в гранитном массиве на Алеутских островах в 1971 г. мощностью 5 мегатонн. Взрывная волна 4 раза обошла Земное ядро, многократно отражаясь от поверхности Земли.

Теплоэлектростанции. Кроме химических загрязняющих веществ, теплоэлектростанции (ТЭЦ) и угольные котельные выбрасывают в атмосферу значительное количество радиоактивных веществ. Это связано с тем, что содержание радионуклидов (ЕРН) в углях составляет в среднем 150 Бк/кг. Процесс сжигания угля можно рассматривать как действие по перемещению ЕРН из недр на

земную поверхность при рассеивании из трубы золы. Поэтому ТЭС электрической мощностью 1000 МВт, при эффективности золоулавливателя 97,5%, выбрасывает около 3 Ки/год ЕРН.

Определённый вклад в загрязнение окружающей среды Томской области вносят ТЭЦ и котельные, где сжигаются угли Канско-Ачинского и Новокузнецкого угольных бассейнов, имеющих высокую зольность (20-31%), высокое содержание серы и ЕРН.

Влияние на окружающую среду предприятий Минатома России. Одним из основных источников радиоактивного загрязнения окружающей среды являются (уже более 40 лет) предприятия Минатома, включающие в себя разнообразные производства. К ним, например, относится, печально известная Чернобыльская АЭС, авария на которой привела к гибели огромного количества людей, заражению больших пространств земли, уничтожению разнообразных живых организмов и к их мутациям. Город Карабаш в Челябинской области, где находятся объекты Минатома России, считается самым грязным городом планеты. Радиационно-опасный объект в Томской области – Сибирский химический комбинат (СХК). Загрязнение объектов природной среды происходит в результате плановых (штатных) и аварийных газоаэрозольных выбросов и сбросов сточных вод, содержащих радионуклиды, а также вследствие захоронения жидких и твёрдых радиоактивных отходов (РАО).

Радиоактивное загрязнение подземных вод. В непосредственной близости от г. Томска на промплощадке СХК производится закачка радиоактивных отходов (РАО) в подземные горизонты на глубину 280-400 м. По данным Госатомнадзора Сибирским химическим комбинатом закачано под землю с 1963 года к настоящему времени около 40 млн. м³ жидких РАО с общей активностью 1,1 млрд. Кюри.

Работы по радиационному мониторингу, проведённые в 1993-1996 гг., показали, что содержание цезия-137 в почвах юга Томской области в 2-5 раз превышает среднее значение по России и по Алтайскому краю.

Основные очаги радиоактивного загрязнения территории сосредоточены в 30-и километровой зоне СХК, что подтверждается результатами аэрогамма-спектрометрической съёмки. В эту зону полностью входит и город Томск с населением 500 тыс. человек.

СХК продолжает наращивать свои мощности, увеличивается объём работ по переработке радиоактивных продуктов для международных компаний. В дальнейшем намечается рост производства на 5-6%. Полным ходом идут работы по проектированию и выбору площадки для строительства новой атомной

станции теплоснабжения АСТ-500. Продолжается модернизация заводов и расширение производства. Следовательно, необходимо строго контролировать количество радиационных загрязнений, и контроль должен быть непрерывным.

Рассмотренные экологические проблемы должны стать предметом рассмотрения не только специалистами, но и общественными организациями разного уровня, поскольку они жизненно важны для всех жителей в регионах.

Лекция 3

Методы научного познания

Понятия метода и методологии. Классификация методов научного познания

Понятие *метод* (от греческого слова «методос» - путь к чему-либо) означает совокупность приемов и операций практического и теоретического освоения действительности. В основе методов естествознания лежит единство его эмпирической (практической) и теоретической сторон. Они взаимосвязаны и обуславливают друг друга. Их разрыв или преимущественное развитие одной стороны за счет другой закрывает путь к правильному познанию природы: теория становится беспредметной, опыт – слепым. Область знания, которая специально занимается изучением методов научного познания, называется *методологией*. Основателями методологии были английский учёный Ф. Бэкон и французский учёный Р. Декарт. Видный философ XVII в. Ф.Бэкон сравнивал метод познания с фонарем, освещающим дорогу путнику, идущему в темноте. Р. Декарт говорил: « Под методом я понимаю точные и простые правила, строгое соблюдение которых ... без лишней траты умственных сил способствует тому, что ум достигает истинного познания всего, что ему доступно».

Методы естествознания по степени их общности или по широте применимости могут быть подразделены на следующие группы [1].

I. Общие методы, которых в истории познания известно два: диалектический и метафизический. Это общепhilosophические методы. Сам термин «метафизика» возник в I в. до н. э. и буквально означает «то, что следует после физики». Так Аристотель называл свой первый раздел философии. Предметом исследования метафизики были высшие, недоступные органам чувств, лишь умо-зрительно постигаемые неизменные начала всего существующего, обязательные для всех наук. Соответственно и метод метафизический, возникший в новое время и новой философии, философии Бэкона и Декарта, понимается как результат односторонности в познании, когда рассматривают вещи и явления неизменными и независимыми друг от друга, отрицают внутренние противоречия как источник развития в природе и обществе. На этом этапе естествознания познание расчленило природу на ряд изолированных областей, рассматриваемых вне связи друг с другом, без движения и развития, антидиалектически. Метафизический метод с середины 19 века начал всё больше и больше вытесняться из естествознания диалектическим методом.

Термин *диалектика* в древней Греции означал искусство диалога и спора. Искусство диалектики обозначало способность вести спор посредством вопро-

сов и ответов. И лишь значительно позже диалектика стала пониматься как наука о наиболее общих законах развития природы, общества и мышления. Элементы диалектической логики имели место и в античной философии (в трудах Гераклита, Платона, Аристотеля). Основное отличие диалектики от метафизики в том, что бытие по диалектике включает в себе противоречия, которые и являются основной пружиной развития. Первым «пробил брешь» в метафизике И. Кант (1724-1804). Он указал на значение противоположных сил в физическом и космогоническом процессах. Г. Гегель (1770-1831) впервые представил весь исторический, природный и духовный мир в виде процесса, т.е. в непрерывном движении, изменении, преобразовании и развитии и сделал попытку раскрыть внутреннюю связь этого движения и развития. Но диалектика Гегеля – идеалистическая. Диалектический метод – это метод изучения законов развития мысли от внешнего к внутреннему, от явления к сущности, от сущности менее глубокой к сущности более глубокой, от непосредственного к опосредованному, от абстрактного к конкретному, от относительных истин к абсолютной.

II. Общенаучные (особенные) методы. Вторую группу методов познания составляют общенаучные методы, которые используются в самых различных областях науки, т.е. имеют весьма широкий междисциплинарный «спектр» применения. Классификация общенаучных методов тесно связана с понятием уровней научного познания.

Различают два уровня научного познания: *эмпирический и теоретический*. Одни общенаучные методы применяются только на эмпирическом уровне (наблюдение, эксперимент, измерение), другие – только на теоретическом (например, идеализация, формализация), а некоторые (например, моделирование) – как на эмпирическом, так и на теоретическом уровнях.

Эмпирический уровень научного познания характеризуется непосредственным исследованием реально существующих, чувственно воспринимаемых объектов. На этом уровне осуществляется процесс накопления информации об исследуемых объектах, явлениях путем проведения наблюдений, выполнения разнообразных измерений, постановки экспериментов. Здесь производится также первичная систематизация получаемых фактических данных в виде таблиц, схем, графиков и т.п. Кроме того, на этом уровне познания вследствие обобщения научных фактов возможно формулирование некоторых эмпирических закономерностей.

Теоретический уровень научного исследования осуществляется на рациональной (логической) ступени познания. Теоретический уровень – более высокая ступень в научном познании. На данном уровне происходит раскрытие наи-

более глубоких, существенных сторон, связей, закономерностей, присущих изучаемым объектам, явлениям. Результатами теоретического познания становятся гипотезы, теории, законы.

Эмпирический и теоретический уровни познания взаимосвязаны между собой. Эмпирический уровень выступает в качестве основы, фундамента теоретического. Гипотезы и теории формируются в процессе теоретического осмысления научных фактов, статистических данных, получаемых на эмпирическом уровне. К тому же теоретическое мышление неизбежно опирается на чувственно-наглядные образы (в том числе схемы, графики и т.п.), с которыми имеет дело эмпирический уровень исследования.

В свою очередь, эмпирический уровень научного познания не может существовать без достижений теоретического уровня. Эмпирическое исследование обычно опирается на определенную теоретическую конструкцию, которая определяет направление этого исследования, обуславливает и обосновывает применяемые при этом методы. Рассмотрим более подробно эти методы.

Методы эмпирического уровня познания

1. Наблюдение – это чувственное отражение предметов и явлений внешнего мира. Наблюдение как метод познания действительности применяется либо там, где невозможен или очень затруднен эксперимент (в астрономии, вулканологии, гидрологии) либо там, где стоит задача изучить именно естественное функционирование или поведение объекта (в экологии, социальной психологии и т.п.). Наблюдение, как научный метод познания, в отличие от обыденных наблюдений, характеризуется целенаправленностью, планомерностью и активностью. Различают 4 основных вида наблюдений:

а) прямое; например, для получения краткосрочных прогнозов погоды необходимо огромное количество прямых наблюдений, получаемых с метеостанций, станций радиозондирования, с метеоспутников, орбитальных станций;

б) косвенное; например, в камере Вильсона по трекам косвенно наблюдают за заряженными частицами;

в) непосредственное; в качестве примера можно привести непосредственные наблюдения датского астронома Тихо Браге, который 20 лет следил за положением звезд и планет, и эти наблюдения стали эмпирической основой для законов И. Кеплера;

г) опосредованное наблюдение осуществляется с помощью каких-либо средств. Например, оптический телескоп Галилея (1608 г.), современный электронный микроскоп, рентгеновский телескоп для наблюдения квазаров, пульсаров в астрофизике.

2. Измерение – это процесс, заключающийся в определении количественных значений тех или иных свойств, сторон изучаемого объекта, явления с помощью технических устройств. Большинство наблюдений и экспериментов включают в себя проведение измерений. Наука начинается с тех пор, как начинают измерять (Менделеев).

Единица измерения – это эталон, с которым сравнивается измеряемая сторона объекта или явления. Существует множество единиц измерения, соответствующее множеству объектов, явлений, их свойств, сторон, связей, которые приходится измерять в процессе научного познания. При этом единицы измерения подразделяются на *основные*, выбираемые в качестве базисных при построении системы единиц, и *производные*, выводимые из других единиц с помощью каких-то математических соотношений. Впервые система единиц была предложена Гауссом в 1832 году. До 1881 года единства измерений не было.

В настоящее время в естествознании действует преимущественно Международная система единиц (СИ), принятая в 1960 году XI Генеральной конференцией по мерам и весам. Международная система единиц построена на базе семи основных (метр, килограмм, секунда, ампер, Кельвин, кандела, моль) и двух дополнительных (радиан, стерадиан) единиц. С помощью специальной таблицы множителей и приставок можно образовывать кратные и дольные единицы (например, с помощью множителя 10^{-3} и приставки «милли» к наименованию любой из названных выше единиц измерения можно образовывать дольную единицу размером в одну тысячную от исходной).

Международная система единиц физических величин является наиболее совершенной и универсальной из всех существовавших до настоящего времени. Она охватывает физические величины механики, термодинамики, электродинамики и оптики, которые связаны между собой физическими законами. Потребность в Международной системе единиц измерения в условиях современной научно-технической революции очень велика. Поэтому такие международные организации, как ЮНЕСКО и международная организация законодательной метрологии, призвали государства, являющиеся членами этих организаций, принять вышеупомянутую Международную систему единиц и градуировать в этих единицах все измерительные приборы.

Существует несколько видов измерений. Исходя из характера зависимости измеряемой величины от времени, измерения разделяют на статические и динамические. При *статических измерениях* величина, которую мы измеряем, остается постоянной во времени (измерение размеров тел, постоянного давления и т.п.). К *динамическим* относятся такие измерения, в процессе которых из-

меряемая величина меняется во времени (измерение вибраций, пульсирующих давлений и т.п.).

По способу получения результатов различают измерения *прямые и косвенные*. В прямых измерениях искомое значение измеряемой величины получается путем непосредственного сравнения ее с эталоном или выдается измерительным прибором. При косвенном измерении искомую величину определяют на основании известной математической зависимости между этой величиной и другими величинами, получаемыми путем прямых измерений (например, нахождение удельного электрического сопротивления проводника по его сопротивлению, длине и площади поперечного сечения). Косвенные измерения широко используются в тех случаях, когда искомую величину невозможно или слишком сложно измерить непосредственно или когда прямое измерение дает менее точный результат.

3. Эксперимент – более сложный по сравнению с наблюдением метод познания, при помощи которого явления действительности исследуются в контролируемых и управляемых условиях. Он отличается от наблюдения вмешательством в исследуемый объект, то есть активностью по отношению к нему. Проводя эксперимент, исследователь не ограничивается пассивным наблюдением явлений, а сознательно вмешивается в естественный ход их протекания путем непосредственного воздействия на изучаемый процесс или изменения условий, в которых проходит этот процесс. Эксперимент может ставиться в «очищенном» виде, например, исключаются какие-либо поля, так как процессы в природе сложны и запутанны.. Эксперимент может проводиться в экстремальных условиях. И, наконец, эксперимент обязательно должен быть воспроизводимым. Различают 4 вида эксперимента: *исследовательский, проверочный, количественный и качественный*. Например, исследовательские эксперименты Резерфорда с бомбардировкой золотой фольги альфа-частицами привели его к выводу о сложном строении атома. Проверочные эксперименты Г. Герца подтвердили блестящую теорию Максвелла о существовании электромагнитного поля. Качественные опыты Эрстеда указали на связь электрического и магнитного полей. А количественные эксперименты Ампера, Био и Савара установили уже количественные законы.

Методы теоретического уровня познания

1. Аналогия-метод познания, при котором происходит перенос знания, полученного в ходе рассмотрения какого-либо одного объекта на другой, менее изученный и в данный момент изучаемый. Метод аналогии основывается на сходстве предметов по ряду каких-либо существенных признаков, что позволя-

ет получать вполне достоверные знания об изучаемом предмете. Умозаключение по аналогии- один из источников научных гипотез.

2. Идеализация – мыслительное конструирование понятий об объектах и явлениях, не существующих в действительности, но для которых в ней имеются прообразы. Например, *абсолютно твёрдое тело, абсолютно чёрное тело, идеальный газ, материальная точка* являются примерами идеализации. Идеализация широко используется в науке, так как позволяет формулировать законы, строить схемы реальных процессов. Например, Макс Планк, рассчитав энергию излучения абсолютно чёрного тела, заложил основы квантовой теории, ознаменовавшей радикальный переворот в науке. Критерием плодотворности идеализации (как и других методов теоретического уровня) является практика.

3. Моделирование – метод научного познания, основанный на изучении каких-либо объектов посредством их моделей. Появление этого метода вызвано тем, что иногда изучаемый объект или явление оказываются недоступными для прямого вмешательства познающего субъекта, или оно по ряду причин является нецелесообразным. Моделирование предполагает перенос процесса исследования на другой объект, выступающий в роли заместителя интересующего нас объекта или явления. Объект – заместитель называют моделью, а объект исследования – оригиналом или прототипом. Возможность моделирования основана на том, что модель в определенном отношении отображает какие-либо стороны прототипа. При моделировании очень важно наличие соответствующей теории или гипотезы, которые строго указывают пределы и границы допустимых упрощений. Различают несколько видов моделирования:

а) мысленное моделирование; например, объясняя эксперименты Фарадея, Максвелл ввёл электромагнитное поле, мысленно представляя себе его силовые линии как трубки разного сечения, не обладающие инерцией и сжимаемостью. Резерфорд мысленно представлял модель атома как солнечную систему.

Могут разрабатываться различные модели одного и того же объекта. Например, три понятия идеального газа сформировались под влиянием различных теоретико-физических представлений:

- 1) Максвелла – Больцмана: основа исследований обычных молекул разреженных газов, находящихся при высоких T ;
- 2) Бозе – Эйнштейна: для изучения фотонных газов;
- 3) Ферми – Дирака: для электронного газа.

б) физическое моделирование – это изготовление реальных моделей; например, строительством английского корабля «Кэптон» в 1870 г. Рид сделал его

модель и показал, что конструкция имеет серьезные дефекты, о чём сообщил в адмиралтейство. Однако его исследованиями пренебрегли и корабль построили. После спуска на воду на небольшом расстоянии от берега корабль перевернулся, и все 500 моряков погибли.

в) символическое (знаковое) моделирование; примерами его являются графики, номограммы, схемы, химические символы.

г) математическое моделирование; система уравнений, описывающая какие-либо процессы, вместе с граничными условиями – есть математическая модель явления.

д) численное моделирование (на ЭВМ) в случае больших объемов вычислений.

Так же как идеализация, модели могут быть ошибочными, если они в дальнейшем не подтвердились на практике. Например, модели теплорода, эфира, флогистона оказались ошибочными.

4. Мысленный эксперимент. Этот метод используется:

а) либо как предварительная стадия реального эксперимента;

б) либо как самостоятельный мысленный эксперимент.

Например, мысленные эксперименты Г. Галилея привели к открытию закона инерции. Мысленный эксперимент Г. Гейзенберга привел его к выводу соотношения неопределенности.

5. Анализ – метод научного познания, в основу которого положена процедура мысленного или реального расчленения предмета на части, с целью их отдельного изучения. Анализ – органичная составная часть всякого научного исследования, являющаяся обычно его первой стадией, когда исследователь переходит от нерасчлененного описания изучаемого объекта к выявлению его строения, состава, а также его свойств и признаков. Например, метод анализа сокрушил теорию флогистона.

6. Синтез – это метод научного познания, в основу которого положена процедура соединения различных элементов предмета в единое целое, систему, без чего невозможно действительно научное познание этого предмета. Синтез выступает не как метод конструирования целого, а как метод представления целого в форме единства знаний, полученных с помощью анализа. В синтезе происходит не простое объединение, а обобщение аналитически выделенных и изученных особенностей объекта. Положения, получаемые в результате синтеза, включаются в теорию объекта, которая, обогащаясь и уточняясь, определяет пути нового научного поиска. Анализ и синтез «связаны» между собой.

7. Индукция (от латинского *inductio* – наведение, возбуждение) – метод научного познания, представляющий собой формулирование логического умо-

заклучения путем общего вывода на основе частных посылок (или это движение нашего мышления от частного к общему).

Непосредственной основой индуктивного умозаклучения является повторяемость признаков в ряду предметов определенного класса. Заклучение по индукции представляет собой вывод об общих свойствах всех предметов, относящихся к данному классу, на основании наблюдения достаточно широкого множества единичных фактов. Обычно индуктивные обобщения рассматриваются как опытные истины или эмпирические законы.

Например, экспериментальное изучение электрических явлений с различными проводниками (из разных металлов) привело к формулированию общего вывода об электропроводности всех металлов. Законы всемирного тяготения, атмосферного давления, теплового расширения тел получены индуктивным путем.

Индуктивные методы служат в основном для нахождения эмпирических зависимостей. Родоначальником классического индуктивного метода был Ф. Бэкон.

8. **Дедукция** (от латинского *deductio* – выведение) – метод научного познания, который заключается в переходе от некоторых общих посылок (положений) к частным результатам – следствиям. Это движение нашего мышления от общего к частному.

Умозаклучение по дедукции строится по следующей схеме: все предметы класса «А» обладают свойством «В»; предмет «а» относится к классу «А», значит «а» обладает свойством «В». В целом дедукция как метод познания исходит из уже познанных законов и принципов, поэтому метод дедукции не позволяет получить содержательно нового знания. Дедукция представляет собой лишь способ логического развертывания системы положений на базе исходного знания, способ выявления конкретного содержания общепринятых посылок. Пропагандистом этого метода был Р. Декарт. Однако индукция и дедукция связаны между собой.

9. **Гипотеза** представляет собой всякое предположение, догадку или предсказание, выдвигаемое для устранения ситуации неопределенности в научном исследовании. Решение любой научной проблемы включает выдвижение гипотез, с помощью которых исследователь пытается объяснить факты, не укладывающиеся в старые теории. Гипотезы возникают в неопределенных ситуациях, поэтому гипотеза есть не достоверное знание, а вероятное, истинность которого ещё не установлена. Гипотеза должна быть либо подтверждена (свойство верификации), либо опровергнута (свойство фальсификации).

III. Частнонаучные (частные) методы – это специальные методы, действующие либо только в пределах отдельной отрасли науки, либо за пределами той отрасли, где они возникли. Каждая частная наука (биология, химия, геология и т.д.) имеет свои специфические методы исследования.

При этом частнонаучные методы, как правило, содержат в различных сочетаниях те или иные общенаучные методы познания. В частнонаучных методах могут присутствовать наблюдения, измерения, индуктивные и дедуктивные умозаключения и т.д. Характер их сочетания и использования находится в зависимости от условий исследования, они не оторваны от общенаучных методов и связаны с диалектическим методом. Например, закон эволюции животных и растительных видов Ч.Дарвина. В процессе развития науки частные методы могут переходить в группу особенных методов, а они, в свою очередь, в группу общих методов.

Лекция 4 История естествознания (VI в. до н.э.– XV в. н.э.)

Натурфилософия (НФ) и её место в истории естествознания

Первой в истории человечества формой существования естествознания была натурфилософия. Появление её в истории человечества и очень длительное существование объясняется рядом причин:

1. Когда естественнонаучного знания в его нынешнем понимании ещё практически не существовало, попытки целостного охвата окружающей действительности умозрительно были единственным и оправданным способом человеческого познания мира.

2. Поскольку вплоть до XIX-го века не существовали многие отрасли наук, а сформировавшимися были механика, математика, астрономия и физика, то НФ, строя общую картину мира, стремилась заменить собой отсутствующие естественные науки.

3. Отдельным знаниям об объектах НФ противопоставляла свои умозрительные представления о мире, зачастую вымышленные причины и связи.

Лишь к XIX веку с накоплением фактического материала, когда изучены были действительные причины явлений, раскрыты реальные связи между явлениями, существование НФ как науки наук потеряло историческое оправдание. Сама философия наконец-то обрела свой предмет. Однако тесная двухсторонняя связь между философией и естествознанием сохраняется и ныне.

В античной натурфилософии выделяют древнегреческий и древнеримский периоды развития естествознания.

Древнегреческий период античной натурфилософии

(VI в. до н.э. – 30 г.г. до н.э.).

Впервые наука в истории человечества возникает в древней Греции в VI веке до нашей эры (н.э.). Под наукой понимается не просто совокупность отрывочных сведений, а определённая система знаний, являющаяся результатом деятельности особой группы людей (научного сообщества) по получению новых знаний. В отличие от Древней Греции в древних цивилизациях Египта, Вавилона, Ассирии науки в таком понимании не было, хотя изучение, например, чисел и их отношений для практического освоения окружающего мира было.

Древнегреческие мыслители были, как правило, и философами, и учёными-естествоиспытателями. Отличительной чертой античного естествознания является космоцентризм. Само понятие «космос» первоначально означало «порядок» и применялось для обозначения воинского строя или государственного устройства. В VI-V в. до н.э. появляется понимание космоса как Вселенной, как

окружающего человека мира, как природы. Существовала точка зрения о слиянии человека и Вселенной. Человек выступает в античном естествознании как часть всеобщего космического целого. Античная натурфилософия существовала в древней Греции и древнем Риме. В древнегреческой НФ выделяют несколько этапов.

1-й этап древнегреческой натурфилософии –Ионийский (VI-V в. до н.э.)

В этот период древнегреческая цивилизация занимала обширный район, куда входили Средиземноморье, Малая Азия и часть Черноморского побережья. К этому времени завершилось формирование древнегреческих полисов (городов – государств) , в которых большое развитие получили торговля, ремесленное производство, культурная жизнь. Полис являлся особой формой государства как социально-экономической и политической организации. Все граждане (кроме рабов) имели земельную собственность и политические права. Государственная организация была различной: олигархии, демократии, тирании и др. Среди полисов выделялся главный город Ионийской колонии на побережье Эгейского моря в Малой Азии - Милет; по названию колонии и назван этот этап. Через город Милет проходили важные торговые пути из Греции в Азию, он был крупным культурным и политическим центром. Там и сформировалась Милетская школа натурфилософии. Характерным для неё было представление о предметах окружающего мира как состоящих из простейших начал (“стихий”), каковыми являлись огонь, вода, воздух и земля. Гераклит Эфесский (544-483 г.г. до н.э.) полагал, что всё состоит из огня. Он говорил: «всё обменивается на огонь и огонь – на всё, подобно тому, как золото обменивается на товары, а товары - на золото». В этом афоризме через сущность товарной экономики раскрывается и античное понимание сущности природы. Основатель Милетской школы – Фалес.

Фалес Милетский (525-547гг. до н.э.) первоначальной стихией полагал воду. Он полагал, что всё возникло из воды и в неё же всё превращается. Землю нашу он сравнивал с островом, плавающим в океане воды. Фалес Милетский получил известность благодаря предсказанию солнечного затмения, определению солнцестояний и равноденствий, открытию того, что Луна светит не своим светом. С его именем связывают нахождение способа измерения высоты пирамид по длине их тени. Им были указаны Полярная звезда и ряд созвездий, что послужило руководством для мореплавания. Фалес впервые ввёл календарь, определив продолжительность года в 360 дней и разделив его на 12 тридцатидневных месяцев. Ученик Фалеса - Анаксимен (585-524г. до н.э.) объяснял возникновение всех тел окружающего мира различной степенью разрежения и уплотнения воздуха. Другой ученик Фалеса - Анаксимандр (610-546 г. до н.э.) основой мира считал качественно неопределённое мифическое первовещество –

апейрон (в переводе – «беспредельное») – некая туманная масса, находившаяся в постоянном круговом вращении, из которой в конце концов произошло всё разнообразие мира.

Он впервые представил космологическую картину мира: центр – Земля, вокруг неё 3 кольца; солнечное, лунное и звёздное, покрытые воздушной оболочкой. При её разрыве наблюдаются светила. Земля пребывает в мировом пространстве, ни на что не опираясь – самое значительное достижение научной мысли Милетской школы.

Особое место в науке Древней Греции занимал Пифагор Самосский (582-500 г. до н.э.) [2] Это самый знаменитый философ. Пифагор был склонен ко всем наукам. У знаменитых учителей того времени он изучал музыку и живопись, геометрию и астрономию, овладел жреческой премудростью, в Вавилоне у халдеев постиг учение об исчислении и наблюдении за небесами. Он был превосходно знаком с содержанием восточных и западных эзотерических (эзотерическое - «тайное») школ. Жил среди евреев и узнал там о традициях Моисея-законодателя Израиля. Пифагор был в Египте, Вавилоне, а через Малую Азию и Персию совершил путешествие в Индустан, где он был несколько лет учеником, а потом принят в брамины. Умудрённый познаниями, он вернулся в Самос и основал там религиозно-философскую школу, которая имела две ступени: экзотерическую и эзотерическую, т.е. всё учение разделил на “явное” и “тайное”. При поступлении ученики должны были знать геометрию, музыку и астрономию. В дальнейшем они разделялись на экзотериков (постигающих внешнее) и эзотериков (математиков, постигающих сущее). В школе он преподавал учение о числах, акустику, гармонию небесных сфер, посвящал в тайны переселения душ. Он был аскет, очень умеренный во всём и требовал от учеников неукоснительного соблюдения всех правил аскетизма. А когда власть в Самосе захватил тиран Поликрат, Пифагор покинул родину, рассудив, что не пристало философу пребывать в тираническом государстве. Перебрался в Южную Италию (Кротон), где были греческие общины, и создал там школу, помогал многим городам освободиться от тирании.

В науке он внёс немалый вклад в развитие математики и астрономии. Важной отличительной чертой миропонимания Пифагора было учение о числе как основе Вселенной. Известна со школы теорема Пифагора. Он ввёл меры и веса, ввёл понятия: философ, космос, гармония сфер. Он был первым человеком, назвавшим себя философом (тем, кто пытается найти истину).

Рациональное и мистическое сливаются воедино в его имени, дав мощный толчок противоречивым изысканиям в науке и теологии, что и получило в дальнейшем название “пифагореизм”. Будучи представителем «элементаризма»

в античной натурфилософии, к уже упомянутым 4-м стихиям он добавляет пятую – эфир и увязывает их с пятью видами многогранников (земля- куб, вода-икосаэдр, огонь-тетраэдр, воздух-октаэдр, эфир-двенадцатигранник). В устройстве мироздания он был, как и Анаксимандр, геоцентристом. Он не писал книг, а убеждал речью. Учение о числах было вскоре утрачено и только в I-II в. н.э. начинается новый подъём полузабытого учения в трудах неопифагорийцев и неоплатоников в отрывках; в целостности оно не сохранилось

II этап древнегреческой натурфилософии – Афинский (V-IV в. до н.э.)

Этот период времени от возвышения Афин как города-государства до подчинения Александром Македонским греческих полисов. В этот период развития естествознания завершается господство концепции “стихий” как первоначал мира и возникает новое направление – атомистика.

Эмпедокл (483-423 г. до .н.э.) – продолжатель учений Милетской школы о 4-х стихиях. В качестве первоосновы выдвигались все 4 элемента, которые в различных сочетаниях друг с другом образуют всё многообразие мира.

На смену этим представлениям о мире приходит стройное по тому времени атомистическое учение. Выдающимся представителем новой натурфилософии (НФ) был Демокрит (460-370 г. до .н.э.). Основные принципы его учения заключены в следующих положениях:

1). Вся вселенная состоит из мельчайших материальных частиц-атомов и незаполненного пространства-пустоты. Наличие последней является обязательным условием для осуществления перемещения атомов в пространстве.

2). Атомы неуничтожимы, вечны, а потому и вся вселенная, из них состоящая, вечна.

3). Атомы представляют собой мельчайшие, неизменные и абсолютно неделимые частицы («кирпичики мироздания»).

4). Атомы находятся в постоянном движении, изменяют своё положение в пространстве.

5). Различаются атомы по форме и величине. Все они столь малы, что не воспринимаются органами чувств. Самые малые атомы имеют, например, сферическую форму. Демокрит называл их ”атомами души и человеческой мысли”.

6). Все предметы материального мира образуются из атомов различных форм и различного порядка их сочетаний (подобно образованию слов из букв).

Представляет интерес учение Демокрита о строении Вселенной. Он полагал, что из атомов состоят не только окружающие человека предметы, но и целые миры, которых во Вселенной бесчисленное множество. Одни возникают, другие находятся в расцвете, а третьи разрушаются, разлагаясь на атомы.

Учение Демокрита об атомном строении тел и бесконечной Вселенной, о вечности и неуничтожимости движения настолько опережало его время, что впоследствии многие поколения ученых разрабатывали его идеи.

Следующим выдающимся ученым Афинского периода развития древнегреческой натурфилософии был Аристотель (384-322 г. до н.э.). Ученик Платона, получивший образование в его академии, он создал впоследствии в Афинах свою собственную школу - «ликей» (отсюда пошло современное название «лицей»), завоевавший большую известность. Аристотель был учителем Александра Македонского - будущего выдающегося полководца. К. Маркс поэтому называл Аристотеля «Александром Македонским греческой философии». В круг естественнонаучных интересов Аристотеля входили физика, астрономия, механика, биология. Он основал формальную логику. Жизнь он определял как способность к самообеспечению, а также к независимому росту и распаду.

Аристотелем описано несколько сот животных; он предписывал, следуя учителю Платону, движению некоторое “врождённое” свойство, заставляющее всё на земле стремиться к своему “естественному” месту.

Он отделил первую философию от наук, изучающих природный мир. Впоследствии (в 1 в. до н. э.) Андронник Родосский назвал эту часть метафизикой. С тех пор метафизикой стало называться философское учение о недоступных опыту “первоначалах” бытия в отличие от физики – науки о природе. Аристотель в отличие от космологических воззрений Демокрита, считал, что вселенная конечна, а источником всякого движения являлся Бог. Геоцентрическая космология Аристотеля, впоследствии математически оформленная и обоснованная Птолемеем, заняла господствующее положение в космологии не только поздней античности, но и всего периода Средневековья – вплоть до XVI в.

III этап – эллинистский (330-30 г.г. до н.э.).

Он начинается с подчинения Александром Македонским самостоятельных городов-государств Древней Греции и завершается возвышением Древнего Рима. Новая столица – Александрия. Правители Македонии серьёзно и внимательно относились к древнегреческой науке, что диктовалось необходимостью совершенствования техники и технологии ремесленного производства, потребностями развивающейся торговли и необходимостью развития технических средств ведения войн. Было даже финансирование научных работ. В Александрии существовала школа, связанная с ликеем, под названием «Мусейон» (отсюда пошло современное название «музей»). Среди основных учёных этого периода нужно выделить Евклида, Эпикура и Архимеда.

Евклид (3 в. до н.э.) жил в Александрии. Его труд «Начала» состоял из 15 томов и включал свои труды и достижения других учёных этого периода. Эпи-

кур (341-270 гг до н.э.) развил идеи атомистики. Он утверждал, что атомы не могут превышать известной величины; число их форм ограничено, атомы обладают весом; пытался найти какие-то внутренние источники жизни атомов; полагал, что изменение направления движения обусловлено внутренними причинами в самом атоме. Архимед (287-212 гг. до н.э.) - выдающийся математик, механик и физик. Он разработал методы вычисления площадей поверхностей и объёмов; ввёл число «π». Архимед ввел понятие и вычисление центра тяжести, установил законы рычага (ему приписывают слова: «Дайте мне точку опоры и я сдвину землю»). Труды Архимеда по гидростатике и плавучести тел используются до настоящего времени. Он очень доступно объяснял научные явления и был практиком. Известны “архимедов винт”, рычаги, блоки, полиспасты для подъёма тяжестей. Архимед был патриотом и возглавлял Сиракузы во второй Пунической войне (войны Рима с Карфагеном), в которой была одержана победа. Научные труды его долго не оценивались достойно. Они нашли своё применение лишь спустя 1,5 тысячи лет.

Древнеримский период античной натурфилософии (I в. до н.э. – II в. н.э.)

Учёных этого периода было немало, но мало новых идей. В основном разрабатывались идеи, высказанные древнегреческими учёными. Можно выделить несколько учёных:

Тит Лукреций (1 в. до н.э.). Его основной труд “О природе вещей” - источник сведений об атомистическом учении Демокрита и Эпикура; самим им высказана мысль о вечности материи и временности вещей, состоящих из атомов; Анней Сенека (география, физика, метеорология); Папп Александрийский (математика); Манилий (астрономия); Клавдий Птолемей (90-168гг н.э.) - самый выдающийся александрийский греческий учёный этого периода.

Он занимался астрономией, географией, математикой. Главный труд К. Птолемея - “Математическая система”, определивший дальнейшее развитие астрономии на тысячелетие. В нём он обосновал Аристотелю геоцентрическую систему, представив математическую теорию, описывающую движение солнца, луны, пяти известных тогда планет (Меркурий, Венера, Марс, Юпитер, Сатурн). Когда эта школа пришла в упадок, греческий оригинал был утерян, а переведённый с арабского он уже получил название “Альмагест” (под таким названием известен этот труд сейчас). Теория просуществовала 1375 лет, до Коперника

Средневековье (V-XV в.в.)

В этот период происходит закат классической греко-римской культуры и резко усиливается влияние церкви на всю духовную жизнь общества. Догматы церкви стали и политическими аксиомами. Церковь занимала главенствующее

положение во всех сферах жизни. Философия сближается с теологией и служит ей. Европейская христианская наука переживала длительный период упадка (до 12-13 веков). Прогресс науки наблюдался на востоке. В IX в. там переведены основной труд Птолемея, получивший название после обратного перевода с арабского “Альмагест”, “Начала” Евклида, труды Аристотеля, которые способствовали развитию там наук. Арабские учёные этого периода: Мухамед аль-Баттани (850-929) – астроном, Ибн-Юнас (950-1009) – математик (главным образом, тригонометрия), Ибн аль-Хайсам (965-1020) – оптик, Ибн-Рушд (1126-1198)-философ и естествоиспытатель.

Опираясь на материалы арабских алхимиков, европейские учёные в позднее средневековье создали химию. В XI веке Европа соприкоснулась с богатствами арабской цивилизации. В XII веке в Европе возникли университеты: в Париже, Болонье, Кембридже, Оксфорде. Хотя они готовили духовенство, но впервые в этих университетах была введена система знаний. В XIII веке в Париже Иордан Неморари продолжил работы Архимеда по статике (задача о равновесии тела на наклонной плоскости); в XIV веке в Оксфорде математик Томас Брадвардин (1290-1349) издал труд “О пропорциях” (1328г.), который впоследствии стал основой «Математических начал натуральной философии» И. Ньютона. В целом же познание отдельных явлений вкладывалось в схемы мироздания, выдвинутые в период античности (в основном, Аристотелем).

Таким образом, в НФ нужно выделить геоцентрические идеи Космоса, которые имели более широкое распространение по сравнению с гелиоцентрическими моделями Гераклида Понтийского (IV век до н.э.) и Аристарха Самосского (III век до н.э.). Среди значимых натурфилософских идей античности не меньший интерес представляют атомистика и элементаризм. Атомистика, как считает Аристотель, возникла в процессе решения космогонической проблемы, поставленной ещё Парменидом Элейским (540-450 г. до н.э.). Мысль Парменида звучала так: как найти единое, неизменное и неуничтожающееся в многообразии изменчивого, возникающего и уничтожающегося. В античности нашли два пути решения этой проблемы. Один путь решения был предложен Левкиппом и Демокритом (атомистика). Второй путь решения связывают с Эмпедоклом, Пифагором и др. (элементаризм). Аристотель [3] создал всеобъемлющую систему знаний о мире, наиболее адекватную сознанию своих современников. Труды его сохранились до настоящего времени.

Лекция 5

История естествознания (XV в. –XX в.)

Научные революции в истории общества

В античный период НФ шёл процесс постепенного нарастания знаний. Начиная с XVI века, характер научного процесса существенно меняется. Наблюдаются переломные этапы, в которые радикально менялось прежнее видение мира. Они получили название научных революций. В отличие от социальных революций они протяжённы во времени, ибо связаны с переменой мировоззрения, с новым видением мира, что влечёт за собой новые методы познания. Глобальная научная революция может происходить в начале в одной из фундаментальных наук, потом новые представления возникают и в других областях знания, а затем меняется и миропонимание в целом.

1-я научная революция (XV-XVI в.)

(.Гелиоцентрическая система мира)

XV-XVI в - переход от Средневековья к Новому времени, это эпоха Возрождения, возрождения культурных ценностей античности. Эпоха характеризовалась значительным прогрессом науки. 1-я научная революция обязана создателю нового мировоззрения – великому польскому учёному Николаю Копернику (1473-1543). Его основной труд - “Об обращениях небесных сфер”. Основное значение этого труда заключается в следующем:

1. Возникло принципиально новое миропонимание, которое исходило из того, что Земля – одна из планет, движущихся вокруг Солнца по круговым орбитам.

2. Коперник высказал очень важную мысль о движении как естественном свойстве небесных и земных объектов, обусловленном законами единой механики.

3. Он показал ограниченность чувственных восприятий и тем самым доказал необходимость для науки критического разума.

4. Учение Коперника подрывало картину мира религиозную, опиравшуюся на идеи Аристотеля.

Защитники учения Коперника были объявлены католической церковью еретиками и подвергнуты гонениям. В 1616 г. его труд был внесён в папский список запрещённых книг, откуда был вычеркнут только в 1835 г. С этого момента начинается размежевание естествознания и теологии. Существенным недостатком в представлении Коперника было убеждение о конечности мироздания, то есть Вселенная где-то заканчивается твёрдой сферой. Такой взгляд про-

тиворечил картине мира, заложенной самим Коперником. Датский астроном Тихо Браге (1546-1601) в 1577 году рассчитал орбиту кометы, проходящей вблизи планеты Венера, которая должна была бы натолкнуться на твёрдую сферу, если бы она там была. Однако никаких столкновений не наблюдалось.

Второй учёный, сторонник Коперника, - это Джордано Бруно (1548-1600г.). Он пошёл дальше, отрицая наличие центра Вселенной вообще, отстаивая тезис о бесконечности Вселенной и полагая, что во Вселенной множество тел, подобных Солнцу и окружающим его планетам. Полагал он и существование других обитаемых миров. Судьба его трагическая: в 1592 г. арестован, 8 лет провёл в тюрьме и в 1600 г. сожжён в Риме как нераскаявшийся грешник. Но остановить прогресс было уже нельзя.

II – я научная революция (XVII-XVIII в.)

Создание классической механики и экспериментального естествознания

XVII и XVIII века – эпоха Нового времени. В XVII-м веке зародилась современная наука, у истоков которой стояли выдающиеся учёные: Г.Галилей, И.Кеплер, И. Ньютон. Галилео Галилей (1564-1642) заложил основы новых представлений в механике.

Самая фундаментальная проблема, остававшаяся в течение тысячи лет неразрешённой, - писали А.Эйнштейн и Л. Инфельд [4] - это проблема движения. До Галилея господствовал принцип Аристотеля: тело движется только при наличии на нём внешнего воздействия, и если это воздействие прекращается, тело останавливается. Галилей сформулировал новый принцип (принцип инерции): тело либо находится в состоянии покоя, либо движется, не изменяя направления и скорости своего движения, если на него не производится какое-либо внешнее воздействие. Открытие Галилея – важнейшее достижение в истории человеческой мысли, и оно отмечает действительное начало физики. Большое значение для становления механики как науки имели исследования Галилеем свободного падения тел и сформулированных на основе экспериментов его основных законах: 1) скорость падения не зависит от массы (в противоположность Аристотелю), а зависит только от высоты; 2) высота (h) пропорциональна квадрату времени (t) : $h=gt^2/2$, где g – ускорение свободного падения ; 3) траектория тела, брошенного вверх, под воздействием земного притяжения является параболой.

Г.Галилей экспериментально обнаружил весомость воздуха, открыл законы колебаний маятника, разработал учение о сопротивлении материалов. Он понимал, что слепая вера в Аристотеля тормозит развитие науки. Он же вёл ас-

астрономические наблюдения, подтвердившие гелиоцентрическую систему Коперника; построил впервые телескоп (3х , 32х), с помощью которого увидел пятна на солнце; установил, что солнце вращается вокруг своей оси, обнаружил у Юпитера 4 спутника (сейчас их найдено 13), открыл либрацию Луны, Млечный путь. Г.Галилей написал труд “Диалог о двух системах мира – Птоломеевский и Коперниковский”, в котором отстаивал картину мироздания Н. Коперника. Правда, перед судом инквизиции за это сочинение Галилей отрёкся от учения Коперника и покаялся публично.

Иоганн Кеплер (1571-1630) занимал место придворного астронома при австрийском императоре после умершего Тихо Браге. Он высоко оценил астрономические наблюдения Н. Галилея в своём труде “Рассуждение о Звёздном вестнике”. И. Кеплер открыл законы небесной механики, которыми пользуются до настоящего времени:

1) каждая планета движется по эллиптической орбите (а не круговой, как предполагал Коперник) , в одном из фокусов которой находится Солнце;

2) радиус-вектор описывает в равные промежутки времени равные площади;

3) квадратуры времён обращения планет вокруг солнца пропорциональны кубам больших полуосей их орбит.

Он разработал теорию солнечных и лунных затмений, уточнил расстояние Земля – Солнце.

Законы движения были описаны, но не понятны причины движения. Предлагались различные гипотезы. Так французский учёный Рене Декарт (1596-1650) пытался объяснить причину движения теорией вихрей, но обесмертил своё имя в другой сфере – аналитической геометрии (декартова система координат). И только величайший учёный, трудами которого завершилась 2-я научная революция, Исаак Ньютон (1643-1727) создал учение о силах и их взаимодействии. Его основные достижения:

1) дифференциальное и интегральное исчисление (параллельно с Лейбницем);

2) астрономические наблюдения (с помощью созданного им зеркального телескопа);

3) в оптике им открыта дисперсия света;

4) продолжение трудов Галилея и завершение здания классической механики.

В 1687 г. вышел главный труд Ньютона “Математические начала натуральной философии”- основа современной теоретической физики. В истории естествознания не было события более крупного, чем появление “Начал” (С.И.Вавилов).

Все предшествующие труды и перипетии Аристотеля, Птолемея, Коперника, Галилея, Кеплера, Декарта поглощались и заменялись гениальной ясностью и стройностью “Начал”. Дж. Бернал [5] писал: « По убедительности аргументации, подкреплённой физическими доказательствами, книга не имеет себе равных во всей истории науки». Её можно сравнить с “Началами” Евклида и “Происхождением видов” Дарвина. Этим трудом была создана научно-исследовательская программа - экспериментальная философия. И. Ньютон в этом труде математически вывел три закона движения. По *первому закону*, тело, находящееся в состоянии покоя, стремится оставаться в состоянии покоя до тех пор, пока на него не подействует внешняя сила, а тело, находящееся в движении, стремится оставаться в движении с той же скоростью и направлением до тех пор, пока на него не подействует внешняя сила. Это свойство известно как *инерция*. *Второй закон* гласит, что изменение скорости, или *ускорение*, тела в результате воздействия силы прямо пропорционально силе и обратно пропорционально массе тела, а направление ускорения совпадает с направлением силы; если ускорение равно a , сила равна F , масса равна m , то

$$a = F/m \quad (5.1).$$

По *третьему закону*, каждому действию всегда соответствует равное и противоположно направленное противодействие.

Ни одно из ранее сделанных открытий не оказало столь громадного значения как закон Всемирного тяготения. Согласно этому закону между любой парой тел во Вселенной действует сила взаимного притяжения. Как и все физические законы, он облечен в форму математического уравнения. Если M и m — массы двух тел, а R — расстояние между ними, тогда сила F взаимного гравитационного притяжения между ними равна:

$$F = G \cdot M \cdot m / R^2, \quad (5.2)$$

где G — гравитационная константа, определяемая экспериментально. В единицах СИ ее значение составляет приблизительно $6,67 \times 10^{-11}$. Ему подчинялось всё: большое и малое, земное и небесное. Он – основа небесной механики. Из законов Ньютона и закона Всемирного тяготения выводились все законы Кеплера. Если величина g была для Галилея величиной измеряемой в эксперименте, то теперь она вычислялась из законов (5.2) и (5.1).

Естествознание XVII века характеризовалось революционными достижениями не только в космологии и механике. В этот период строилось, образно говоря, здание химической науки. С целью достижения взаимопонимания между химиками и механистическими философами этой наукой занялся английский физик Роберт Бойль (1627-1662). Как физик он получил известность благодаря открытию газового закона, выражающего зависимость объёма газа (V) от давления (P):

$$PV=RT \quad (5.3),$$

где R - газовая постоянная. Поскольку этот же закон установил независимо и французский физик Э. Мариотт (1620-1684), то закон (5.3) назвали законом Бойля-Мариотта. В своей книге “Химик-скептик” (1661г.) Бойль отверг утверждение античных натурфилософов о четырёх стихиях и изложил применительно к химии основы корпускулярной теории. Р. Бойль дал определение корпускулы как простейшего неделимого элемента вещества, поставил основные задачи перед химиками (получение чистых веществ и определение их состава), тем самым он положил начало химии как самостоятельной науки.

В биологии этого периода нужно выделить плодотворную деятельность известного шведского учёного Карла Линнея (1707-1778). Все свои творческие силы в результате анализа путешествий и наблюдений он отдал классификации растительного и животного мира. В своём основном труде “Система природы” он сформулировал принцип такой классификации: класс→ отряд→ род→ вид. Живые организмы делились на 6 классов, растительный мир на 24 класса. Оригинальной идеей Линнея стала бинарная система обозначения растений и животных: первое – родовое, второе – видовое (например, *Homo sapiens* – человек разумный, *Urtica dioica* – крапива двудомная, *betula alba* – береза белая), существующая до сих пор. Однако, расположив растения и животных в порядке усложнения их строения, он не усмотрел в этом усложнении развития. Линней считал виды растений и животных абсолютно неизменными. «А самих видов столько, сколько их создано творцом», - писал он в своём труде, Достижения естествознания этого периода опровергали метафизический взгляд на природу, демонстрировали ограниченность метафизики.

3 -я научная революция (XVIII-XIX в.)

Диалектизация естествознания

Суть третьей научной революции – создание диалектического метода познания. Начало этому процессу положила работа немецкого учёного и философа Эммануила Канта (1724-1804) “Всеобщая естественная история и теория неба” (1775 г.). В ней Кант опирался на классическую механику XVII в. Один из разделов этой работы назывался “Опыт об устройстве и механическом происхождении всего мироздания на основании Ньютоновских законов”. Кант полагал весь околосолнечный мир происходящим из некой туманности, отдельные частицы которой под действием сил притяжения скапливались в Солнце, планеты, спутники и т.д., вращающиеся потом вокруг оси и около Солнца. Однако ему удалось создать развивающуюся картину мира, которая не соответствовала философии Ньютона, поскольку была эволюционирующей. Его космогониче-

ская теория «пробила первую брешь» в метафизике. Однако на его труд научная общественность не обратила внимания, и он оставался неизвестным до конца XVIII в. Через 20 лет французский математик и астроном Лаплас Пьер Симон (1749—1827) независимо от Канта построил космогоническую теорию, подобную же Кантовской (“Изложение системы мира”, 1796 г.) Обе гипотезы были объединены и почти 100 лет просуществовали в науке в обобщенном виде – космогоническая гипотеза Канта – Лапласа.

В XIX в. диалектическая идея развития распространилась на широкие области естествознания и, в первую очередь, на геологию и биологию. В первой половине XIX в. происходила острая борьба двух концепций: катастрофизма и эволюционизма, которые по-разному объясняли историю нашей планеты. Накопленные данные о смене геологических формаций и фаун, ископаемые остатки которых находились в земных слоях, навели на мысль о катастрофах, которые время от времени случались на нашей планете. Именно такое объяснение было предложено Жоржем Кювье (1769-1832), французским естествоиспытателем. В своей работе “Рассуждения о переворотах на поверхности земли” (1812 г.) он утверждал, что периодически на земле происходят мировые катастрофы, сопровождающиеся поднятием и опусканием суши, наводнениями и др. Гибли при этом животные, и в новых условиях создавались новые виды.

В противоположность ему Жан Батист Ламарк (1744-1829гг.) в биологии противопоставил Ж. Кювье эволюционное учение. В 1809 г. вышла его работа “Философия зоологии”. Ламарк видел в изменившихся условиях окружающей среды движущую силу эволюции органического мира, так как менялись при изменении окружающей среды потребности животных, вследствие чего изменялась их жизнедеятельность. Он считал, что в течение одного поколения в случае перемен в функционировании того или иного органа в нем появляются наследственные изменения. При этом усиленное упражнение органов укрепляет их, а отсутствие – ослабляет. Так появляются новые органы. Но ни Ламарк, ни его последователи не смогли доказать передачу по наследству этих приобретённых изменений. Это не умаляет его заслуги как создателя первого в истории науки целостного систематического эволюционного учения.

Важную роль для утверждения эволюционного учения сыграл трёхтомный труд “Основы геологии” английского естествоиспытателя Чарльза Лайеля (1797-1875), опубликованный в 1830-1833 гг. Он показал, что геологические изменения происходили под влиянием тех же условий, которые действуют и ныне, потому не нужно прибегать к теории катастроф, а лишь допускать очень длительный срок существования Земли. Этот труд оказал существенное влияние на Ч. Дарвина (1809 -1882).

Главный труд Дарвина “Происхождение видов” был опубликован в 1859 г. В нём Дарвин, опираясь на огромный естественнонаучный материал из области палеонтологии, эмбриологии, сравнительной анатомии, географии животных и растений, изложил факты и причины биологической эволюции. Он показал, что вне саморазвития органический мир не существует, и поэтому органическая эволюция не может прекратиться. Развитие – это условие существования вида, условие его приспособления к окружающей среде. Каждый вид, считал Дарвин, всегда находится на пути недостижимой гармонии с его жизненными условиями. Принципиально важной в учении Дарвина является теория естественного отбора. Согласно этой теории, виды с их относительно целесообразной организацией возникли и возникают в результате отбора и накопления качеств, полезных для организмов в их борьбе за существование в данных условиях.

Видный английский биолог Томас Гексли 23 ноября 1859г., сразу же после выхода в свет книги Дарвина «Происхождение видов» писал ему следующее: “Теперь уже дело Ваших противников доказывать, что виды произошли не так, как Вы думаете... Надеюсь, что Вы не позволите себе огорчиться или смутиться, когда Вас будут бранить или исказить Ваши мысли, а к этому, если я только не сильно ошибаюсь, Вы должны быть готовы. *Верьте мне. Вы заслужили вечную благодарность всех мыслящих людей*”. Наряду с фундаментальными работами, раскрывающими процесс эволюции, появились новые естественнонаучные открытия, подтверждающие наличие всеобщих связей в природе. К числу их следует отнести:

1) Открытие клеточной теории Матиасом Якобом (1804-1881) и профессором Теодором Шванном (1810-1882) для животного мира, что доказало единство всего органического мира.

2) Открытие закона сохранения и превращения энергии из одного вида в другой.

Было доказано, что все виды энергии (механическая, тепловая, световая, электрическая, магнетизм и химическая) переходят при известных условиях друг в друга без какой бы то ни было потери. Немецкий врач Роберт Майер (1814-1878) установил, что химическая энергия переходит в механическую или тепловую. Английский исследователь Джеймс Джоуль (1818-1889) говорил о превращении электрической энергии в тепловую в работе “О тепловом эффекте магнитоэлектричества и механическом эффекте теплоты” (1843). Сооткрыватель этого же закона Людвиг Кольдин (1815-1888) опытным путём получил соотношение между механической работой и тепловой (1843). Далее Герман

Гельмгольц (1821-1894), врач, от физиологии пришёл к этому же закону и увязал его с принципом невозможности вечного двигателя.

Получение Фридрихом Вёлером в 1828 г. мочевины искусственным путём положило начало целому ряду случаев синтеза органических соединений из неорганических веществ и тем самым положило конец представлениям о полной независимости двух огромных сфер природы: неорганической и органической. Учение Шарля Жерара (1816-1856) о гомологии (закономерном изменении свойств органических соединений в зависимости от их состава) также способствовало диалектизации естествознания, ибо укрепляло идею взаимосвязи и единства химических свойств. В гомологическом ряду достаточно знать историю одного члена, чтобы вывести историю другого. Всеми этими открытиями была доказана широкомасштабная связь материального мира.

И последнее эпохальное событие – открытие 1 марта 1869 г. Д.И.Менделеевым (1834-1907) периодического закона химических элементов. В труде “Опыт системы элементов, основанный на их атомном весе и химическом сходстве” он показал, что существует закономерная связь между химическими элементами: свойства их меняются в периодической зависимости от их атомных весов. Качественные свойства элементов зависят от их количественных свойств. Пустые места в таблице затем заполнялись, что доказывало справедливость этого закона: Ge открыт в 1875 г., Менделевий – в 1954 году (№101), 118-й элемент открыт в 2006 г.

Итак, основополагающие принципы диалектики – принцип развития и всеобщей взаимосвязи – получили во второй половине XVIII и в XIX вв. мощное естественнонаучное обоснование.

Третья научная революция стала основной для процесса очищения науки от ложных натурфилософских понятий и представлений. Так теория флогистона, изложенная наиболее полно в труде Штала (1660-1734), была опровергнута трудами французского учёного Антуана Лавуазье (1743-1794). Он показал, что хотя теория флогистона и объясняет кое-что в явлениях горения, в целом нельзя признать её научной. Новая теория горения свелась к следующим положениям:

1) Тела горят только в чистом воздухе (кислород ещё не был известен).

2) Чистый воздух поглощается при горении, и увеличение массы сгоревшего тела равно уменьшению массы воздуха.

3) Горящие металлы превращаются в земли (окислы), а сера и фосфор, соединяясь с чистым воздухом и водой, превращаются в кислоты.

В труде “Размышление о флогистоне” (1786) Лавуазье полностью развенчал эту модель. Он же открыл закон неизменности химических элементов.

Значительно позднее был развенчан теплород. Концепции теплорода М.В.Ломоносовым (1711-1765) было противопоставлено иное понимание тепловых явлений. В своей работе “Размышления о причине теплоты и холода” (1750 г.) он обосновал кинетическую теорию теплоты: вращательное движение частиц (корпускул) - причина тепла. Однако понятие о теплороде просуществовало ещё почти 100 лет.

Появление закона сохранения и превращения энергии помогло опровергнуть ещё одно натурфилософское представление - витализм как некую жизненную силу живого организма. Роберт Майер, врач, своими наблюдениями показал, что организм управляется естественными физико-химическими процессами.

Было понятие об электрических и магнитных жидкостях, что соответствует механистическому подходу, когда любые физические вопросы решались с помощью субстанций и действий между ними. Учёные пытались из начал механики вывести все остальные явления природы. Казалось бы, что открытие военным инженером – членом Парижской академии Шарлем Огюстом Кулоном (1736-1806) в 1785 г. давало надежду на это. Закон Кулона, определяющий силу взаимодействия F между двумя покоящимися точечными электрическими зарядами q на расстоянии r между ними

$$F=q^2/r^2, \quad (5.4)$$

формально был подобен закону тяготения (5.2). Работы Ампера. (1775-1836) и других ученых показали несостоятельность этой концепции и привели к понятию электромагнетизма.

Впоследствии стало ясно, что в науке появился один из законов электромагнетизма. Кроме массы, у частиц появился заряд – такое же фундаментальное свойство, как и масса. Английский химик и физик Майкл Фарадей, (1791-1867), гениальный экспериментатор, ввёл в науку понятие электромагнитного поля. Математическую разработку идей Фарадея дал Джеймс Клерк Максвелл (1831-1879). Трактат об электричестве и магнетизме был издан им в 1873 году. Доказательством существования электромагнитных волн были эксперименты Генриха Рудольфа Герца (1857-1894), проведённые по поручению Гельмгольца. В 1886 г. он их провёл, доказал беспроводное распространение электромагнитных волн. Параллельно с электромагнитными волнами работал русский учёный А.С.Попов. Эти работы в области электромагнетизма положили начало крушению механистической картины мира. Это были самые крупные события в физике со времён Галилея и Ньютона

И, наконец, последнее понятие – мировой эфир, к которому мы вернёмся позже. Все попытки открыть свойства эфира привели к трудностям и противоречиям. Наступил момент, когда следовало совершенно забыть об эфире и никогда больше не упоминать о нём.

4-я научная революция (конец XIX в. - начало XX в.)

Проникновение в глубь атома. Теория относительности и квантовая механика. Крушение механистической картины мира

К концу XIX века казалось, что физическая картина мира в основном построена. Однако, в последние годы XIX века и первые десятилетия XX века совершены научные открытия, которые снова не укладывались в рамки созданной картины. Какие же это были открытия?

1. Открытие французским физиком Антуаном Анри Беккерелем (1852-1908) в 1896 году явления самопроизвольного излучения урановой солью. Эти лучи, действуя на наэлектризованные тела, разряжали их, а активность препаратов урана оставалась неизменной более года. Эти лучи получили название беккерелевых. В его исследования включились Пьер Кюри (1859-1906) и Мария Склодовская Кюри (1867-1934). Они обнаружили, что и другие вещества (например, открытые ими полоний и радий) обладают такой способностью (1898 г.). Это свойство они назвали радиоактивностью.

2. Открытие Джозефом Джоном Томсоном (1856-1940), английским физиком, в лаборатории Кавендиша в Кембриджском университете первой элементарной частицы (1897 г.). В опытах по измерению заряда электрона q и отношения его заряда к массе q/m было обнаружено, что масса электрона **зависит от скорости?** В 1903 г. Томсон предложил первую электромагнитную модель атома, которая заключалась в том, что электроны плавали внутри положительно заряженной сферы.

В 1911 году знаменитый английский физик Эрнест Резерфорд (1871-1937), изучая поведение альфа – частиц при прохождении их через золотую фольгу, предложил свою планетарную модель атома, согласно которой атом подобен солнечной системе: он состоит из ядра и электронов, которые обращаются вокруг него. Результаты были доложены на заседании Манчестерского философского общества.

Резерфорд вместе с английским химиком Содди (1877-1956) провёл серьёзное изучение радиоактивности и доказал взаимное превращение атомных ядер под действием мощных сил. Тем самым он открыл новую область исследований, которую можно назвать «современной алхимией». В результате радиоактивного распада некоторые элементы самопроизвольно превращаются в другие. Это было научной сенсацией, поскольку со времени открытия Лавуазье закона неизменяемости химических элементов тогда рухнули все надежды алхимиков.

В 1900 г. Макс Планк (1858-1947), гениальный немецкий физик, разработал квантовую теорию, суть которой состоит в том, что испускание и поглощение электромагнитного излучения может происходить только квантами – дискретными конечными порциями.

Следующим сенсационным открытием была теория относительности Альберта Германа Эйнштейна (1879-1955). В 1905 году им была разработана специальная, а в 20–х годах XX в. – общая теория относительности. В отличие от механики Ньютона пространство и время в ней не абсолютны, а органически связаны с материей и между собой. Эта теория получила признание далеко не сразу. Она была не принята в фашистской Германии как неарийская. Как ни громадно значение теории относительности, но это не единственное его научное достижение А. Эйнштейна. Ему удалось обосновать природу фотоэффекта на основании теории о квантах Планка.

В следующих лекциях мы более подробно рассмотрим квантовую механику и теорию относительности как основные теории современной физики.

Рождение и развитие атомной физики окончательно сокрушило прежнюю механистическую картину мира; закончился классический этап в развитии естествознания. Наступил новый этап неклассического естествознания с квантово-релятивистскими представлениями о физической реальности, но механика Ньютона не исчезла. Она приемлема для скоростей, значительно меньших скорости света, и больших масс объектов макромира и рассматривается как частный случай.

Лекция 6

Квантовая механика

Тепловые спектры излучения, которые стали актуальными в конце XIX века в связи с развитием ламповой промышленности в Европе, не могли быть объяснены в рамках классической теории Рэля – Джинса (рис. 6.1) [6]. Ситуация получила название «ультрафиолетовой катастрофы», поскольку поведение спектра в короткой (ультрафиолетовой) области противоречило наблюдениям (кривые 1-3 на рис.6.2).

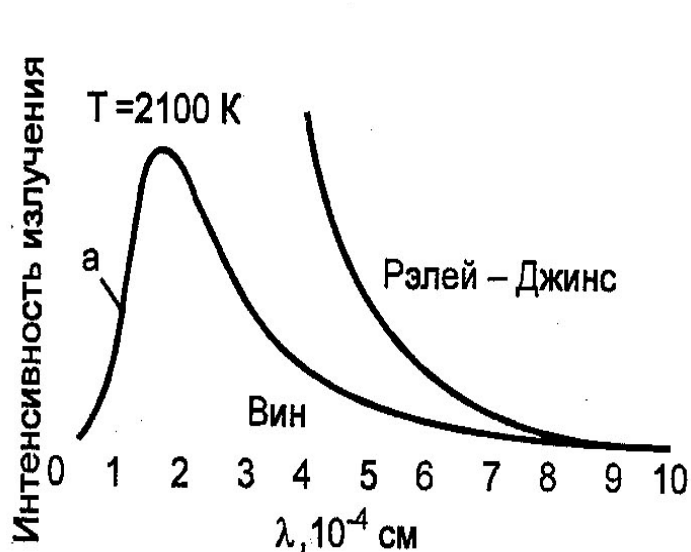


Рис. 6.1. Сравнение полученного в эксперименте спектра излучения (а) абсолютно твердого тела с результатами теорий Вина и Рэля-Джинса

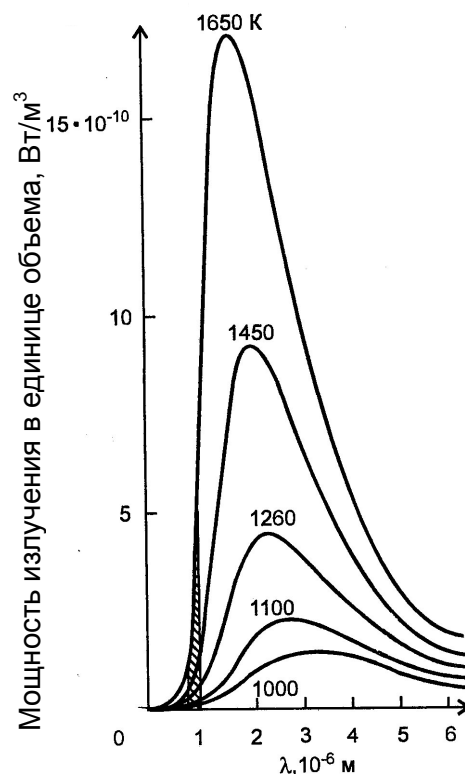


Рис. 6.2. Распределение энергии по длинам волн при изменении температуры

Экспериментальные кривые были с максимумом, причём этот максимум смещался с ростом температуры в коротковолновую область. Далее Р. Вин установил, что в коротковолновой области выполняется закон

$$\lambda = b/T, \quad (6.1)$$

где λ – длина волны, b – константа, T – температура. М. Планк (1858 – 1947) хотел получить эмпирическую формулу, которая бы переходила в закон Рэля – Джинса в длинноволновой области и в закон Вина в коротковолновой области. Он предложил теоретический вывод о соотношении температуры и испускаемым этим телом излучением. При выводе он предположил, что излучение ис-

пускают атомные осцилляторы, и эта энергия существует в виде порций, которые впоследствии были названы квантами. Энергия квантов выражалась формулой

$$E = h \nu, \quad (6.2)$$

где h – постоянная Планка, ν – частота колебаний. Доклад М. Планка на заседании немецкого физического общества 14.12.1900 г. назывался «К теории распределения энергии в нормальном спектре», и этот день впоследствии стал считаться началом эры квантовой физики. Предположение Планка оказалось гениальной догадкой существования реальных процессов в природе. Квантовая механика – это механика микромира, механика движения микрочастиц в микрополях – в атомах, молекулах, кристаллах. Она имеет целый ряд особенностей.

Основной особенностью квантовой механики является её статистический характер. Она позволяет вычислять лишь вероятность того или иного значения определённой физической величины. Причина этого кроется в корпускулярно-волновом дуализме микромира.

Корпускулярно-волновой дуализм. Оказалось, что поведение микрочастиц совершенно отличается от поведения макроскопических тел. Квантовая механика исходит из того, что в принципе невозможно построения теории индивидуального микропроцесса в отличие от классической теории, где точно описываются траектория и скорость (импульс) частицы. А возможна лишь теория статистических совокупностей – ансамблей. Точное знание координаты электрона означает полное незнание его импульса и наоборот. Немало усилий было приложено физиками для устранения возникшего противоречия с целью сохранения классического описания движения физических объектов. Подобное поведение объектов в микромире, считали наиболее революционно настроенные учёные, требует критического пересмотра самого понятия “частицы”, точно локализованной в пространстве и времени. Можно говорить лишь о вероятности того, где в данный момент времени находится частица, и это является неизбежным следствием введения в физическую теорию постоянной Планка.

Вернер Гейзенберг установил предельную точность, с которой можно одновременно определить координату и импульс микрочастицы, и получил следующее соотношение:

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq h, \quad (6.3)$$

где Δx – неопределённость значения координат; Δp – неопределённость значения импульса.

Анализируя соотношение неопределённостей, Н. Бор (1885-1962) выдвигает принцип дополнительности, согласно которому точная локализация мик-

рообъекта в пространстве и времени и точное применение к нему динамических законов сохранения исключают друг друга. Он показал, что корпускулярная и волновая модели описания поведения квантовых объектов не входят в противоречие друг с другом, потому что никогда не предстают одновременно. Принцип дополнительности Бора: получение в эксперименте информации об одних физических величинах, описывающих микрочастицу, неизбежно связано с потерей информации о некоторых других величинах, дополнительных к данным.

Положение элементарной частицы в пространстве в каждый момент времени не может быть определено с помощью системы координат, как для привычных классических частиц. Состояние объекта в квантовой механике определяется волновой функцией Ψ , квадрат модуля которой есть вероятность нахождения микрочастицы в элементе объёма dV , взятого вокруг данной точки. Вероятность нахождения микрочастицы во всём пространстве (или объёме) равна 1, так как это достоверное событие. Только при измерении, т.е. воздействии на элементарную частицу она обретает в пространстве конкретное место вместо «размазанного».

Австрийский физик Эрвин Шредингер вывел в 1926 г. уравнение, описывающее поведение таких «волн» во внешних силовых полях с помощью волновой функции – основное уравнение нерелятивистской квантовой механики. Оно имеет вид

$$i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t} = \left(-\frac{\hbar^2}{2m} \Delta + U \right) \Psi, \quad (6.4)$$

где $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$, U – потенциальная энергия.

В 1928 г. Дирак описал релятивистское движение микрочастиц с большими скоростями во внешнем силовом поле.

Вторая особенность микромира и, следовательно, квантовой механики – атомизм или дискретность физических величин. Микрочастица не всегда может находиться в произвольном состоянии. В частности, если она удерживается силами в более или менее локализованном состоянии, то состояния частицы оказываются квантованными в отличие от классических. С практической точки зрения самым важным следствием этого является линейчатый спектр излучения и поглощения атомов. Огромную роль в микромире играет постоянная Планка, так называемый квант действия – это та основная мера, которой измеряются все основные величины в микромире. Процессы, для которых существенна постоянная Планка, являются квантовыми, а процессы, в которых \hbar стремится к 0, описываются классической теорией.

Третья особенность заключается в том, что при построении аппарата квантовой механики мы всегда исходим из классической механики, в которую квантовая механика переходит при $h \rightarrow 0$.

Казалось, что корпускулярная теория материи доказана. Фотон имеет явно корпускулярные свойства; русский физик Лебедев П.Н. доказал даже существование светового давления в 1899 г. Но вскоре выяснилось, что определить энергию фотона, не обладающего массой покоя, невозможно, не представляя себе его в виде волны соответствующей длины и частоты. Получалось, что фотон – это одновременно и волна, и частица: распространяется он как волна, излучается и поглощается как частица.

Волна Луи де Бройля. Новая существенная особенность квантовой теории появилась в 1924 году, когда учёный Луи де Бройль (1892-1987) выдвинул идею о волновых свойствах материи. “Почему, если волновой материи присущи свойства корпускулярности, - писал он, - мы не вправе ожидать обратного; что корпускулярной материи присущи волновые свойства? Почему бы не мог существовать закон, единый для всякого вообще материального образования, не важно, волнового или корпускулярного?” Он ввёл понятие волны для любого корпускулярного объекта, которая в дальнейшем получила название волны де Бройля

$$\lambda_{\text{Бр}} = h/mv. \quad (6.5)$$

Наиболее убедительное подтверждение существования волновых свойств материи было получено в результате опытов по дифракции электронов в эксперименте, поставленном в 1927 году американскими физиками Клинтоном Дэвиссоном (1881-1958) и Лестером Джермером (1896-1971). Быстрые электроны, проходя сквозь очень тонкие пластинки металла, вели себя подобно свету, проходящему мимо малых отверстий или узких щелей. Другими словами, распределение электронов, отражавшихся от пластинки и летевших лишь по некоторым избранным направлениям, было таким же, как если бы на пластинку падал пучок света с длиной волны, равной длине волны электрона, вычисленной по формуле де Бройля.

Вторым доказательством гипотезы де Бройля является эффект Комптона, который заключается в увеличении длин волн электромагнитного излучения с малой длиной волны (например, рентгеновское или гамма-излучение) при упругом рассеянии их на свободных (слабо связанных) электронах. Такой средой, где можно считать движение электронов свободным, является, например, парафин. На рис. 6.3 показано, как увеличивается длина волны фотона после столкновения с электроном.

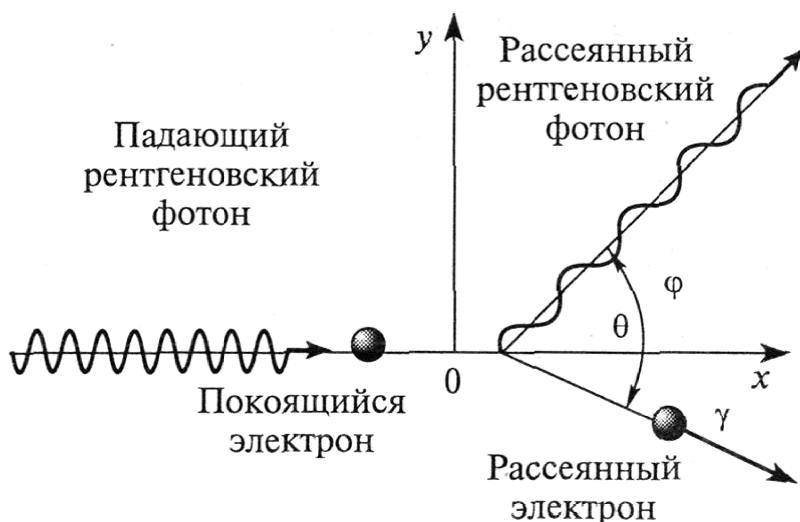


Рис. 6.3. Схема эффекта Комптона

Экспериментально подтверждённая гипотеза де Бройля превратилась в принципиальную основу, пожалуй, наиболее широкой физической теории – квантовой механики. Решение волнового уравнения оказало глубокое влияние на последующее развитие квантовой теории. За разработку плодотворных вариантов квантовой механики Гейзенберг, Шрёдингер и Дирак получили Нобелевскую премию.

Внешний фотоэффект заключается в испускании электронов твёрдым телом при воздействии на него электромагнитного излучения. Он был открыт Г. Герцем в 1887 г. и детально исследован А.Г. Столетовым в 1888 г. 3 основные закона внешнего фотоэффекта:

1. Ток насыщения пропорционален мощности падающего излучения.
2. Скорость электронов, вырываемых из тела при фотоэффекте, тем больше, чем больше частота поглощаемого света; начальная кинетическая энергия фотоэлектронов возрастает линейно с возрастанием частоты света ν .
3. Фотоэффект наблюдается только при облучении светом с частотой $\nu \geq \nu_{кр}$, где $\nu_{кр}$ – критическая частота, называемая «красной границей фотоэффекта», то есть частота, ниже которой внешний фотоэффект вообще не наблюдается. $\lambda = c/\nu_{кр}$ – длинноволновая граница фотоэффекта.

Второй и третий законы не могли быть объяснены в рамках классической теории. Основываясь на квантовой теории Планка, А. Эйнштейн объяснил второй и третий законы внешнего фотоэффекта.

Основное уравнение Эйнштейна

$$h\nu = A_{\text{вых}} + mv^2, \quad (6.6)$$

где $A_{\text{вых}}$ – работа выхода электрона из металла, m – масса электрона.

При $\nu = 0$ из (6.6) следует, что

$$\nu_{\text{мин}} = A_{\text{вых}}/h, \quad (6.7)$$

то есть оно определяется работой выхода электрона из металла. За цикл работ по внешнему фотоэффекту А. Эйнштейну была присуждена Нобелевская премия.

Датский учёный Н. Бор (1885-1962) в 1913 году на основе квантовой механики дополнил планетарную модель атома Резерфорда, которая была несостоятельна по следующим причинам. Во-первых, она не стыковалась с электродинамикой Максвелла. Согласно законам электродинамики любая частица, имеющая заряд и движущаяся с ускорением, должна излучать электромагнитную энергию. Но тогда электроны быстро бы потеряли кинетическую энергию и упали на ядро. Однако, атом - необычайно устойчивая система. Кроме того, частота излучения должна быть равна числу оборотов электронов вокруг ядра за секунду. И в этом случае спектр излучения электрона должен быть непрерывным, однако, спектр атомов линейчатый. Более того, он совершенно индивидуален для каждого химического элемента, что трудно совмещается с универсальностью электрона,

Модель атома, построенную на основе квантовой теории строения атома, в атомной физике называют моделью атома Резерфорда – Бора. Её основные постулаты:

1. В атоме существуют стационарные орбиты, находясь на которых, электроны не излучают энергию.
2. При переходе с одной стационарной орбиты на другую электрон либо поглощает (при переходе на более высокий уровень) , либо излучает энергию.

В заключение можно выделить основные отличия квантовых частиц от классических:

1. Для квантовых частиц характерен корпускулярно-волновой дуализм.
2. Вещество может переходить в излучение (аннигиляция частиц) и наоборот.
3. Поскольку для измерений квантовых частиц используются макроприборы, то невозможно измерить отдельную частицу, а лишь пакет частиц.

Лекция 7

Теория относительности А. Эйнштейна

Специальная теория относительности

В классической механике справедлив принцип относительности Галилея: «Если законы механики справедливы в одной системе координат, то они справедливы и в любой другой системе, движущейся прямолинейно и равномерно относительно первой». Такие системы называются инерциальными, поскольку движение в них подчиняется закону инерции, который звучит так: «Всякое тело сохраняет состояние покоя или равномерного и прямолинейного движения, если только оно не вынуждено изменить его под влиянием движущих сил». Математически принцип относительности в классической механике выражается преобразованиями Галилея.

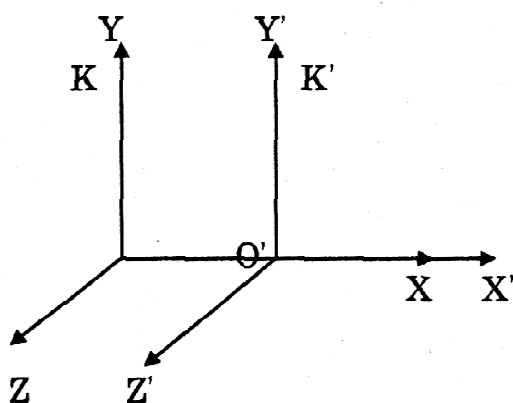


Рис. 7.1 Инерциальные системы отсчета

На рисунке 7.1[7] представлены две инерциальные системы отсчета: покоящаяся K с координатами (x, y, z) и движущаяся K' с координатами (x', y', z') , у которых оси x и x' совпадают, а оси y и y' и z и z' соответственно параллельны. Причём, система K' движется относительно первой K со скоростью u (много меньшей скорости света). Тогда между ними имеется следующая зависимость:

$$\begin{aligned}x &= x' + u \cdot t \\y &= y' \\z &= z'.\end{aligned}\tag{7.1}$$

Если мы возьмём производную по времени (t) от координаты x , то найдём выражение, связывающее скорости движения тела относительно обеих систем отсчета:

$$v = v' + u\tag{7.2}$$

Если мы теперь возьмём производную по времени от скоростей в правой и левой части уравнения (7.2), то найдём выражение, связывающее ускорения движения тела относительно обеих систем отсчета. Так как u является константой, то

$$a = a'\tag{7.3}$$

Уравнения (1) – (3) называются преобразованиями Галилея и описывают, как связаны между собой кинематические параметры движения тела при переходе из одной инерциальной системы отсчёта в другую. Тот факт, что ускорения тел относительно обеих инерциальных систем отсчёта одинаковы, позволяет сделать вывод о том, что законы механики одинаковы во всех инерциальных системах отсчёта. И это составляет суть принципа относительности Галилея. К трём уравнениям нужно добавить четвёртое уравнение

$$t=t', \quad (7.4)$$

утверждающее, что любые промежутки времени одинаковы в обеих системах отсчёта, что мы неявно и предполагали в своих рассуждениях. Иными словами, мы пользуемся истинно математическим временем по Ньютону, протекающим независимо от движения. Но тогда и любые временные (Δt) и пространственные (l) отрезки будут равны между собой: если $l=x_1-x_2$ и $l'=x'_1-x'_2$, то

$$l=l'; \quad (7.5)$$

$$\Delta t=\Delta t'. \quad (7.6)$$

Кризис классической физики конца XIX и начала XX веков связан был прежде всего с тем, что уравнения Максвелла, описывающие электромагнитное поле, оказались неинвариантными (не неизменными) при переходе из одной инерциальной системы отсчёта в другую относительно преобразований Галилея.

Распространение электромагнитных волн связывали с существованием эфира. История эфира начинается с античных времен, когда его ввел в обиход Пифагор. Античность завещала свой эфир средним векам, и в европейской науке этого времени эфир рассматривался как пятая стихия. При рассмотрении различных явлений учёные приписывали эфиру разные свойства, но оставалось неясным, что же он из себя представляет. У великого физика И. Ньютона отношения с эфиром были сложные и трудные, даже драматические [6]. В течение своей жизни он то утверждал, то отрицал существование эфира как мировой среды. Закон Всемирного тяготения, открытый им вначале для взаимодействия небесных тел, а потом для тел на Земле – типичный классический закон дальнего действия, в концепции которого неизбежно мгновенное действие сил тяготения через большие расстояния. Ньютон понимал, что его законы могут иметь смысл только, если пространство обладает физической реальностью, но доказать его существование он не мог. И в первом издании «Математических начал натуральной философии» в 1687 году всякое предположение об эфире отсутствовало. Но во втором издании в 1713 году Ньютон уделял серьёзное внимание

«некоему тончайшему эфиру, проникающему во все сплошные тела и в них содержащемуся»; интуиция не подводила Ньютона.

Особенно возрос интерес к эфиру после открытия электромагнитного поля. Искусный теоретик Дж. Максвелл в своих построениях предполагал возникающие при этом натяжения эфира. Бурное развитие волновой теории света заставило наделять эфир фантастическими свойствами. Когда английский физик Томас Юнг и французский ученый Огюст Френель пришли к выводу, что свет представляет собой не продольные, а поперечные колебания, им было трудно осмыслить результат как реальность. Чтобы обеспечить движение поперечных волн со скоростью света, эфир должен обладать фантастической упругостью, большей, чем у стали, и в то же время эфир должен быть прозрачнее, чем газ, и не должен мешать движению звёзд и планет.

Каждое новое достижение волновой теории света заставляло наделять эфир всё новыми свойствами, однако экспериментов, которые бы позволили отрицать эфир, не было. Объяснения световых явлений на основе эфирной теории стали выглядеть всё более надуманными. Кризис основ классической физики был налицо. Основными положениями классической физики являются:

1. Абсолютность пространства и времени, т. е. неизменность их в любых системах отсчёта независимо от того, находится ли эта система в покое или движется.

2. Принцип относительности Галилея, согласно которому все законы механики сохраняются в инерциальных системах отсчёта.

3. Правило сложения скоростей.

Следовало проверить действительность основных положений классической физики при скоростях, сравнимых по величине со скоростью света. Такой опыт был поставлен А. Физо в 1857 г. В опыте Физо по сложению скоростей среды и скорости распространения света в среде в качестве среды использовалась вода, скорость которой (u) менялась от 0 до 7 м/с. Скорость света в воде (v) равнялась 225 000 км/с ($v=c/n$, где c - скорость света в вакууме, n - коэффициент преломления воды). Результирующая скорость равнялась не алгебраической сумме ($u+v$), как в классической физике, а составляла $u+v \cdot (1-1/n)$. Напрашивался вывод, что классическая физика при больших скоростях, соизмеримых со скоростью света, не верна. Чтобы спасти её, учёные приняли гипотезу о движении света в эфире, находящемся между частицами воды и воздуха, т. е. была принята гипотеза существования неподвижного мирового эфира. Тогда перед учёными возник вопрос об её экспериментальном подтверждении. Так как земля вращается вокруг

солнца со скоростью $v = 30$ км/с, то можно поставить опыт по обнаружению движения земли в мировом неподвижном эфире. Осуществить опыт было трудно.

В 1881 году опыт провёл А.А. Майкельсон (1852-1931) после создания им точного высокочувствительного оптического прибора - интерферометра. Идея опыта заключалась в том, что если измерить скорость луча света, движущегося в направлении движения Земли по предполагаемому течению в эфире, а также скорость луча света, движущегося против течения в эфире, то земной наблюдатель убедится в различии этих скоростей. Оказалось, что фотонам безразлично куда лететь. Следовательно, скорость света не зависела от движения Земли.

Опыты Майкельсона повторялись в дальнейшем вместе с Морли, но результаты были прежними. Последствия эксперимента Майкельсона оказались судьбоносными. Вывод напрашивался один: гипотеза неподвижного эфира неверна. Для её спасения и согласования отрицательного результата опыта Майкельсона с идеей абсолютной системы отсчёта голландский учёный Х. Лоренц (одновременно с американцем Фицджеральдом) предложил гипотезу сокращения размеров тела в направлении движения. Описание фактов Х. Лоренцом было верным, но объяснение – нет. Из преобразований Х. Лоренца вытекала независимость скорости света от движения источника.

Уравнения преобразований кинематических параметров, выведенные Лоренцом, в отличие от преобразований Галилея, носят название уравнений Лоренца и имеют следующий вид при условии, что относительная скорость систем отсчёта, изображённых на рисунке 7.1, теперь велика и сравнима со скоростью света.

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad y = y', \quad z = z', \quad (7.7)$$

$$t' = \frac{t - \frac{v}{c^2}x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad (7.8)$$

$$l = l' \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}, \quad (7.9)$$

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (7.10)$$

Из формул (7.9) и (7.10) следует, что при скоростях, сравнимых со скоростью света, пространственные отрезки сокращаются, а время замедляется.

Однако экспериментальные данные Майкельсона о постоянстве скорости света независимо от системы координат и от того, движется ли источник, привели к парадоксу, для разрешения которого понадобилось введение принципиально новых представлений. Выход из кризиса предложил А. Эйнштейн в 1905 году, разработав физику больших скоростей (релятивистскую физику). Из опытов Физо и Майкельсона вытекало, что эфир покоится одновременно в неподвижной и подвижной системе, связанной с Землёй, что абсурдно. Из анализа этих опытов и из собственных соображений А. Эйнштейн приходит к отказу от эфира вообще. Для пояснения вывода он приводит следующий пример.

Представим себе, что в поезде, движущемся со скоростью v , находится источник света, скорость распространения которого равна c . Если наблюдатель будет находиться в поезде, то для него скорость распространения света будет равна c . Если наблюдатель находится на перроне (вне поезда), то для него скорость распространения света будет равна $c+v$. Если же наблюдатель находится внутри поезда, а источник света – на перроне, то для него скорость распространения света будет равна $c-v$. Рассматривая это противоречие, Эйнштейн предложил отказаться от представления об абсолютности и неизменности пространства и времени. Противоречие устраняется тем, что для наблюдателя, относительно которого физическая система движется со скоростью v , все процессы в этой системе замедляются в $t = t_0 \cdot 1 / \sqrt{1 - v^2/c^2}$ раз, (это явление замедления времени). Продольные (вдоль движения) размеры тел во столько же раз сокращаются, и события, одновременные для одного наблюдателя, оказываются неодновременными для другого, движущегося относительно первого (относительность одновременности). Учёт этих эффектов приводит к закону сложения скоростей, при котором предельная скорость одинакова для всех наблюдателей.

Это противоречит здравому смыслу, поскольку мы не можем представить себе никакого пространства, кроме 3-х мерного, и никакого времени, кроме одномерного. Но ещё Коперник говорил, что нельзя доверять ощущениям и следует включать критический разум. Главный критерий для науки – соответствие теории и эксперимента. Теория Эйнштейна удовлетворяет этому критерию.

Если принцип относительности Галилея относился к механическим явлениям, то в начале XX века принцип относительности Эйнштейна расширил своё значение и звучал так: *любой процесс протекает одинаково в изолированной*

материальной системе и в такой же системе, находящейся в состоянии равномерного и прямолинейного движения. Или другими словами: законы физики имеют одинаковую форму во всех инерциальных системах отсчёта.

Переход от одной инерциальной системы отсчёта к другой осуществлялся в соответствии с преобразованиями Лоренца (при этом меняются не только координаты в пространстве, но может не быть и одновременности процессов).

В истории науки известны две концепции пространства: какместилище материи (Ньютона) и пространство, свойства которого связаны со свойствами тел, находящихся в нём (Лейбница). В соответствии с теорией относительности любое тело определяет геометрию пространства.

Пространство ответственно за расположение отдельных элементов материи друг относительно друга, а время – за закономерную координацию сменяющихся друг друга событий. Характеристиками пространства считались **однородность (одинаковость свойств во всех направлениях) и изотропность (независимость свойств от точки отсчёта)**. Время так же считалось однородным, т. е. любой процесс повторим через некоторый промежуток времени. С этими свойствами связана симметрия мира.

В специальной теории относительности длины тел или расстояния между двумя материальными точками не абсолютны, а относительны и зависят от скорости. При скорости, сравнимой со скоростью света, процессы в системе замедляются, а расстояния сокращаются. Так время жизни медленно движущегося пи-мезона составляет примерно 10^{-6} с, а быстро движущегося – во много раз больше.

Теория относительности – физическая теория, рассматривающая пространственно-временные закономерности, справедливые для любых физических процессов [8]. Общая теория относительности (ОТО) рассматривает свойства пространства-времени, которые определяются действующими в данной области полями тяготения (1915), в частной или специальной (СТО) теории относительности свойства пространства-времени изучаются с той точностью, с какой можно пренебречь действием тяготения (1905). Логически СТО – есть частный случай ОТО.

Явления, описываемые теорией относительности, называются релятивистскими и проявляются при скоростях движения тел, близких к скорости света $c=3 \cdot 10^8$ м/с. В этом случае зависимость энергии E от v описывается не классической формулой $E_{кин.} = mv^2/2$, а релятивистской

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}. \quad (7.11)$$

Масса m называется массой покоя тела. Из (11) видно, что при $v=c$ $E = \infty$, поэтому, если m не равна 0, то $v < c$.

Существование предельной скорости означает необходимость глубокого изменения обычных представлений о времени-пространстве, основанных на обычном опыте.

Явление замедления времени наблюдается при распадах нестабильных элементарных частиц космических лучей или частиц, получаемых с помощью ускорителей высоких энергий. Такие частицы движутся со скоростью, примерно равной скорости света, и с точки зрения земного наблюдателя их время жизни (рассматривается от рождения до распада) увеличивается в тысячи и десятки тысяч раз.

В основе ТО лежит принцип относительности: В физической системе, приведённой в состояние свободного равномерного и прямолинейного движения относительно системы, условно называемой покоящейся, для наблюдателя, движущегося вместе с системой, процессы происходят так же, как в покоящейся. Этот факт формулируют в виде утверждения об инвариантности законов природы относительно преобразований движения.

Математически ТО является обобщением геометрии Евклида - геометрией 4-х мерного пространства-времени Минковского.

Принцип относительности был известен (и справедлив) в классической механике, но свойства преобразований движения при $v \ll c$ и при $v \approx c$ различны; при $v \ll c$ релятивистские эффекты исчезают, преобразования движения переходят в преобразования Галилея. Наиболее простое описание получается при использовании инерциальных систем отсчёта (и. с. о.) и связанных с ними часов. Роль и. с. о. в теории относительности такая же, как роль прямоугольных координат в геометрии Евклида.

Итак, *основные постулаты специальной теории относительности:*

1. Принцип относительности или релятивистский принцип: в любых и. с. о. все физические явления при одних и тех же условиях протекают одинаково или физические законы независимы (инвариантны) по отношению к выбору и. с. о.

Следствия:

1) на основе любых физических экспериментов, проведённых в замкнутой системе тел, нельзя установить, покоится эта система или движется равномерно и прямолинейно (относительно какой-либо и. с. о.)

2) Нет абсолютно главной системы отсчёта. СТО вне и. с. о. не имеет смысла.

2. Принцип инвариантности скорости света: скорость света в вакууме не зависит от движения источника света, она одинакова во всех направлениях и во всех и.с.о., являясь одной из важнейших констант. Опыты показывают, что скорость света в вакууме – предельная скорость в природе. Именно поэтому этот реальный физический процесс используется для синхронизации часов, расположенных в разных точках пространства и перемещающихся вместе с рассматриваемой системой отсчёта.

В специальной теории относительности длины тел или расстояния между двумя материальными точками не абсолютны, а относительны и зависят от скорости. При скорости, сравнимой со скоростью света, процессы в системе замедляются, а расстояния сокращаются. Так время жизни медленно движущегося μ -мезона примерно 10^{-6} с, а быстро движущегося – во много раз больше.

Рассмотрим два примера, подтверждающие необходимость использования СТО.

Время жизни мюона (μ -мезона) $\tau_0 = 2,2 \cdot 10^{-6}$ с, поэтому путь, который он может пройти за это время, по классической формуле $\tau_0 \cdot c$ равен 660 м. При $v/c = 0,99999$ время жизни мюона должно высчитываться по теории относительности из формулы (10). Тогда $\tau = \tau_0 \cdot 224$. Тогда путь, пройденный мюоном, будет равен ≈ 150 км, и поэтому эти частицы наблюдаются у земли.

Второй пример – это так называемый парадокс близнецов Эйнштейна, когда один из близнецов остаётся на земле, а второй улетает на корабле со скоростью $v = c \cdot 0,99999$ на 10 лет. Тогда, вернувшись на землю через 10 лет, улетающий близнец не найдёт ни брата, ни кого-либо из живущих тогда на земле, поскольку на земле пройдёт 2240 лет.

Общая теория относительности

Общая теория относительности рассматривает явления и процессы, которые определяются действующими в данной области полями тяготения. Какая же связь может быть между относительностью длин и тяготением? Вспомним доказательства Г. Галилея, что все тела, независимо от их природы и массы, приобретают под действием гравитационных сил совершенно одинаковые ус-

корения. Чем же это объясняется? Ведь нельзя же ссылаться на случайные совпадения – уж слишком знаменателен сам факт.

И. Ньютон объяснял это тем, что чем больше масса, тем больше инерция у падающего тела.

Размышляя над этой проблемой, Эйнштейн обратил внимание на обстоятельство, которое, конечно, уже давно было известно всем физикам, но которое никому не приходило в голову связать с гравитацией. Он сделал ошеломляющее утверждение, что тяжесть и инерция одно и то же. Физики часто выражают это другими словами: сила тяжести, действующая на предмет, всегда пропорциональна инерционной массе этого предмета ($m_g = m_a$). Справедливость этого заключения доказал впервые венгерский физик Этвеш, а затем это было проверено в Принстонском университете. Это и есть принцип эквивалентности Эйнштейна, который даёт возможность рассматривать все движения, в том числе и ускоренные, как относительные.

Чтобы понять, в чём здесь дело, представьте себе, что вы находитесь в кабине свободно летящего (с выключенными двигателями) космического корабля. Наступило состояние невесомости. Всё обстоит так, как если бы никакого тяготения вообще не было. Маятник замрёт в отклонённом положении, выплеснутая из стакана вода большой сферической каплей повиснет в воздухе, и рядом с ней застынут, будто подвешенные на невидимых нитях, все остальные предметы, независимо от их массы и формы. Вы подтолкнули тяжёлую гирию, и она плавно полетела, пересекая кабину. Если бы не сопротивление воздуха, её движение было бы абсолютно равномерным.

И всё это, заметьте, вовсе не требует того, чтобы сам космический корабль находился вдали от звёзд и планет, чтобы до него не дотягивалось их гравитационное тяготение. Невесомость возникает, например, на всех космических кораблях, совершающих полёт вокруг земного шара. Ведь эти корабли, совершенно очевидно, находятся в сфере действия почти таких же гравитационных сил, что и на поверхности Земли. И космонавт не ощущает этих сил по следующей сравнительно простой причине. Движение космического корабля складывается из равномерного движения по горизонтали и ускоренного движения по вертикали к центру Земли. О том, что заметить равномерное движение по поведению вещей в кабине внутри корабля невозможно, уже говорилось. Что же касается падения, то все предметы в кабине действительно падают под действием притяжения Земли. Но падают, напомним, с совершенно одинаковым ускорением. И с точно таким же ускорением падают пол, стенки и потолок ка-

бины. Космонавт упал на один метр – но ровно на метр ушло из-под него кресло. В результате он может свободно висеть над сиденьем.

Иначе говоря, гравитационные силы, явственно проявляющиеся в связанной с Землёй системе отсчёта, исчезают, если перейти в свободно падающую систему (только, разумеется, они исчезают не одновременно во всём пространстве вокруг Земли, а лишь в ограниченном пространстве кабины).

Слово «исчезают» мы употребили здесь не случайно. Действительно, никаким опытом, какие бы приборы мы не применяли, какое бы явление не рассматривали, невозможно обнаружить даже признаков тяготения, находясь в закрытой падающей кабине (физики часто говорят, следуя Эйнштейну, о «падающем лифте»).

После всего сказанного встаёт вопрос: если за счёт перехода в ускоренную систему отсчёта можно убрать гравитационные силы, то нельзя ли таким же способом и создавать их? С одной стороны, как будто можно. Например, если механик будущего межзвёздного корабля отрегулирует двигатель таким образом, чтобы за каждую секунду скорость возрастала примерно на десять метров в секунду, то команда окажется в таких же гравитационных условиях, как все люди на Земле. Ведь основное свойство сил тяготения – то, что они совершенно одинаково ускоряют любые тела. Это свойство в ускоренно движущейся системе обеспечивается, если так можно выразиться, автоматически. У всех тел с точки зрения такой системы появляются добавочные ускорения, равные по величине и противоположные по направлению тому ускорению, которое сама эта система имеет с точки зрения инерциальных систем.

Итак, взвесив все обстоятельства, можно отважиться на следующее исключительно важное утверждение: *в каждой достаточно малой области пространства никаким физическим экспериментом невозможно отличить движение тел под действием гравитационных сил от их движения в соответствующим образом подобранной ускоренной системе.* Или, более коротко: тяготение в каждой точке пространства эквивалентно соответствующим образом подобранному ускорению системы отсчёта. Эквивалентность, по Эйнштейну, касается не только механических движений, но и вообще любых процессов.

Мы пришли, таким образом, к знаменитому принципу эквивалентности Эйнштейна, являющемуся одной из самых глубоких гипотез в современной теории.

Итак, в *общей теории относительности* три постулата:

1. Принцип относительности или релятивистский принцип;
2. Принцип инвариантности скорости света;

3. Принцип эквивалентности.

Принцип эквивалентности с неизбежностью приводит к установлению теснейшей связи между гравитацией и геометрией, которую мы более подробно рассмотрим в следующей лекции.

В 1826 году Н. И. Лобачевский заявил: «С силами, с массами связано тесно само время, от них зависит и строение пространства, т. е. его геометрия». Что это означает? Нет абсолютного пространства, одинакового для всех. Нет и абсолютного времени, которое текло бы для всех одинаково. Пространство не является Евклидовым, оно искривлено. Лобачевский построил более широкую геометрию. Позже Б. Риман расширил геометрию так, что и творение Лобачевского стало частным случаем.

Лекция 8

Теория относительности и кривизна пространства

В поле тяготения геометрия не может быть евклидовой. Очевидность этого вывода следует хотя бы из такого простого рассуждения: в геометрии Евклида отношение длины окружности к диаметру равно $\pi = 3,14$. Это число можно получить, разделив число очень маленьких стержней, уложенных вдоль окружности, на число стержней, уложенных вдоль диаметра. А теперь посмотрим, чему равно это отношение с точки зрения системы отсчёта, вращающейся вместе с окружностью. Пусть экспериментатор в этой системе отсчёта начнёт укладывать те же самые стержни вдоль вращающейся окружности и неподвижного диаметра. Результат, к которому он придёт, можно установить, рассматривая этот измерительный процесс с точки зрения инерциальной системы. Каждый стержень на окружности согласно теории относительности сокращается, в то время как стержни вдоль диаметра не должны испытывать сокращения. Значит, движущийся экспериментатор уложит по окружности большее число стержней, чем для неподвижной окружности, а вдоль диаметра – то же самое число. Поэтому отношение длины окружности к диаметру во вращающейся системе отсчёта больше π . Но ведь это возможно лишь в том случае, когда изменилась сама геометрия, если она перестала быть евклидовой! Характер новой геометрии однозначно определяется тем ускорением, с каким движутся точки системы отсчёта.

Далее, приняв принцип эквивалентности, мы тем самым согласились считать, что все результаты, которые получаются в ускоренно движущихся системах, будут иметь место в инерциальных системах при наличии тяготения. Но если это так, то само тяготение можно рассматривать как отступление от евклидовой геометрии, как “искривление пространства”. Вывод, самый, пожалуй, удивительный из всех, которые знала физика за всё время своего существования, сделан: тяготение связано с искривлением пространства! Роль того агента, о котором говорил в своё время ещё Ньютон, который картезианцами связывался с таинственными вихрями, существующими между телами, принадлежит, оказывается, свойствам самого пространства, его геометрии.

Попытаемся на простейшей модели внести в этот абстрактный и чрезвычайно сложный вывод хотя бы некоторый элемент наглядности. Среди аксиом Евклида есть одна, которая гласит: через две точки можно провести только одну прямую линию. Это одна из тех истин, которые, следуя Декарту, мы тоже попытаемся подвергнуть сомнению. Что такое прямая линия? Конечно, было

бы наивно ответить, что прямая линия – это линия, проведённая по линейке. Нужно ещё как-то предварительно проверить, не искривлена ли сама линейка.

Вспомним, что прямая – это кратчайшее расстояние между двумя точками. Но тогда сразу же придётся подумать над тем, как, собственно, измерять расстояния. Для этого опять потребуется линейка, причём прямая линейка. Получается порочный круг. Есть и ещё один – простейший – способ определения прямых. Человек уже давным-давно пользуется световыми лучами как идеально прямыми линиями. Что мы делаем, чтобы проверить, не искривилась ли линейка? Подносим её к глазам и смотрим вдоль ребра, то есть сравниваем ребро линейки со световым лучом. По существу, где бы не применялась геометрия в практике людей, а это делается на каждом шагу, используется этот же принцип. Он так прост, что над ним не задумываются. Но за этой простотой открывается очень глубокий физический смысл.

Чтобы применить какой-либо эталон, нужно быть уверенным, что на него не оказывает действия окружающая среда, что он стабилен. Как показывает глубокий теоретический анализ, световой луч в высочайшей степени обладает такой стабильностью: он не испытывает почти никаких воздействий. Есть одна сила, которая влияет на свет – это сила гравитации. Да, именно сила всемирного тяготения ещё раз оправдывает своё название: влияние гравитации на свет теперь доказано прямыми опытами.

Астрономы, наблюдая звёзды, точно определяют их положение на небосводе и наносят на звёздную карту. И недаром звёзды называются неподвижными. Звёздная карта, составленная сотню лет назад, с высокой степенью точности совпадает с сегодняшней звёздной картой. К этому все, казалось, привыкли. Но вот Эйнштейн выступил с удивительным предсказанием: во время солнечного затмения все звёзды, расположенные вблизи затенённого Луной солнечного диска, должны смещаться, как бы отодвигаться от Солнца. Такое смещение действительно было обнаружено. Простое и наглядное объяснение этого явления появится сразу, если принять, что световые лучи отклоняются под влиянием гравитации в сторону Солнца. Действительно, пусть луч от звезды, идущий к Земле, проходит вблизи Солнца (ясно, что притяжение Солнца скажется заметно лишь на малых расстояниях) и испытывает отклонение. Земной наблюдатель, который увидел бы звезду в центре окуляра, если бы луч света не проходил возле Солнца, теперь увидит её в центре поля зрения окуляра, только немного отклонив телескоп от Солнца. Эйнштейновская теория хорошо количественно описывает отклонение световых лучей под влиянием гравитации, предсказывая углы отклонения, очень близкие к тем, которые измеряют астрономы.

Мы не можем входить здесь в детали, подтверждающие это количественными расчётами. Попытаемся, однако, доказать, что если верен эйнштейновский принцип эквивалентности, то световой луч с неизбежностью должен отклоняться. Начнём со сравнения. Представьте себе, что вы едете в поезде. Идёт дождь, и капли прочерчивают полосы на стёклах. Если поезд движется равномерно, то полосы будут прямыми. При ускоренном же движении они изогнутся (искривление). Любые другие струйки будут так же искривляться с точки зрения пассажиров набирающего скорость поезда. Не составляют исключения и световые струи.

А теперь вспомним, что в согласии с принципом Эйнштейна ускорение эквивалентно наличию тяготения. Следовательно, искривление световых лучей (и, добавим, лучей, образованных потоками любых частиц) под влиянием тяготения неизбежно.

Второй опыт, доказывающий влияние гравитации на свет, имеет вполне земной характер и масштабы. Читатель знает, что для того, чтобы услышать передачу радиостанции, нужно настроить приёмник на её волну. А не нарушится ли настройка, если взобраться с приёмником на высокую гору или опуститься в низину? Казалось бы, какую же роль может играть такой подъём или спуск?

А вот какую: сначала настройка велась на одном уровне, а потом, когда приёмник был поднят, электромагнитные волны от передатчика к приёмнику пойдут вверх, преодолевая силы земного тяготения. Опыт показывает, что действительно они при этом будут терять энергию и одновременно будет уменьшаться их частота. Конечно, у обычных приёмников и передатчиков настройка настолько груба, что заметить такое явление невозможно. Однако недавно физикам удалось отыскать сверхточно настроенные приёмники и передатчики. Они представляли собой особые кристаллы, в состав которых входили атомы с ядрами, способными испускать и поглощать электромагнитные волны очень большой энергии – так называемые гамма-кванты с очень точно фиксированной частотой.

В опытах Мёссбауэра, поставленных по этой схеме, оказывалась достаточной разность уровней в десяток метров, чтобы заметить “ускорение” падающего вниз луча. Эти рекордные по точности опыты являются прямым доказательством того, что свет “весит”, что на электромагнитные волны, как и на все другие виды материи, оказывает влияние гравитация.

Спектральные линии света, идущего от звёзд, немного сдвинуты в сторону красного конца спектра, причём этот сдвиг тем заметнее, чем больше масса звезды. Это, в сущности, тот же опыт Мёссбауэра, только в космическом масштабе. Он иногда применяется для измерения массы звёзд. Этот эффект, как и

искривление лучей, проходящих вблизи массивных тел, был предсказан Эйнштейном.

А теперь сопоставим всё сказанное выше. Мы установили, что лучшим из эталонов прямой является световой луч в пустоте. В то же время этот луч под влиянием гравитации отклоняется или, можно сказать, искривляется. Вывод о неразрывной связи между тяготением и искривлением пространства, сделанный Эйнштейном, явился в своё время буквально ошеломляющим. Слишком уж неожиданным и значительным он казался всем, кто задумывался над проблемой тяготения.

Существует, однако, и нечто принципиально новое, что следует из эйнштейновской трактовки тяготения. В первую очередь здесь нужно отметить вывод о конечности скорости распространения гравитации.

В ньютоновском законе всемирного тяготения о времени передачи взаимодействия ничего не говорится. Неявно предполагается, что оно осуществляется мгновенно, какими большими ни были бы расстояния между взаимодействующими телами. Такой взгляд вообще типичен для сторонников действия на расстоянии. Из теории Эйнштейна вытекает, что тяготение передаётся от одного тела к другому с такой же скоростью, что и световой сигнал. Если какое-то тело сдвигается с места, то искривление пространства и времени меняется не мгновенно. Сначала это скажется в непосредственной близости от тела, потом изменение будет захватывать всё более и более далёкие области, и, наконец, во всём пространстве установится новое распределение кривизны, отвечающее изменённому положению тела. И вот здесь мы подходим к проблеме, которая вызывала и продолжает вызывать наибольшее число споров и разногласий – проблеме гравитационного излучения.

Может ли существовать тяготение, если нет создающей его массы? Согласно ньютоновскому закону – безусловно, нет. Там такой вопрос бессмысленно даже ставить. Однако, как только мы согласились, что гравитационные сигналы передаются хотя и с очень большой, но всё же не бесконечной скоростью, всё радикально меняется. Действительно, представьте себе, что сначала вызывающая тяготение масса, например, шарик, покоилась. На все тела вокруг шарика будут действовать обычные ньютоновские силы. А теперь с огромной скоростью удалим шарик с первоначального места. В первый момент окружающие тела этого не почувствуют. Ведь гравитационные силы не меняются мгновенно. Нужно время, чтобы изменения в кривизне пространства успели распространиться во все стороны. Значит, окружающие тела некоторое время будут испытывать прежнее воздействие шарика, когда самого шарика уже нет (во всяком случае, на прежнем месте).

Получается так, что искривления пространства обретают определённую самостоятельность, что можно вырвать тело из той области пространства, где оно вызывало искривления, причём так, что сами эти искривления, хотя бы на больших расстояниях, останутся и будут развиваться по своим внутренним законам. Вот вам и тяготение без тяготеющей массы! Можно пойти и дальше. Если заставить наш шарик колебаться, то, как получается из эйнштейновской теории, на ньютоновскую картину тяготения накладывается своеобразная рябь – волны тяготения. Чтобы лучше представить себе эти волны, обратимся к модели – резиновой плёнке. Если не только нажать пальцем на эту плёнку, но одновременно свершать им колебательные движения, то эти колебания начнут передаваться по растянутой плёнке во все стороны. Это и есть аналог гравитационных волн. Чем дальше от источника, тем такие волны слабее.

А теперь в какой-то момент перестанем давить на плёнку. Волны не исчезнут. Они будут существовать и самостоятельно, разбегаясь по плёнке всё дальше и дальше, вызывая на своём пути искривление плёнки. Совершенно так же волны искривления пространства – гравитационные волны – могут существовать самостоятельно. Такой вывод из теории Эйнштейна делают многие исследователи. Конечно, все эти эффекты очень слабы. Так, например, энергия, выделяющаяся при сгорании одной спички, во много раз больше энергии гравитационных волн, излучаемых всей нашей солнечной системой за то же время. Но здесь важна не количественная, а принципиальная сторона дела.

Одно время научная общественность была взволнована сообщением о том, что американскому исследователю Веберу удалось зарегистрировать гравитационные волны. Его установка, в принципе, была очень проста: массивные, примерно в одну тонну, алюминиевые цилиндры полутора метров длиной, устанавливались под землёй. Если, рассуждал Вебер, гравитационная волна налетит на такой цилиндр, он должен начать вибрировать. Чтобы избежать случайных эффектов, брались два цилиндра на значительном расстоянии один от другого и учитывались только совпадающие колебания. Однако Веберу, как показали более точные измерения, проведенные, в частности, в Московском университете, по-видимому, не удалось избавиться от “паразитных” влияний. Приёмники гравитационных волн пока ещё не достигли необходимой чувствительности.

Странники гравитационных волн – а они, по-видимому, сейчас в большинстве – предсказывают и ещё одно удивительное явление: превращение гравитации в такие парные частицы, как электроны и позитроны (они должны рождаться парами), протоны и антипротоны и так далее (Иваненко, Уиллер и др.).

Лекция 9

Фундаментальные взаимодействия в физике

Физика по праву занимает одно из ключевых мест в естествознании. Достижения в ней так велики, что для их изложения потребовалось бы огромное количество страниц. В рамках стоящей перед нами задачи это невозможно сделать, да и вряд ли целесообразно. Поэтому выделим те фундаментальные основы, с которыми так или иначе связаны все разделы физики. К таким основам относятся фундаментальные взаимодействия.

К настоящему времени известны четыре вида фундаментальных взаимодействий: гравитационное, электромагнитное, сильное, слабое [9]. Удивительно, что всё разнообразие взаимодействий в природе можно свести к четырём качественно различным взаимодействиям. Эти взаимодействия обусловлены элементарными частицами. Элементарная частица – это частица, не имеющая структуры. Понятно, что вопрос об элементарности – экспериментальный вопрос. В настоящее время элементарными являются электрон, протон и фотон. Интенсивности взаимодействия различны, и они определяются константами. Для того чтобы сравнить интенсивности, мы должны константы привести к безразмерному виду. Суть взаимодействия сводится к следующему. Фундаментальные взаимодействия переносятся квантами. При этом в квантовой области фундаментальным взаимодействиям отвечают соответствующие элементарные частицы, называемые элементарными частицами – переносчиками взаимодействий. В процессе взаимодействия физический объект испускает частицы – переносчики взаимодействия, которые поглощаются другим физическим объектом. Это ведет к тому, что объекты как бы чувствуют друг друга, они испытывают взаимное влияние.

Гравитационные взаимодействия

Открытие закона всемирного тяготения по праву считается одним из величайших триумфов науки. Главным определяющим явилось то, что в руках И.Ньютона были открытые им законы, применимые к описанию любых движений. Именно эти законы позволили с полной очевидностью понять, что корнем всех явлений, определяющих особенности движения, являются силы.

Закон всемирного тяготения, открытый И. Ньютоном, Г.Галилей полагал чуть ли не самоочевидным. Вот его рассуждения. Пусть падают два тела разного веса. По Аристотелю тяжёлое тело должно падать быстрее даже в пустоте.

Теперь соединим тела. Тогда, с одной стороны, тела должны падать быстрее, так как общий вес увеличился. Но, с другой стороны, добавление к тяжелому телу тела, падающего медленнее, должно тормозить это тело. Налицо противоречие, которое можно устранить, только если допустить, что все тела под действием одного только земного притяжения падают с одинаковым ускорением.

Согласно законам механики сообщаемое телу ускорение прямо пропорционально действующей на него силе и обратно пропорционально массе тела. Это приводит к простому и замечательному выводу: чтобы ускорение не зависело от массы, необходимо, чтобы сила была пропорциональна массе. Вот, например, два тела: мячик для пинг-понга и такой же по размеру свинцовый шарик. Масса первого примерно в 300 раз меньше массы второго. Значит, чтобы сообщить свинцовому шарiku такое же ускорение, как и мячику, на него нужно подействовать в триста раз большей силой. Но под влиянием земного притяжения и мячик, и свинцовый шарик падают как раз с одинаковым ускорением. Стало быть, это притяжение отрегулировано в соответствии с массами тел: во сколько раз масса свинцового шарика больше массы мячика, во столько больше и его притяжение к Земле. В четырёх словах “гравитационная сила пропорциональна массе” заключен удивительно глубокий смысл. Большие и малые тела, горячие и холодные, самого различного химического состава, любого строения – все они испытывают одинаковое гравитационное взаимодействие, если массы их равны.

Высоты, на которых движутся искусственные спутники, уже сравнимы с радиусом Земли, так что для расчёта их траекторий учёт изменения силы земного притяжения с расстоянием совершенно необходим.

Гравитация не только удерживает на земле людей, животных, воду и воздух, но и сжимает их. Это сжатие у поверхности Земли не так уж велико, но роль его немаловажна. Корабль плывёт по морю. Что мешает ему утонуть, известно всем. Это знаменитая выталкивающая сила Архимеда. А ведь она появляется только потому, что вода сжата тяготением с силой, увеличивающейся с ростом глубины. Внутри космического корабля в полёте выталкивающей силы нет, как нет и веса.

В “Математических началах натуральной философии” И. Ньютона есть рисунок под номером 213, замечательный тем, что при всей своей простоте он позволяет понять глубокую связь между “земной” и “небесной” механикой. В подписи к этому рисунку говорится: “Брошенный камень отклонится под действием тяжести от прямолинейного пути и, описав кривую траекторию, упадёт, наконец, на Землю. Если его бросить с большой скоростью, то он упадёт даль-

ше”. Продолжая эти рассуждения, Ньютон приходит к выводу, что если бы не сопротивление воздуха, то по достижении достаточной скорости траектория сделается такой, что камень может вообще не достигнуть поверхности Земли, а станет двигаться вокруг неё, “подобно тому, как планеты описывают в небесном пространстве свои орбиты”. Нельзя не вспомнить этой цитаты особенно сейчас, после многочисленных запусков искусственных спутников и космических кораблей.

Именно на опыте, на широком испытании природы – от скромных масштабов небольшой лаборатории ученого до грандиозных космических масштабов – основан закон всемирного тяготения, который (если подытожить всё сказанное выше) гласит:

Итак, гравитационные силы вездесущи и всепроникающи, но велики ли они? Почему же мы не ощущаем притяжения большинства тел? Если подсчитать, какую долю от притяжения Земли составляет, например, притяжение Эвереста (в самых благоприятных в смысле расположения условиях), то окажется, что лишь тысячные доли процента. Сила же взаимного притяжения двух людей среднего веса при расстоянии между ними в один метр не превышает трёх сотых миллиграмма. Так слабы гравитационные силы. Слабы ли?! Как можно назвать слабым такой “канат”, на котором можно подвесить Землю к Солнцу или Луну к Земле, особенно принимая во внимание огромные расстояния между ними? Подобного рода недоумения возникали не раз. Тот факт, что гравитационные силы, вообще говоря, гораздо слабее электрических, вызывает своеобразное разделение сфер влияния этих сил. Например, подсчитав, что в атомах гравитационное притяжение электронов к ядру слабее, чем электрическое, в 10^{39} раз, легко понять, что процессы внутри атома определяются практически одними лишь электрическими силами (если не касаться пока внутриядерных процессов). Гравитационные силы становятся ощутимыми, а порой и грандиозными, когда на сцену выступают такие огромные массы, как массы космических тел: планет, звёзд и т. д.

Итак, движение планет, например, Луны вокруг Земли или Земли вокруг Солнца, - это то же падение, но только падение, которое длится бесконечно долго. Причиной такого “падения”, идёт ли речь действительно о падении обычного камня на Землю или о движении планет по их орбитам, является сила тяготения.

Итак, замечательное свойство сил всемирного тяготения нужно спрессовать в одно короткое утверждение: *гравитационная сила пропорциональна массе тел*. Подчеркнём, что здесь речь идёт о той самой массе, которая в законах

Ньютона выступает как мера инерции. Её даже называют инертной массой. Коэффициент пропорциональности называется гравитационной постоянной.

Кстати отметим, что именно по этой причине закон изменения гравитационных сил с расстоянием был открыт “на небе”. Все необходимые данные черпались здесь из астрономии. Не следует, однако, думать, что уменьшение силы тяжести с высотой нельзя обнаружить в земных условиях. Так, например, маятниковые часы с периодом колебания в одну секунду отстанут в сутки почти на три секунды, если их поднять из подвала на верхний этаж Московского университета (200 метров) – и это только за счёт уменьшения силы тяжести.

Необыкновенное свойство гравитационных сил. Чтобы надёжно установить закон всемирного тяготения, потребовалось множество опытов, начиная со знаменитых экспериментов Галилея, изучавшего падение с известной наклонной Пизанской башни шаров одинаковых размеров, но сделанных из различных материалов (мрамора, дерева, свинца и т. д.), и кончая сложнейшими современными измерениями влияния гравитации на свет. И всё это многообразие экспериментальных данных настойчиво укрепляет нас в убеждении, что гравитационные силы сообщают всем телам одинаковое ускорение; в частности, ускорение свободного падения, вызванное земным притяжением, одинаково для всех тел и не зависит ни от состава, ни от строения, ни от массы самих тел. Этот, повторяем простой, как будто бы, и выражает собой, пожалуй, самую замечательную особенность гравитационных сил. Нет буквально никаких других сил, которые бы одинаково ускоряли все тела независимо от их массы. Вот, например, футболист ударил по мячу. Чем легче мяч, тем большую скорость он получит (при одинаковой силе и длительности удара). Ну, а что бы вы сказали о футболисте, удар которого одинаково ускорял бы как обыкновенный кожаный мяч, так, скажем и двухпудовую гирию или даже слона? Каждый скажет, что это совершенно невероятно. Но ведь именно так обстоят дела при гравитационных воздействиях, с той только разницей, что, если так можно выразиться, гравитационный “удар” длится непрерывно, никогда не прекращаясь.

Ну, а если продолжить наш опыт и пропустить гирию в глубокую шахту? Легко сообразить, что это уменьшит действующую на гирию силу. Это видно хотя бы из того, что если бы мы, продолжая наш воображаемый опыт, поместили гирию в центр Земли, то притяжение со всех сторон взаимно уравновесилось бы, и стрелка пружинных весов стояла бы точно на нуле. Итак, нельзя, оказывается, просто сказать, что гравитационные силы убывают с увеличением расстояния – нужно всегда оговариваться, что сами эти расстояния, при такой формулировке принимаются много большими, чем размеры тел. Именно в этом

случае справедлив сформулированный Ньютоном закон: *силы всемирного тяготения убывают обратно пропорционально квадрату расстояния между притягивающимися телами*. Попробуем представить себе, что это значит. Арифметически это означает, что если, например, расстояние увеличивается в три раза, то сила уменьшается в 3^2 , т. е. в девять раз, и т. д. Однако из этого подсчёта ещё не ясно, что это – быстрое или не очень быстрое изменение с расстоянием? Означает ли такой закон, что взаимодействие практически ощущается лишь между ближайшими соседями, или же оно заметно и на достаточно больших расстояниях?

Одно из самых замечательных свойств сил всемирного тяготения, или, как их часто называют, гравитационных сил, отражено уже в самом названии, данном Ньютоном: всемирные. Эти силы, если так можно выразиться, – “самые универсальные” среди всех сил природы. Всё, что имеет массу – а масса присуща любой форме, любому виду материи, – должно испытывать гравитационные воздействия. Исключения не составляет даже свет. Для всемирного тяготения нет преград. Мы можем всегда поставить непреодолимый барьер для электрического поля (таким барьером может служить экран из любого достаточно хорошо проводящего материала); внутрь сверхпроводника, как известно, не проникает магнитное поле. Но гравитационное взаимодействие свободно передаётся через любые тела.

Опыт и только опыт может служить как основой для физических законов, так и критерием их справедливости. Вспомним хотя бы о рекордных по точности экспериментах, проведённых под руководством В. Б. Брагинского в МГУ. Эти опыты, в которых была получена точность порядка 10^{-12} , ещё раз подтвердили равенство тяжёлой и инертной масс.

Ответ на этот вопрос, пожалуй, удобнее всего дать, сравнивая закон убывания с расстоянием гравитационных сил с законом, по которому уменьшается освещённость по мере удаления от источника. Как в одном, так и в другом случае действует, оказывается, один и тот же закон – обратная пропорциональность квадрату расстояния. Но, ведь мы видим звёзды, находящиеся от нас на таких огромных расстояниях, пройти которые даже световой луч, не имеющий соперников по скорости, может лишь за миллиарды лет! А ведь если до нас доходит свет от этих звёзд, значит (закон-то убывания одинаковый) должно, хотя бы и очень слабо, чувствоваться их притяжение. Следовательно, действие сил всемирного тяготения простирается, непрерывно убывая, практически на неограниченные расстояния. Как говорят физики, радиус их действия равен бесконечности. Гравитационные силы – это дальнедействующие силы. Таково “офи-

циальное название” этих сил в физике. Далеко не все силы, как мы увидим в дальнейшем, имеют такой характер. Вследствие дальнего действия гравитация связывает все тела Вселенной. Относительная медленность убывания сил с расстоянием на каждом шагу проявляется в наших земных условиях. Ведь все тела не изменяют своего веса, будучи перенесёнными с одной высоты на другую (или, если быть более точными, меняют, но крайне незначительно), и именно потому, что при относительно малом изменении расстояния – в данном случае до центра Земли – гравитационные силы практически не изменяются

Сам земной шар сжат силами тяготения до колоссальных давлений. В центре Земли давление, по-видимому, превышает 3 миллиона атмосфер. Под влиянием длительно действующих сил давления все вещества, которые мы привыкли считать твёрдыми, ведут себя подобно пару или смоле. Тяжелые материалы опускаются на дно (если можно так называть центр Земли), а лёгкие всплывают. Процесс этот длится миллиарды лет. Не окончился он, как следует из теории Шмидта, и сейчас. Концентрация тяжелых элементов в области центра Земли медленно нарастает.

Сила взаимного притяжения любых двух тел, размеры которых гораздо меньше расстояния между ними, пропорциональна произведению масс этих тел и обратно пропорциональна квадрату расстояния между этими телами.

Даже такие далёкие от нас звёзды, свет которых годы идёт до Земли, шлют нам свой гравитационный привет, выражающийся внушительной цифрой, - это сотни миллионов тонн. Радиус их действия равен бесконечности. Мы уже фактически молчаливо приняли, что взаимное притяжение двух тел убывает по мере их удаления друг от друга. Это так наглядно и кажется таким очевидным, что редко у кого возникают сомнения на этот счёт. Но давайте попробуем мысленно проделать такой опыт: будем измерять силу, с которой Земля притягивает какое-либо тело, например, двадцатикилограммовую гирию. Первый опыт пусть соответствует таким условиям, когда гирия помещена на очень большое расстояние от Земли. В этих условиях сила притяжения (которую, кстати, можно измерить с помощью самых обыкновенных пружинных весов) практически будет равна нулю. По мере приближения гири к Земле появится и будет постепенно возрастать взаимное притяжение, и, наконец, гирия окажется на поверхности Земли, стрелка пружинных весов остановится на делении “20 килограммов”, поскольку то, что мы называем весом, отвлекаясь от вращения Земли, есть не что иное, как сила, с которой Земля притягивает тела, расположенные на её поверхности.

Ну, а как же проявляется у нас на Земле притяжение Солнца и ближайшего к нам небесного тела – Луны? Так, Земля и Луна притягиваются с силой примерно в $2 \cdot 10^{16}$ тонн. Солнце действует почти одинаковым образом на всё, находящееся на Земле и внутри неё. Сила, с которой Солнце притягивает, например, москвича в полдень, когда он ближе всего к Солнцу, почти не отличается от силы, действующей на него в полночь. Ведь расстояние от Земли до Солнца в десять тысяч раз больше земного диаметра и увеличение расстояния на одну десятитысячную при повороте Земли вокруг своей оси на пол-оборота практически не меняет силы притяжения. Поэтому Солнце сообщает почти одинаковые ускорения всем частям земного шара и всем телам на его поверхности. Почти, но всё же не совсем одинаковые. Из-за этой-то небольшой разницы возникают приливы и отливы в океане. Наблюдать это притяжение без специальных приборов могут только жители океанских побережий. На обращённом к Солнцу участке земной поверхности сила притяжения несколько больше, чем это необходимо для движения этого участка по эллиптической орбите, а на противоположной стороне Земли – несколько меньше. В результате согласно законам механики Ньютона вода в океане немного выпучивается а направлении, обращённом к Солнцу, а на противоположной стороне отступает от поверхности Земли. Возникает, как говорят, приливообразующие силы, растягивающие силы, растягивающие земной шар и придающие, грубо говоря, поверхности океанов форму эллипсоида. Итак, поверхность мирового океана подобна эллипсоиду, большая ось которого обращена в сторону Луны. Земля вращается вокруг своей оси. Поэтому по поверхности океана навстречу направлению вращения Земли перемещается приливная волна. Когда она приближается к берегу – начинается прилив. В некоторых местах уровень воды поднимается до 18 метров. Затем приливная волна уходит и начинается отлив. Уровень воды в океане колеблется, в среднем, с периодом 12 ч. 25 мин. (половина лунных суток). Эта простая картина сильно искажается одновременным приливообразующим действием Солнца, трением воды, сопротивлением материков, сложностью конфигурации океанических берегов и дна в прибрежных зонах и некоторыми другими частными эффектами. Важно, что приливная волна тормозит вращение Земли. Правда, эффект очень мал. За 100 лет сутки увеличиваются на тысячную долю секунды. Но, действуя миллиарды лет, силы торможения приведут к тому, что Земля будет повёрнута к Луне всё время одной стороной и земные сутки станут равными лунному месяцу. С Луной это уже произошло. Луна заторможена настолько, что повёрнута к Земле всё время одной стороной.

Чтобы заглянуть на обратную сторону Луны, пришлось посылать вокруг неё космический корабль.

Чем меньше расстояние между взаимодействующими телами, тем больше приливообразующие силы. Вот почему на форму мирового океана большее влияние оказывает Луна, чем Солнце. Более точно, приливное воздействие определяется отношением массы тела к кубу его расстояния от Земли; это отношение для Луны примерно вдвое больше, чем для Солнца.

Если бы не было сцепления между частями земного шара, то приливообразующие силы разорвали бы его. Возможно, это произошло с одним из спутников Сатурна, когда он близко подошел к этой большой планете. То состоящее из осколков кольцо, которое делает Сатурн столь примечательной планетой, возможно и есть обломки спутника.

Сформулировав свой знаменитый закон всемирного тяготения, Ньютон поставил перед наукой глубочайший вопрос: что такое гравитация, какова её природа, как передаётся взаимодействие между тяготеющими массами.

Ньютон только описал гравитацию. Встала необходимость её объяснить. К рассказу о том, чего здесь удалось достигнуть, мы сейчас и перейдём.

Поиски посредника. В одном из своих выступлений великий датский учёный Нильс Бор характеризовал теорию электромагнитных явлений как рациональный выход за рамки классической механики, “пригодный для того, чтобы смягчить контраст между действием на расстоянии и действием при соприкосновении”.

Этот контраст ещё сильнее в проблеме всемирного тяготения, хотя бы потому, что здесь сами расстояния нередко огромны.

Не каждый, вероятно, сможет разобраться в сложном механизме в передаче усилия от руки по цепи к ведру, которое вытаскивают из колодца, но одно ясно для всех: если выпилить из этой цепи хотя бы одно звено, транспортировка силы от руки к ведру прекратится.

А вот гравитационные силы долгое время представлялись именно чем-то вроде удивительной цепи без единого звена. В науке это называется *дальнодействием* - действием на расстоянии без каких бы то ни было посредников.

Надо прямо сказать, что хотя физики временами “привыкали” к действию на расстоянии и находили его даже удобным, окончательно примириться с тем, что два тела через абсолютно ничем не заполненное пространство (или – это другая крайность – заполненное чем угодно) могут тянуть или толкать друг друга, ученые никогда не могли.

Поиски посредника при гравитационных взаимодействиях начались фактически одновременно с появлением в науке первых догадок об этих силах.

Вопрос о природе этого агента долгое время оставался открытым. Не решились его и последовавшие дискуссии, с которыми связаны имена таких выдающихся учёных как Иоганн Бернулли, Гюйгенс, Лейбниц, Даниил Бернулли, Ломоносов, Эйлер.

Проблема гравитации вновь – и на этот раз с принципиально новых позиций – была рассмотрена 234 года спустя после окончательного установления Ньютоном закона всемирного тяготения. Для того, чтобы сделать здесь новый шаг, оказалось необходимым пересмотреть самые фундаментальные представления – представления *о пространстве и времени*. В сущности, продвинуться в понимании природы тяготения означало построить новое физическое мировоззрение. И сейчас, задним числом, мы можем поражаться, что такая гигантская работа – а это был, без преувеличений, переворот в физике – могла быть совершена практически одним человеком - Альбертом Эйнштейном. Однако, прежде чем переходить к эйнштейновской трактовке тяготения, нам придётся сделать отступление, чтобы познакомиться с некоторыми идеями, которые необходимо будет использовать в дальнейшем.

Эвклидова геометрия вошла в физику целиком без каких бы то ни было оговорок, фактически без сомнений в необходимости проверок. Для Галилея и Ньютона пространство – это бесстрастный холодный фон. Время течет, как бы подчиняясь каким-то абсолютным мировым часам, отсчитывающих секунды для всей Вселенной, причём на эти часы не может влиять материя и характер её движения. Этот взгляд на пространство и время казался до начала XX века незыблемым.

Уже Галилей ясно понимал относительность механического движения. Нельзя сказать просто: “тело движется”. Нужно указать, по отношению к каким другим телам (физики говорят – по отношению к какой системе отсчёта) это движение определяется.

Внешний рисунок движения, конечно, различен в разных системах отсчёта. Стенки вагона неподвижны по отношению к системе отсчёта сидящих в нём пассажиров. И те же стенки движутся в системе отсчёта, связанной с Землёй. Траектория вертикально падающего камня выглядит по-разному с точки зрения неподвижного и быстро движущегося наблюдателя. Относительна скорость, относителен путь, пройденный телом, относительна траектория. Но есть и нечто, не зависящее от выбора системы отсчёта, - сами законы движения, законы Ньютона. Во всех инерциальных системах эти законы абсолютно одинаковы.

Это значит, например, что, сидя в закрытой кабине, вы никакими механическими опытами не сможете определить, покоится ли кабина или же равномерно движется. Иначе об этом можно сказать так: все инерциальные системы отсчёта равноправны. Нельзя выделить среди них абсолютно неподвижную, как нельзя найти и абсолютно движущуюся.

Эйнштейн обобщил этот принцип, распространив его не только на механику, но и на любые другие процессы. Экспериментальный факт постоянства скорости света был принят им как второе исходное требование, которому - должна удовлетворять новая теория.

Для дальнейшего нам понадобится лишь одно из важных следствий теории относительности Эйнштейна, а именно, так называемое сокращение длин. Если измерять длину какого-то стержня в системе отсчёта, где он покоится, а затем в другой системе, по отношению к которой этот стержень движется (в продольном направлении), то вторая длина окажется меньше, чем первая. Меняется сама геометрия, происходит изменение самого масштаба длин в направлении движения.

Заметим, кстати, что ход часов также существенен, но различен в различных инерциальных системах отсчёта. Быстрее всего часы идут в той системе, относительно которой они покоятся. В любой другой системе время течёт медленнее, и это (равно как и сокращение длин) тем ощутимее, чем больше приближается скорость системы к скорости света. Кстати, именно потому, что механика Галилея – Ньютона родилась из наблюдений за движением сравнительно медленно перемещающихся тел (со скоростями много меньшими, чем скорость света, равная почти тремстам тысячам километров в секунду), оказалось возможным говорить о едином – абсолютном – времени и игнорировать сокращение длин.

С точки зрения квантовой физики, переносчиками гравитационного взаимодействия является элементарная частица гравитон.

Безразмерная константа связи гравитационного взаимодействия пропорциональна гравитационной постоянной G и равна $G \cdot m_p^2 / (h \cdot c) \approx 6 \cdot 10^{-39}$, т.е. очень малая величина (здесь m_p - масса протона) .

Лекция 10

Электромагнитные взаимодействия

Часть 1

Электромагнитные взаимодействия – это взаимодействия заряженных частиц. Что же такое электрический заряд? “Электрический заряд – свойство некоторых частиц (электронов, протонов, позитронов, некоторых видов мезонов), состоящее в том, что они всегда связаны с электрическим (электромагнитным) полем и испытывают определённые воздействия внешних электромагнитных полей”. Но что такое электромагнитное поле? “Электромагнитное поле – это физическое поле движущихся электрических зарядов, осуществляющее взаимодействие между ними”. Получается, что заряд – это то, что связано с электромагнитным полем, а поле то, что связано с зарядом. Дело в том, что кратких, удовлетворительных во всех отношениях определений вообще дать здесь невозможно. Уясним, что *заряд – это количественная мера способности тела к электромагнитным взаимодействиям*, подобно тому, как гравитационная масса – величина, определяющая интенсивность гравитационных взаимодействий. Электрический заряд – вторая (после массы) важнейшая характеристика элементарных частиц, определяющая их поведение в окружающем мире.

Отсутствие заряда у частицы означает, что подобных взаимодействий она не обнаруживает. В природе имеются частицы с зарядами противоположных знаков. Заряд протона называется положительным, а электрона – отрицательным. Положительный знак заряда у частицы не означает, конечно, наличия у неё особых достоинств. Введение зарядов двух знаков просто выражает тот факт, что заряженные частицы могут как притягиваться, так и отталкиваться друг от друга. При одинаковых знаках заряда частицы отталкиваются, а при разных – притягиваются.

Но вот что важно: как бы ни отличались свойства элементарных частиц в других отношениях, заряд одинаков у всех: у электронов, протонов, позитронов, лёгких, тяжёлых и сверхтяжёлых мезонов. Различными могут быть только знаки. Заряд, меньший заряда электрона, в природе не существует.

Часть 1. Статические электрические и магнитные явления

1.1. Взаимодействие зарядов

Как показывает опыт, электрический заряд в природе сохраняется. Сумма зарядов всех частиц (с учётом знака зарядов) остаётся неизменной. Если возни-

кает новая заряженная частица (а это случается очень часто), то одновременно мы обязательно наблюдаем рождение частицы, имеющей заряд противоположного знака. Гибнут пары противоположно заряженных частиц также только одновременно. Наличие электрического заряда у частиц предполагает строго определённые законы силовых взаимодействий между ними. Электродинамика - это наука об электромагнитных взаимодействиях. Не следует думать, что наши сведения о заряде являются исчерпывающими и в дальнейшем наука уже ничего не в состоянии добавить. Уже сейчас в физике элементарных частиц ставятся вопросы: почему заряжены только некоторые элементарные частицы? Почему не наблюдается заряда, большего или меньшего, чем у электрона? Как величина заряда связана с другими мировыми постоянными, такими как скорость света, постоянная Планка и т. д.? Кто знает, быть может, недалёко время, когда ответы будут найдены: определённые успехи в исследовании самого сокровенного уже налицо. В опытах Хофштадтера при бомбардировке протонов электронами очень большой энергии удалось установить примерный характер распределения электрического заряда внутри этих частиц. Оказалось, что заряд протона “размазан” до конечной области пространства (радиусом около $0,8 \cdot 10^{-13}$ сантиметра) и распределён в этой области отнюдь не равномерно. В центре имеется уплотнённая часть – так называемый “кern” примерно в 4 раза меньших размеров, чем сам протон. Одновременно выяснилось, что заряженные области имеются и внутри нейтрона.

Самое поразительное в том, что несмотря на размазанность заряда в пространстве, от него нельзя отщипнуть ни единой крупинцы. Невозможность существования заряда, меньшего определённого количества, - самый, пожалуй, непонятный факт во всём, что касается природы и сущности электрического заряда.

Заметим ещё, что пока мы говорили только о зарядах элементарных частиц. Тело больших размеров (макроскопическое), как нетрудно представить себе, будет электрически заряжено, если оно содержит избыточное количество элементарных частиц одного знака. Отрицательный заряд тела обусловлен избытком электронов по сравнению с протонами, а положительный – их недостатком. Большинство тел электрически нейтрально, так как число электронов в них равно числу протонов. Нейтрален ли в целом мир? Если Вселенная конечна, то её электрический заряд равен нулю. В случае бесконечной Вселенной полный заряд может быть отличен от нуля.

Мы никогда не узнаем, кто первым обратил внимание на удивительную способность янтаря, потёртого о шерсть, притягивать к себе различные лёгкие

предметы, не соприкасаясь с ними. По словам древнегреческого философа Фалеса Милетского, жившего в VI веке до нашей эры, это были ткачи. Позднее было обнаружено, что таким свойством обладает не только янтарь, но и стекло, эбонит и другие вещества, потёртые о мех. Янтарь по-гречески – электрон, и поэтому тела, приведённые в данное состояние, стали называть наэлектризованными. Отсюда возник и термин “электричество”.

Но прошло более двух тысячелетий, прежде чем началось систематическое исследование электричества, и был открыт закон взаимодействия наэлектризованных тел. Этот закон был первоначально открыт не для отдельных элементарных частиц, о существовании которых в то время ничего не было известно, а для больших заряженных тел. При электризации трением, как мы теперь хорошо знаем, наиболее подвижные заряженные частицы - электроны- переходят с одного тела на другое. В результате этого перехода тело, потерявшее электроны, заряжается положительно, а получившее их в избытке – отрицательно.

Открытие взаимодействия неподвижных друг относительно друга электрических зарядов было сделано под прямым влиянием идей Ньютона и, в частности, его закона всемирного тяготения. В середине XVIII века уже высказывались предположения, что закон взаимодействия зарядов аналогичен закону всемирного тяготения. Первым доказал это английский учёный Г. Кэвендиш. Однако, его рукописи более ста лет пролежали в библиотеке Кембриджского университета, пока их не извлёк Дж.Максвелл и не опубликовал. К этому времени закон взаимодействия зарядов был установлен во Франции Кулоном и с тех пор носит его имя. Кулон пришел к цели более простым, хоть и менее строгим путём, чем Кэвендиш. Мы остановимся на экспериментах Кулона.

Открытию закона Кулоном способствовало то обстоятельство, что силы взаимодействия между зарядами велики. Поэтому здесь не нужно было применять особо чувствительную аппаратуру, как при проверке закона тяготения в земных условиях. Несложное устройство, получившее название крутильных весов Кулона, позволило ответить на вопрос, как взаимодействуют друг с другом неподвижные заряженные тела. Крутильные весы – это просто подвешенная на тонкой упругой проволочке палочка, на одном конце которой закреплён заряженный металлический шарик, а на другом – противовес. Ещё один шарик закреплён возле весов неподвижно. Сила взаимодействия измерялась по закручиванию проволочки, и исследовалась зависимость силы от расстояния и величины зарядов. Измерять силу и расстояние умели. Единственная трудность была с зарядом. Кулон поступил просто и остроумно. Он менял величину заряда одно-

го из шариков в 2, 4 и т. д. раз, соединяя его с таким же незаряженным шариком. Заряд при этом распределялся поровну между шариками, что и уменьшало величину исследуемого заряда в известном отношении. Одновременно наблюдалось, как изменяется сила. Опыты Кулона привели к открытию закона, поразительно напоминающего закон тяготения. Сила взаимодействия неподвижных заряженных тел прямо пропорциональна произведению их зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Как и ньютоновский закон, закон Кулона справедлив только для точечных зарядов, т. е. для зарядов, геометрические размеры которых малы по сравнению с расстоянием между ними. Вообще же сила зависит от геометрических размеров и формы заряженных тел. Закон Кулона впервые позволил измерять заряд. За единицу заряда был принят такой заряд, который действует на равный себе в пустоте на расстоянии одного сантиметра с силой в одну единицу – дину. В этой системе единиц заряд электрона равен $4,8 \cdot 10^{-10}$. Это весьма и весьма малая величина. В Международной системе единиц (СИ) используется единица заряда Кулон, которая в $3 \cdot 10^9$ раз больше данной. Кулоновские силы медленно убывают с расстоянием и принадлежат к дальнодействующим, как и ньютоновские. Но наряду со сходством законов имеются и серьёзные различия. Прежде всего, это существование зарядов двух знаков, в то время как гравитационная масса всегда положительна. Наряду с притяжением электрических зарядов бывает и отталкивание. Между нейтральными телами кулоновские силы не действуют и поэтому не являются столь же универсальными, как силы всемирного тяготения. Универсальность их проявляется лишь в том, что один и тот же закон справедлив для взаимодействия как макроскопических тел, так и отдельных элементарных частиц. С современной точки зрения справедливость закона Кулона для макроскопических зарядов имеет место именно потому, что он непосредственно выполняется для элементарных частиц.

Ещё одной важнейшей особенностью кулоновских сил является их величина. Электрические силы между отдельными элементарными частицами, как уже упоминалось раньше, неизмеримо больше гравитационных. Если бы удалось передать 1 % электронов от одного человека другому, то на расстоянии вытянутой руки сила притяжения между ними превышала бы вес земного шара. Однако взаимодействие между заряженными частицами настолько велико, что создать у небольшого тела очень большой заряд невозможно. Отталкиваясь друг от друга с большой силой, частицы не смогут удержаться на теле. Никаких же других сил, которые были бы способны в данных условиях компенсировать кулоновское отталкивание, в природе не существует. Вот одна из причин, по-

чему заметное притяжение или отталкивание больших заряженных тел не встречается в природе. Кроме того, заряженные тела проявляют очень большую склонность к нейтрализации. С большой жадностью впитывают они заряды противоположного знака, притягивая их к себе. Тела в природе в основном нейтральны. Однако, как полагают физики, Земля имеет отрицательный заряд $\sim 6 \cdot 10^6$ Кулонов.

1.2. Взаимодействие магнитов

Трудно найти человека, которого в детстве не поражали удивительные свойства магнита. На значительном расстоянии, прямо через воздух магнит способен притягивать тяжёлые куски железа. Не менее удивительно поведение магнитной стрелки компаса, упорно стремящейся повернуться на север, как бы не вращали компас, стремясь сбить её с толку. Притяжение магнитов напоминает притяжение на расстоянии наэлектризованных тел. Недаром на протяжении многих веков их путали. Лишь Гильберту в конце XVI века удалось что это не одно и то же. В самом деле: магнит не нуждается в таких предварительных операциях, как трение, для того, чтобы притягивать. И эта способность его не исчезает с течением времени, как у наэлектризованных тел, если только не нагревать его очень сильно и не трясти.

Магниты могут как притягиваться, так и отталкиваться, подобно зарядам. Но вот что странно! Отделить северный магнитный полюс от южного, получить изолированный магнитный полюс никому не удалось, несмотря на то, что на это было затрачено немало усилий.

Притяжение магнитов обычно значительно превосходит притяжение наэлектризованных тел. Начиная с Гильберта, исследование магнитов было поставлено на строгую научную основу. Именно Гильберт догадался, что Земной шар является гигантским магнитом, и поэтому магнитная стрелка ориентируется определённым образом. Гильберт сумел подтвердить свою догадку экспериментально, намагнитив большой железный шар (он назвал его “тарелла” – маленькая Земля) и, наблюдая его действие на стрелку. Количественно взаимодействие магнитов изучил Кулон, используя тот же метод, что и при изучении взаимодействия зарядов. Кулон нашёл закон взаимодействия полюсов длинных магнитов, рассматривая полюса как места сосредоточения магнитных зарядов – аналогов зарядов электрических. Закон этот оказался таким же, как и закон взаимодействия электрических зарядов. Невозможность разделить северный и южный полюса магнита Кулон объяснял неспособностью магнитных зарядов противоположного знака внутри молекул вещества свободно передвигаться из одной молекулы в другую.

В действительности всё оказалось гораздо сложнее. Разгадка магнетизма пришла совсем с другой стороны. Это случилось после того, как научились создавать электрический ток – поток движущихся электрических зарядов – значительной силы, продолжающийся достаточно большое время. История этого открытия не лишена интереса и связана с поисками так называемого “животного электричества”. Всё началось с разряда лейденской банки – этого первого конденсатора. Открывший это явление Мушенброк первым испытал на себе самом действие электрического разряда. Он советует друзьям “самим никогда не повторять этот новый и страшный опыт”. В действительности этот опыт не так уж страшен: кратковременный электрический ток, возникающий при разряде банки, не опасен для жизни. Как бы то ни было, физиологическое действие электрического разряда сразу же приковало к себе всеобщее внимание. Так, правильно было объяснено поражающее действие электрического скака и других электрических рыб как явление, аналогичное разряду лейденской банки. Но одновременно с этим действительно существующим “животным” электричеством обнаруживали “электрических” людей, птиц, домашних животных. Здесь экспериментаторов вводило в заблуждение электричество, возникающее при трении одежды людей, перьев или шерсти животных.

В этой обстановке тщательно обдуманые опыты выдающегося экспериментатора Гальвани позволили сделать фундаментальное открытие. Правда, ему самому не удалось правильно истолковать свои собственные опыты, но повторивший их Вольта оказался способным к великому открытию, сразу давшему мощный толчок всему развитию учения об электромагнетизме. Первое открытие возникло случайно. “Я разрезал и препарировал лягушку, - пишет Гальвани, - и, имея в виду совершенно другое, поместил её на стол, на котором находилась электрическая машина, при полном разобщении от кондуктора последней и на довольно большом расстоянии от неё. Когда один из моих помощников остриём скальпеля случайно очень легко коснулся внутренних бедренных нервов этой лягушки, то немедленно все мышцы конечностей начали сокращаться, что казались впавшими в сильнейшие судороги. Причем это происходило в тот момент, когда из кондуктора машины извлекалась искра. Тогда я зажегся, - продолжает Гальвани, - невероятным усердием и страстным желанием исследовать это явление и вынести на свет то, что было в нём скрыто”. Вскоре Гальвани заметил, что сокращение лягушачьей лапки, соединённой с громоотводом, происходило во время ударов молнии и даже при появлении грозных облаков. По существу в этих опытах впервые наблюдалось явление

электромагнитной индукции, открытое впоследствии Фарадеем. Но в то время дать верное объяснение происходящему было ещё невозможно.

Открытие, сообщившее мощный толчок развитию электромагнетизма, состоялось в другом. Гальвани пытался обнаружить действие атмосферного электричества в ясную погоду. Для этого он повесил препарированную лягушку на железный забор, причём медный крючок проходил через спинной мозг лягушки. Прижимая крючок к перилам, Гальвани обнаружил сильное сокращение мышц. К счастью, он сумел догадаться, что дело здесь не в атмосферном электричестве. Сокращения наблюдались всегда, когда прикасались к лапке лягушки двумя разнородными металлами, находящимися между собой в контакте. Зная, что сокращение мышц возникает при электрическом разряде, Гальвани решил, что открыл животное электричество, вырабатываемое в организме. Металлический проводник, думал Гальвани, позволяет электричеству быстро переходить из одних частей мышцы в другие, что и вызывает сокращение. Правильное объяснение открытому явлению дал соотечественник Гальвани Вольта. Его осенила блестящая догадка, что лягушачьи лапки – это лишь чувствительный “животный электрометр”, более чувствительный, чем любой другой, и только. Источником же электрического тока служит контакт двух разнородных металлов, приведённых в соприкосновение с электропроводящей жидкостью животных тканей. Отсюда Вольта извлёк идею первого гальванического элемента: набор медных и цинковых кружочков, переложённых смоченным солёной водой сукном. Это был “вольтов столб” – самый замечательный, по словам Араго, - прибор, когда-либо изобретённый людьми, не исключая телескопа и паровой машины. Любопытно, что ни сам Вольта, ни его современники не имели ни малейшего представления о том, как и почему данный прибор работает.

Стало понятно, что ток - это упорядоченный поток движущихся электрически заряженных частиц. Г. Ом установил связь между током и напряжением на участке цепи :

$$I=U/R,$$

где R- это сопротивление участка цепи.

1.3. Открытие Эрстеда

Вольтов столб оказался поистине “рогом изобилия”. Новые открытия непрерывно следовали друг за другом. Дэви разложил током щёлочи и получил металлический натрий и калий, Петров открыл электрическую дугу. Наконец, Эрстед в 1820 г. сделал самое важное открытие. Поместив магнитную стрелку

вблизи провода с током, он обнаружил, что стрелка поворачивается. Причём, это уже не было случайным открытием. Ещё в 1807 г. Эрстед поставил себе целью изучить, оказывает ли электричество какое-либо воздействие на магнит. Между случайно открытой пастухами древности удивительной способностью кусков железа притягиваться на расстоянии и подрагиванием лягушачьей лапки в опытах Гальвани была найдена прямая связь. Магнетизм и электричество обнаружили глубокое родство, и это было доказано прямым опытом. Причём, к покоящимся зарядам магнитная стрелка оставалась совершенно равнодушной. Магнетизм связан не со статическим электричеством, а с электрическим током. Замечательный учёный Ампер сначала под непосредственным впечатлением от наблюдения поворачивающейся вблизи тока магнитной стрелки предположил, что магнетизм Земли вызван токами, обтекающими Землю в направлении с запада на восток. Главный шаг был сделан. Магнитные свойства тела можно объяснить циркулирующим внутри него током. Далее он пришёл к общему заключению: магнитные свойства любого тела определяются замкнутыми электрическими токами внутри него. Этот решающий шаг от возможности объяснения магнитных свойств токами к категорическому утверждению, что магнитное взаимодействие – это взаимодействие токов, - свидетельство большой научной смелости Ампера.

Согласно гипотезе Ампера, внутри молекул, слагающих вещество, циркулируют элементарные электрические токи. Если эти токи расположены хаотически друг по отношению к другу, то их действие взаимно компенсируется, и никаких магнитных свойств тело не обнаруживает. В намагниченном состоянии элементарные токи в теле ориентированы строго определённым образом, так что их действия складываются. Там, где Кулон видел неразделимые магнитные полюса молекул, оказались просто замкнутые электрические токи. Неразделимость магнитных полюсов полностью потеряла свою загадочность. Магнитное взаимодействие обусловлено не особыми магнитными зарядами, подобными электрическим, а движением электрических зарядов – током.

Ампер не только догадался, что при изучении магнитного взаимодействия нужно, прежде всего, исследовать взаимодействие электрических токов, но сам тут же занялся экспериментальным исследованием этого взаимодействия. В частности, он установил, что токи одного направления притягиваются, а противоположного - отталкиваются. Взаимно перпендикулярные проводники не действуют друг на друга. Напряжённые усилия Ампера увенчались в конце концов полным успехом. Он открыл закон механического взаимодействия между электрическими токами, решив тем самым проблему магнитного взаимодействия.

Тот закон взаимодействия полюсов магнитов, который Кулон считал фундаментальным, оказался одним из следствий открытия Ампера. Всё в совокупности, - писал об Ампере Максвелл, - и теория, и эксперимент как будто появились в полной зрелости и полном вооружении из головы “Ньютона электричества”. Эти исследования закончены по форме, идеальны по точности и резюмированы в формуле, из которой могут быть выделены все явления и которая навсегда должна остаться “фундаментальной формулой электродинамики».

Ведь электрический ток – это не что иное, как поток движущихся электрических зарядов. Значит, взаимодействие токов – это не что иное, как взаимодействие движущихся зарядов. Таким образом, наряду с взаимодействием Кулона, которое определяется только величиной зарядов и расстоянием между ними, при движении зарядов возникает новый тип взаимодействия. Оно определяется не только зарядами и расстоянием, но и скоростями движения зарядов. Впервые в физике были открыты фундаментальные силы, зависящие от скоростей!

Сила взаимодействия зарядов пропорциональна произведению этих зарядов, обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними, как и в законе Кулона, но, сверх того, ещё зависит от скорости этих зарядов и направления их движения. В открытии этого закона – весь смысл предыдущих усилий.

Магнитные силы существенно отличаются от электрических ещё в одном отношении. Они не имеют центрального характера, как кулоновские и гравитационные. Это обнаружилось уже в опытах Эрстеда: магнитная стрелка не притягивалась к проводу и не отталкивалась от него, а поворачивалась. Открытая Ампером сила действует на движущиеся частицы в направлении, перпендикулярном их скорости.

Силы магнитного взаимодействия частиц гораздо слабее кулоновских в обычных условиях. Лишь при скоростях частиц, приближающихся к скорости света, они становятся сравнимыми. Тем не менее силы взаимодействия токов могут достигать очень большой величины. Достаточно вспомнить, что именно эти силы приводят во вращение якорь любого электромотора. Более мощные кулоновские силы почти никак не проявляют себя в технике. Всё дело в том, что мы можем создавать очень большие токи, т. е. приводить в движение громадные количества электронов в проводниках. Создать же очень большие электростатические заряды не удаётся. Как это не покажется странным, магнитные взаимодействия по сути дела только в технике играют основную роль (вспомним электромоторы). В природе же их роль по сравнению с кулоновскими си-

лами довольно скромна. Ведь это силы взаимодействия токов, которые редко в природе достигают большой величины.

Лекция 11

Электромагнитные взаимодействия

Часть 2. Электромагнитная индукция М. Фарадея и электромагнитные волны Дж. Максвелла

1.4. Действие на расстоянии

Ньютон установил закон всемирного тяготения, при этом, однако, не выдвинув какого-либо объяснения его действия. Последовавшие за этим успехи в исследовании солнечной системы настолько захватили воображение учёных, что они вообще в большинстве своём начали склоняться к мысли, что поиски какого-либо механизма не нужны. Возникла концепция прямого действия на расстоянии непосредственно через пустоту. Тела способны непосредственно чувствовать присутствие друг друга без какой-либо среды. Концепцию действия на расстоянии часто пытались поддержать авторитетом Ньютона. Разве, - рассуждали они, - мы не видим, как магнит прямо через пустоту притягивает тела и при этом сила притяжения заметно не меняется, если магнит завернуть в бумагу или положить в деревянный ящик. Сторонники дальнего действия [10] полагали, что близкодействие существует не в природе, а лишь в головах сторонников этой концепции. Ведь это представление основано на грубом опыте донаучных времён, когда считали контакт необходимым для взаимодействия, но не понимали, что прямого контакта не бывает, а существует действие на столь малых расстояниях, которые нельзя измерить при несовершенных методах наблюдения. Аргументация против близкодействия была довольно сильная. Успехи сторонников действия на расстоянии явились только первым указанием на беспочвенность попыток объяснять коренные законы природы теми или иными наглядными механическими картинками, заимствованными из действительно грубого, повседневного опыта.

Открытие новых свойств электромагнитных взаимодействий, которые уже без громадных натяжек нельзя было истолковать на языке дальнего действия (как это было сделано для законов Кулона и Ампера), совершенно изменило положение. Не случайно, что первый и самый важный шаг в открытии этой новой стороны электромагнитных взаимодействий был сделан основоположником представлений об электромагнитном поле – одним из величайших учёных мира – Майклом Фарадеем.

1.5. Близкодействие

Никто, пожалуй, не вскрыл существа дела с такой ясностью, как Максвелл в статье “О действиях на расстоянии”. Если мы наблюдаем действие одного тела на другое, находящееся на некотором расстоянии от него,- говорил Максвелл,- то прежде, чем допустить, что это действие прямое и непосредственное, мы склонны сначала исследовать, нет ли между телами какой-либо материальной связи: нитей, стержней и т. д. Если подобные связи имеются, то мы предпочитаем объяснить действие одного тела на другое при помощи этих промежуточных звеньев.

Так, например, когда водитель исчезающих ныне старых автобусов поворачивает рукоятку, открывающую дверь, то последовательные участки соединительного стержня сжимаются, затем приходят в движение, пока наконец дверь не откроется. В современных автобусах водитель заставляет дверь открыться, направляя по трубкам сжатый воздух в цилиндр, управляющий механизмом двери. Нетрудно также приспособить для этих целей электромагнит, посылая ему сигналы по проводам. Во всех этих трёх способах открывания двери есть общее: между водителем и дверью существует непрерывная соединительная линия, в каждой точке которой совершается некоторый физический процесс. Посредством этого процесса происходит передача действия, причём не мгновенно, а с той или иной конечной скоростью.

Итак, действие между телами на расстоянии во многих случаях, отмечает Максвелл, можно объяснить присутствием некоторых промежуточных агентов, передающих действие, наличие которых вполне очевидно. Не разумно ли, спрашивается, когда никакой среды, никакого посредника между взаимодействующими телами мы не замечаем, допустить существование некоторого промежуточного агента? В этом состоит сущность концепции близкодействия. Кому не знакомы свойства воздуха, тот может подумать, что звучащий колокол непосредственно действует на уши, а передача звука невидимой среды – что-то совершенно непонятное. Однако здесь можно в деталях проследить весь процесс распространения звуковых волн и вычислить их скорость. Автором концепции близкодействия был М. Фарадей, который и ввёл в рассмотрение электрическое поле и его силовые линии для трактовки своих открытий.

1.6. Электромагнитная индукция М. Фарадея

Фарадей был совершенно уверен в единстве электрических и магнитных явлений. Вскоре после открытия Эрстеда он записал в своём дневнике (1821 г.): “Превратить магнетизм в электричество”. С этих пор Фарадей неустанно думал над данной проблемой. Говорят, он постоянно носил в жилетном кармане маг-

нит, который должен был напоминать ему о поставленной задаче. Через десять лет в результате упорного труда и веры в успех задача была решена. Им было сделано открытие, лежащее в основе устройства всех генераторов электростанций мира, превращающих механическую энергию в энергию электрического тока. Другие источники: гальванические элементы, аккумуляторы, термо- и фотоэлементы дают ничтожную долю вырабатываемой энергии.

Электрический ток, рассуждал Фарадей, способен намагнитить кусок железа. Для этого достаточно положить кусок внутрь катушки. Не может ли магнит в свою очередь вызвать появление электрического тока или изменить его величину? Долгое время ничего обнаружить не удавалось.

Какого рода случайности могли помешать открытию, показывает следующая любопытная деталь. Почти одновременно с Фарадеем швейцарский физик Колладон также пытался получить электрический ток с помощью магнита. При работе он пользовался гальванометром, лёгкая магнитная стрелка которого помещалась внутри катушки прибора. Чтобы магнит не оказывал непосредственного влияния на стрелку, концы катушки, в которую Колладон вдвигал магнит, надеясь получить в ней ток, были выведены в соседнюю комнату и там присоединены к гальванометру. Вдвинув магнит в катушку, Колладон шёл в эту комнату и с огорчением убеждался, что гальванометр показывает нуль. Стоило бы ему всё время наблюдать за гальванометром и попросить кого-нибудь заняться магнитом, замечательное открытие было бы сделано. Но этого не случилось. Покоящийся относительно катушки магнит мог лежать преспокойно внутри неё сотни лет, не вызывая в катушке тока.

С подобного рода случайностями сталкивался и Фарадей, потому что он неоднократно пытался получить электрический ток при помощи магнита и при помощи тока в другом проводнике, но безуспешно.

Открытие электромагнитной индукции, как назвал сам Фарадей это явление (по-русски слово “индукция” означает “наведение”), было сделано 29 августа 1831 г. Вот краткое описание первого опыта: “На широкую деревянную катушку была намотана медная проволока длиной в 203 фута, и между витками её намотана проволока такой же длины, но изолированная от первой хлопчатобумажной нитью. Одна из этих спиралей была соединена с гальванометром, а другая с сильной батареей, состоящей из 100 пар пластин. При замыкании цепи удалось заметить внезапное, но чрезвычайно слабое действие на гальванометре, и то же самое замечалось при прекращении тока. При непрерывном же прохождении тока через одну из спиралей не удавалось отметить ни действия на гальванометр, ни вообще какого-либо индукционного действия на другую спираль,

несмотря на то, что нагревание всей спирали, соединённой с батареей, и яркость искры, проскакивающей между углями, свидетельствовали о мощности батареи” (М. Фарадей, Экспериментальные исследования по электричеству”, I серия).

Итак, первоначально была открыта индукция неподвижных друг относительно друга токов. Затем, ясно понимая, что замыкание и размыкание соответствуют сближению или удалению проводников с током, Фарадей экспериментально доказал, что ток возникает при перемещении катушек друг относительно друга.

17 октября, как зарегистрировано в его лабораторном журнале, был обнаружен индукционный ток в катушке в момент вдвигания (или выдвигания) магнита. В течение одного месяца Фарадей экспериментально открыл все существенные особенности явления. Оставалось только придать закону строгую количественную форму и полностью вскрыть физическую природу явления. Уже сам Фарадей уловил то общее, от чего зависит появление индукционного тока в этих, выглядевших внешне по-разному, опытах. В контуре возникает ток при изменении числа силовых линий магнитного поля, пронизывающих площадь, ограниченную этим контуром (в частности, при изменении величины магнитного поля, пронизывающего контур), И чем быстрее меняется это число, тем больше ток. Причина изменения числа силовых линий совершенно безразлична. Это может быть и изменение силы тока (а, следовательно, и его поля), и сближение катушек, и движение магнита. Фарадей не только открыл явление, но и первым осуществил несовершенную пока ещё модель генератора электрического тока, превращающего механическую энергию вращения в ток. Это был массивный медный диск, вращающийся между полюсами сильного магнита. Присоединив ось и край диска к гальванометру, Фарадей обнаружил отклонение стрелки. Ток был, правда, слаб, но найденный принцип позволил впоследствии построить мощные генераторы. Без них электричество было бы мало кому доступной роскошью. Возникший индукционный ток немедленно начинает взаимодействовать с породившим его током или магнитом. Если магнит (или катушку с током) приближать к замкнутому проводнику, то появляющийся индукционный ток обязательно отталкивает магнит. Для сближения необходимо совершить работу. При удалении магнита возникает притяжение. Это правило, подмеченное Ленцем, выполняется совершенно неукоснительно. Природа мудро распорядилась направлением индукционного тока, с тем чтобы запасы энергии не изменялись. Индуцированный в якоре генератора электростанции ток, взаимодействуя с магнитным полем статора, тормозит вращение якоря. Только

поэтому для вращения якоря нужно совершать работу, тем большую, чем больше сила тока. За счёт этой работы и возникает индукционный ток.

Если катушка, в которой наводится ток, неподвижна относительно соседней катушки с переменным током, как, например, у трансформатора, то и в этом случае направление индукционного тока диктуется законом сохранения энергии. Этот ток всегда направлен так, что созданное им магнитное поле стремится уменьшить изменения тока в первичной обмотке.

Допустим, перед нами обыкновенный трансформатор. Включив первичную обмотку в сеть, мы немедленно получим ток в соседней вторичной обмотке, если только она замкнута. Электроны, находящиеся в проволоке обмотки, придут в движение. Какие же силы приводят электроны в движение? Само магнитное поле, пронизывающее катушку, этого сделать не может. Ведь магнитное поле действует исключительно на движущиеся заряды, а проводник с находящимися в нём

Тогда остаётся единственная возможность: предположить, что электроны ускоряются во вторичной обмотке электрическим полем, и это поле порождается переменным магнитным полем непосредственно в пустом пространстве. Тем самым утверждается новое фундаментальное свойство магнитного поля: изменяясь во времени, оно порождает вокруг себя электрическое поле.

Теперь явление электромагнитной индукции предстаёт перед нами в совершенно новом свете. Главное – это процесс в пустом пространстве: рождение магнитным полем электрического. Есть ли проводящий контур (катушка) или нет, это не меняет существа дела. Проводник с его запасом свободных электронов – просто индикатор (регистратор) возникающего электрического поля: оно приводит в движение электроны в проводнике и тем самым обнаруживает себя. Сущность явления электромагнитной индукции совсем не в появлении индукционного тока, а в возникновении электрического поля:

$$E = - d\Phi / dt$$

И это поле - вихревое электрическое поле. Возникающее при изменении магнитного поля электрическое поле имеет совсем другую структуру, чем электростатическое. Оно не связано непосредственно с электрическими зарядами, и его силовые линии не могут на них начинаться и кончаться. Они вообще нигде не начинаются и нигде не кончаются, представляя собой замкнутые линии, подобные силовым линиям магнитного поля.

1.7. Электромагнитное поле Дж. Максвелла

Сразу после открытия Фарадеем закона электромагнитной индукции учёные стремились придать ему строгую количественную форму. И лишь Дж. Максвелл (18 -18) смог усмотреть в явлении электромагнитной индукции новое фундаментальное явление - возникновение электромагнитного поля. Переменное магнитное поле рождает электрическое. Не существует ли в природе обратного процесса, когда переменное электрическое поле в свою очередь порождает магнитное? Это диктуемое соображениями симметрии предположение составляет основу известной гипотезы Максвелла о токах смещения. Максвелл допустил, что такого рода процесс реально происходит в природе. Переменное электрическое поле в пустоте или внутри диэлектрика было названо им током смещения. Током названо потому, что это поле порождает магнитное поле точно так же, как и обычный ток. Этим начинается, этим же и кончается сходство тока смещения с током проводимости. Добавка “смещение”, с одной стороны, говорит нам, что это не обычный ток, а нечто специфическое, а с другой стороны, напоминает о том отдалённом времени, когда с изменением электрического поля в пустоте связывалось смещение частиц гипотетического эфира. Уравнения

Максвелла в системе СИ имеют следующий вид.

$$\operatorname{rot} \mathbf{E} = - \operatorname{grad} \varphi - \dot{\mathbf{B}} \quad (1)$$

$$\operatorname{rot} \mathbf{H} = \mathbf{j}_{\text{пров}} + \dot{\mathbf{D}} \quad (2)$$

$$\operatorname{div} \mathbf{D} = \rho \quad (3)$$

$$\operatorname{div} \mathbf{B} = 0 \quad (4)$$

Здесь E -напряжённость электрического поля, H - напряжённость магнитного поля, $D = \epsilon E$ -вектор электростатической индукции, j -плотность тока (I/S), S -площадь сечения проводника, $B = \mu H$ - вектор электромагнитной индукции, ρ - плотность электрических зарядов.

Первое уравнение по сути является законом Фарадея в другой математической форме: $\operatorname{rot} \mathbf{E}$ - это и есть вихревое электрическое поле, возникающее под действием переменного магнитного поля H . В правой части второго уравнения - два слагаемых. Первое – это математическая форма положения о том, что магнитное поле порождается током проводимости j . Второе слагаемое – это и есть ток смещения. Третье уравнение выражает тот факт, что электрическое поле порождается электрическими зарядами. Четвёртое уравнение подтверждает факт отсутствия магнитных зарядов. Решением системы 4-х уравнений является электромагнитная волна.

Утверждение Максвелла долгое время оставалось не чем иным, как гипотезой, Причём гипотезой, которую мы сейчас с полным правом можем назвать гениальной. Экспериментально была доказана её абсолютная справедливость

лишь в 1881 г (?) Г.Герцем. Сейчас может показаться, что ничего нет в этом предположении необычайного, поражающего самой возможностью подобной догадки. Не мог ли её высказать любой учёный? Нет! Не надо забывать, что сама возможность этой гипотезы возникла лишь после объяснения электромагнитной индукции на основе представлений о поле. И это в то время, когда большинство известных учёных вообще не придавало самому понятию поля сколько-нибудь серьёзного значения и когда до момента экспериментального доказательства его существования оставалось ещё более десяти лет. Максвелл не только высказал гипотезу, но и сформулировал точный количественный закон, определяющий величину магнитного поля в зависимости от скорости изменения электрического поля. Можно только изумляться той исключительной последовательности и настойчивости, той уверенности в правоте своих идей, которые проявил Максвелл при формулировке законов электромагнитного поля. Уже с самого начала, когда Максвелл начал заниматься электромагнетизмом после успешной работы в области молекулярно-кинетической теории вещества, он сразу решил читать только экспериментальные работы и не читать теоретических, чтобы ничего предвзятого не возникало в суждении о законах этих явлений. Такой способ действия оказался удивительно плодотворным и помог Максвеллу выработать собственную цельную точку зрения на электромагнитные процессы. Максвелл смело положил в основу количественной теории объект (поле), экспериментальное существование которого не было доказано. И далее, опираясь на установленные опытным путём закономерности, он пришёл к конечной цели. Гипотеза о токах смещения была последним принципиальным звеном. Здесь Максвелл наделил гипотетический объект новым гипотетическим свойством, не имея на то, в отличие от предыдущих случаев, прямых экспериментальных указаний.

Переменное электрическое поле порождает в пустом пространстве магнитное поле с замкнутыми силовыми линиями (вихревое поле). Причём, в растущем электрическом поле силовые линии магнитного поля образуют правый винт с полем, в отличие от левого винта для поля в явлении электромагнитной индукции. Доказательство реальности гипотезы Максвелла состоит в существовании электромагнитных волн. Ток смещения и электромагнитная индукция целиком определяют самую возможность их существования.

После открытия взаимосвязи электрического и магнитного полей становится очевидным важный факт: эти поля не есть нечто обособленное, независимое одно от другого. Они – проявление единого целого, которое может быть названо электромагнитным полем.

Как передаётся электромагнитное взаимодействие? Среди бесчисленных следствий, вытекающих из уравнений для электромагнитного поля Максвелла, содержался результат чрезвычайной важности, предугадать который заранее было трудно. В них содержалась, как обнаружил сам Максвелл, конечность скорости распространения электромагнитных взаимодействий. Согласно концепции дальнего действия сила Кулона, действующая на электрический заряд, сразу же изменится, если соседний заряд сдвинуть с места. Действие передаётся мгновенно. С точки зрения действия на расстоянии иначе быть не может. Ведь один заряд непосредственно через пустоту “чувствует” другой. По Максвеллу дело обстоит совершенно иначе и много сложнее. Перемещение заряда меняет электрическое поле вблизи него. Это переменное электрическое поле (ток смещения) порождает переменное магнитное поле в соседних областях пространства. Переменное магнитное поле в свою очередь рождает переменное электрическое поле в соответствии с полевым истолкованием явления электромагнитной индукции, электрическое в свою очередь – магнитное и т. д.

Причём возникающие вихри магнитного (или электрического) поля гасят поле в тех участках, где оно уже имелось, но захватывает новые области пространства. Всё происходит по тем правилам определения направления полей, о которых мы уже говорили раньше. Если поля были направлены иначе, то это привело бы к нарушению закона сохранения энергии. Созданное в пространстве магнитное поле нарастало бы со временем, одновременно распространяясь во все стороны.

Перемещение заряда вызывает, таким образом, электромагнитное поле, и в результате всплеск этого поля, распространяясь, охватывает всё большие и большие области окружающего пространства, перестраивая по дороге то поле, которое существовало до смещения заряда. Наконец этот всплеск достигнет второго заряда, что и приведёт к изменению действующей на него силы. Но произойдёт это не в тот момент времени, когда произошло смещение первого заряда. Процесс распространения электромагнитного возмущения, механизм которого был вскрыт Максвеллом, протекает с конечной, хотя и очень большой скоростью. Максвелл математически доказал, что скорость распространения этого процесса равна скорости света в пустоте: триста тысяч километров в секунду. Вот новое фундаментальное свойство поля, которое делает его, наконец, осязаемой реальностью. Можно поставить опыт по измерению времени распространения возмущения между двумя зарядами. Так и произошло в действительности, когда Герцу удалось получить электромагнитные волны. Представьте себе, что электрический заряд не просто сместился из одной точки в другую, а

приведён в быстрые колебания вдоль некоторой прямой, так что он движется подобно грузу, подвешенному на пружинке, но только много быстрее. Тогда электрическое поле в непосредственной близости от заряда начнёт периодически изменяться. Период этих изменений, очевидно, будет равен периоду колебаний заряда. Электрическое поле будет порождать периодически меняющееся магнитное поле, а последнее, в свою очередь, вызывает появление переменного электрического поля, уже на большем расстоянии от заряда, и т. д. В окружающем заряд пространстве, захватывая всё большие и большие области, возникает система периодически изменяющихся электрических и магнитных полей. Этот процесс распространяется со скоростью света. Образуется то, что мы называем электромагнитной волной, бегущей во все стороны от колеблющегося заряда. В каждой точке пространства электрические и магнитные поля меняются во времени периодически, но, так как чем дальше расположена точка от заряда, тем позднее достигнут её колебания полей, на разных расстояниях от заряда колебания не происходят синхронно. Максвелл был глубоко убеждён в реальности электромагнитных волн, но дожить до их обнаружения ему не было суждено. Умер он за 10 лет до того, как Герц впервые экспериментально доказал существование электромагнитных волн. Посредством электромагнитных волн осуществляется совершенно новый тип взаимодействия между электрическими зарядами. Излучаются волны колеблющимися электрическими зарядами, следовательно, зарядами, скорость движения которых меняется со временем, - зарядами, движущимися с ускорением. Ускорение – главное условие порождения электромагнитных волн. Электромагнитное поле излучается не только при колебаниях зарядов, но и при любом резком изменении его скорости.

Итак, силы взаимодействия, осуществляемые электромагнитным полем, зависят не только от расстояния между частицами и их скоростей, но и от ускорений. Однако, при этом от ускорения зависит только величина поля. Сила же, действующая на заряд со стороны электрического поля электромагнитной волны, по-прежнему, зависит только от напряжённости поля, а со стороны магнитного – ещё от скорости движения заряда. С чем большей частотой колеблется заряд, тем большее ускорение он имеет и тем соответственно более интенсивны излучаемые им волны. При увеличении частоты колебаний всего лишь в два раза излучаемая энергия возрастёт в 16 раз! Поэтому в антеннах радиостанций возбуждаются колебания с частотой в сотни миллионов колебаний в секунду. Самым важным фактом взаимодействия посредством электромагнитных волн, определяющим всё его значение, является медленность убывания напряженностей полей в волне с расстоянием от источника. Электростатические силы и си-

лы взаимодействия токов обратно пропорциональны квадрату расстояния ($E=F/q=q/r^2$) и при этом считаются дальнедействующими. Убывание же с расстоянием полей в электромагнитной волне происходит обратно пропорционально самому расстоянию! Это крайне медленное убывание.

Вот почему поля даже сравнительно маломощной радиостанции могут быть обнаружены на расстояниях в тысячи километров, в то время как статические поля на таких расстояниях уже никак не сказываются.

Именно по этой причине мы видим звёздные скопления, удалённые от нас на невообразимые расстояния, которые свет преодолевает только за миллиарды лет (ведь свет – тоже электромагнитная волна).

С точки зрения квантовой теории переносчиком электромагнитного взаимодействия являются фотоны. Безразмерной константой электромагнитного взаимодействия является величина $e^2 / h \cdot c = 1/137$ (е-заряд электрона), то есть значительная величина по сравнению с гравитационной постоянной..

Лекция 12

Сильные взаимодействия

Сильные взаимодействия обеспечивают цельность ядра. Строительного материала для атомных ядер на первый взгляд вполне достаточно. Представим себе сейчас, что перед нами лежат две таблицы — таблица ядер и таблица элементарных частиц. Если говорить о массе, то самое легкое ядро у атома водорода. Оно в 1836,12 раза тяжелее электрона и имеет равный с ним по величине, но противоположный по знаку (положительный) заряд. Среди элементарных частиц у протона точно такие же свойства. Значит, состав одного ядра мы расшифровали. Но со всеми остальными ядрами так гладко не получается. Вот, например, ближайший сосед водорода в периодической системе Менделеева — гелий. Ядро гелия почти точно в четыре раза тяжелее водородного. Может быть, оно состоит из четырех протонов? Но тогда бы его электрический заряд был тоже вчетверо больше протонного, а на самом деле он больше только в два раза. Нельзя ли устранить это затруднение, допустив наличие в ядре, кроме протонов, других частиц, заряженных отрицательно и компенсирующих «лишний» заряд? Если к тому же эти частицы обладают небольшой массой, то можно, как будто, предположить участие электрона. Но почему же тогда и теоретики, и экспериментаторы дружно восстали против такой электронно-протонной модели? Их доводы были достаточно вескими. Электрон, оказывается, слишком лёгкая частица и не взаимодействует с протонами..

Элементарные частицы кроме массы и заряда имеют параметр «время жизни». Оно колеблется в весьма широких пределах: от тысячи (примерно) секунд у нейтрона до, например, фантастически маленького промежутка времени, выражающегося числом $0,8 \times 10^{-16}$ с у частицы, называемой пи-ноль-мезоном (обозначается π^0). По истечении этого «времени жизни» частицы распадаются, превращаясь в другие.

Но ведь атомы, а значит, и их ядра (то же ядро гелия, например) не только не распадаются сами по себе, но даже вынудить их к этому очень трудно. Они стабильны. Казалось бы, они и состоять могут лишь из стабильных частиц. Но среди элементарных частиц нет ни одной стабильной, кроме протона и антипротона (исключая легкие частицы, которые не могут ужиться в ядре).

Протоно-нейтронная модель атома

Итак, строительный материал для ядер нужно искать только среди тяжелых частиц. Таких частиц, не считая хорошо известного нам протона, в современной таблице довольно много: это прежде всего нейтрон и большая

группа так называемых *гиперонов*. Гипероны, вообще говоря, могут входить в состав ядра. При этом образуются так называемые *гипер-ядра*, обнаруженные на опыте. Однако все гиперядра неустойчивы: они очень быстро распадаются, что вовсе не удивительно, так как сами гипероны живут не больше десятиллионной доли секунды.

У нас в резерве осталась только одна частица — нейтрон. Он был открыт молодым тогда ученым Чадвиком в лаборатории Резерфорда еще в 1932 году. Нейтрон не имеет электрического заряда. По массе он почти совпадает с протоном (протон, как уже говорилось, в 1836 раз, а нейтрон — в 1839 раз тяжелее электрона, т. е. разница незначительная).

Мы уже говорили, что ядро гелия имеет заряд, вдвое превосходящий протонный, а по массе больше него почти точно в четыре раза. Если предположить, что в этом ядре по два протона и нейтрона, то мы приходим как раз к тому, что нужно. Прекрасные результаты получаются и для ядер всех других элементов. Не только заряд и масса — все остальные характеристики также оказываются в превосходном согласии с экспериментом.

Нейтрон настолько активно «напрашивается» на роль ядерной частицы, что по меньшей мере в двух странах — Советском Союзе (Иваненко) и затем в Германии (Гейзенберг) практически одновременно, как только появились сведения об опытах Чадвика, были сформулированы основные идеи протонно-нейтронной модели ядра — модели принятой и общепризнанной поныне.

Однако как примирить устойчивость ядер, с одной стороны, и нестабильность нейтрона — с другой? Ведь хотя на фоне других частиц нейтрон сравнительно устойчив, но нельзя же попросту сбросить со счетов, что, просуществовав примерно шестнадцать минут, он распадается. Как объяснить тот непреложный факт, что десятки видов ядер живут больше шестнадцати минут, а значительное число из них — практически вечно?

Стабильность, устойчивость вовсе не означает полного отсутствия движения. Важно лишь, чтобы характер этих движений обеспечивал непрерывное восстановление системы. В таких случаях говорят о динамическом, подвижном равновесии. За счет чего же может обеспечиваться динамическое равновесие? По-видимому, находясь внутри ядра, нейтрон становится участником таких процессов, на фоне которых его нестабильность перестает играть роль. Что же это за процессы?

Для наглядности приведём пример, который в различных вариантах часто привлекается для иллюстрации внутриядерной динамики. Представьте себе, например, что два человека несут груз, причем такой, что двоим одновременно

невозможно за него взяться и вместе с тем настолько тяжелый, что одному не под силу удерживать его долго. Поставить груз на землю и отдохнуть тоже нельзя. По условию, если груз выпал из рук, то поднять его уже невозможно. Если бы не было второго человека, то дело кончилось бы, конечно, тем, что первый рано или поздно выронил бы ношу. (Здесь сразу напрашивается сравнение с нейтроном, который, будучи одиночным, распадается.) Но вместе люди смогут нести груз, передавая его, как только наступает усталость, от одного к другому.

Не происходит ли в ядре нечто подобное? Ведь мысль о том, что только присутствие протона рядом с нейтроном стабилизирует последний, невольно приходит на ум, когда думаешь о том, почему же свободный, взятый в отдельности нейтрон неминуемо распадается, а в ядре он ведет себя как вполне устойчивая частица.

Наконец, если проводить аналогию с нашим примером, то что же может играть роль того «груза», которым обмениваются протон и нейтрон?

Сейчас мы подошли к удобному моменту, чтобы вспомнить одну «небольшую деталь»: частицы в ядре не только присутствуют, они еще теснейшим образом спаяны между собою. Мало «стабилизировать» нейтроны — нужно еще объяснить устойчивость всего ядра. И вот оказывается, что эти две проблемы самым тесным образом переплетаются между собой.

Таким образом, мы вплотную подошли к вопросу о внутриядерных взаимодействиях.

Рассматривая картину взаимодействий в квантовой теории, можно обнаружить, что она напоминает... волейбол. Частицы обмениваются, перебрасываются квантами промежуточного поля. С этой точки зрения и взаимодействие протонов и нейтронов внутри ядра должно определяться тем, что они перебрасываются какими-то частицами. Частицами — переносчиками взаимодействия.

Возникает вопрос о «частицах-посредниках», цементирующих ядро. Что это, собственно, за частицы? Каковы свойства этих частиц?

Классическая механика и ядро

Свободной частице в рамках классической механики законы сохранения энергии и импульса запрещают какое бы то ни было испускание. (Не нужно путать испускание частицы с её распадом). При испускании нейтроном каких-либо частиц, обозначим их буквой A , процесс идет по схеме: *нейтрон* \rightarrow *нейтрон* + A . Другими словами, нейтрон существует и до, и после превращения.

Теперь попробуем разобраться в вопросе о частицах-посредниках, подходя к нему с позиций квантового описания происходящих событий. Возраже-

ние, касающееся того, что закон сохранения энергии и импульса запрещает внутриядерным протонам и нейтронам испускать и поглощать какие бы то ни было частицы, отпадает сразу. Ни координата и импульс, ни энергия и время существования любой из составляющих ядро частиц не могут иметь одновременно определенные значения; Разброс, или, на более привычном физикам языке, квантовая неопределенность этих величин сразу снимает наши затруднения.

Мы говорили о разбросе энергий частиц в ядре. Фиксируем свое внимание, скажем, на каком-то протоне. Обозначим разброс его энергии через $\Delta \varepsilon$.

Очевидно, энергия кванта — переносчика взаимодействия (обозначим ее буквой E) как раз и должна «укладываться» в рамки этого разброса. Это позволяет написать равенство

$$\Delta \varepsilon = E \quad (1)$$

Каково значение разброса энергии $\Delta \varepsilon$? Здесь нам поможет соотношение неопределенностей импульсом и координатой $\Delta p \cdot \Delta x \geq h$ (см. лекцию 6). Из него же вытекает и неопределенность между энергией и тем временем, за которое протекает процесс,

$$\Delta \varepsilon \cdot \Delta t \geq h, \quad (2)$$

из которого следует, что

$$\Delta \varepsilon = h/\Delta t \quad (3)$$

А теперь нам нужно учесть, что в соответствии с теорией Эйнштейна (см. лекцию 6)

$$E = mc^2 \quad (4)$$

Что же это за время Δt ? Очевидно, его можно приравнять просто времени «пребывания в пути» частицы—переносчика взаимодействия. Ведь это и есть промежуток между моментом испускания и моментом поглощения кванта, то есть «временем взаимодействия». Но время пребывания в пути равно проходимому расстоянию l_0 , деленному на скорость движения.

Нас интересует сейчас лишь качественная оценка. Поэтому мы можем просто принять, что l_0 совпадает с размерами ядра (т. е. что каждый квант пересекает ядро из конца в конец), а скорость равна скорости света. Тогда получается

$$\Delta t = l_0/c \quad (5)$$

Подставляя (4) и (3) в (1), мы получим массу «частицы-посредника»:

$$m = h/l_0 \cdot c \quad (6)$$

Все величины, через которые выражается m , уже давно известны из опыта. Подставляя значения постоянной Планка h , размера ядра (точнее нужно бы-

ло бы говорить: «радиуса взаимодействия») I_0 и скорости света c , мы получим, что масса должна равняться примерно двумстам-тремстам массам электрона. Мы сумели выяснить очень существенные детали ядерных взаимодействий. Перечислим самое важное:

1. Взаимодействие является результатом обмена частицами.

2. Расстояние, на котором проявляется взаимодействие (или, как его часто называют, радиус действия сил), тем меньше, чем больше масса частиц, переносящих взаимодействие, так как из (6) $I_0 = h/mc$.

3. Взаимодействие является специфически квантовым (присутствует постоянная Планка h).

Эти интереснейшие выводы были сделаны впервые японским ученым Юкава. В то время список элементарных частиц был очень скромным: фотон (квант электромагнитного поля), электрон вместе с «зеркально подобным» ему позитроном, нейтрино, протон и нейтрон. Вот, собственно, и все. Замечательная научная смелость Юкава проявилась в том, что он, проанализировав факты, решительно заявил: должна существовать частица, отличающаяся от всех известных, с массой, примерно в двести раз большей, чем электронная. Она-то и обуславливает внутриядерные взаимодействия.

После того как Юкава предсказал новую частицу — мезон, экспериментаторы энергично взялись за ее поиски. При этих поисках было открыто целых пять частиц. Две из них, имевшие массу, в 207 раз превосходящую массу электрона, и обладавшие одна положительным, а другая отрицательным электрическим зарядом, были названы *мю-мезонами* (они обозначаются μ^+ и μ^-). Некоторое время считалось, что это и есть юкавские мезоны. Однако μ -мезоны не проявляли никакой активности при взаимодействии с ядрами. Они в этом отношении не отличались от электронов.

Новые поиски привели к открытию *пи-мезонов* (π -мезоны; иногда их называют также пионами), которые по всем признакам подходили на роль переносчиков ядерного взаимодействия, π -мезоны оказались трех сортов: с положительным (π^+), отрицательным (π^-) электрическим зарядом и, наконец, нейтральные (π^0). Их массы настолько близки (273,1 электронной массы у первых двух и 264,1 у последних), что эти частицы по справедливости считаются не различными мезонами, а одним и тем же мезоном «в разных зарядовых состояниях». Мезонная теория ядерных сил объясняет многие стороны явления. Силы ядерного взаимодействия — короткодействующие. Картина взаимодействий к тому же усложняется еще и тем, что все мезоны испускаются очень часто, так что и протон, и нейтрон окружены плотным облаком из этих частиц (правильнее сказать, что облака эти являются со-

ставной частью частиц). Неудивительно, что полной количественной картины сильных взаимодействий пока еще нет.

В конце XIX века Беккерелем были обнаружены 3 типа распада.: альфа (α), бета (β) и гамма (γ). Макроскопическим проявлением сильных взаимодействий является альфа (α) – распад. При α -распаде из ядра вылетает частица, уносящая положительный заряд, равный двум (в электронных единицах), и массу, почти точно вчетверо большую, чем у протона. По всем признакам α -частица — это просто ядро гелия, т. е. пара протонов и пара нейтронов, тесно спаянные воедино. Почему же происходит α -распад? Почему он присущ только тяжелым ядрам? Почему одни ядра распадаются очень быстро, в то время как другие, прежде чем выбросить α -частицу, существуют миллиарды лет? Вот самые первые вопросы, над которыми приходится здесь задумываться. Прежде всего укажем на бросающееся в глаза различие между β - и α -распадом. Если в первом из ядра вылетают частицы, которых там раньше не было и которые, следовательно, должны были возникнуть, родиться в самом процессе, то при α -излучении ядро выбрасывает явно какую-то свою составную часть. Существует ли α -частица, так сказать, в готовом виде, как единое целое внутри ядра, или два протона и два нейтрона «слипаются» непосредственно перед вылетом? Наиболее распространенной является вторая точка зрения. Но несомненно одно: α -частица — исключительно компактная, устойчивая, крепко сцементированная система и возникает она внутри ядра.

Какие же силы выталкивают α -частицу? Конечно, она несет электрический заряд, причем того же знака, что и все ядро, и, следовательно, между ядром и α -частицей должно существовать отталкивание. Но внутри ядра оно значительно перекрывается мощным ядерным притяжением. Ведь если бы этого не было, как уже говорилось, все ядра должны были бы разлететься на составные части. Сопоставим химическую и внутриядерную энергию. Это сопоставление дает весьма внушительные результаты: удельная (т. е. приходящаяся на одну частицу) энергия связи в ядрах превышает удельную химическую энергию примерно в миллион раз. Нужно ли поэтому удивляться, что никакими химическими методами нельзя вызвать (как это пытались делать алхимики) превращение одних элементов (т. е. по сути дела — ядер, так как именно состав ядра определяет строение атома и его химические свойства) в другие.

Ядерные силы, как мы уже знаем, «чувствуются» лишь на очень малых расстояниях. У физиков принято говорить об этом как о явлении насыщения ядерных сил. О существовании насыщения говорит и еще один интересный факт, известный как закон примерного постоянства ядерной плотности. Экспериментаторы установили, что размер ядер растет как корень кубический из общего

числа заключенных в них частиц. Иными словами, объем (пропорциональный кубу радиуса) увеличивается прямо пропорционально этому числу. Объем, приходящийся на каждую частицу, следовательно, во всех ядрах практически остается одним и тем же. Попробуем дать этому объяснение. Представьте себе, что соединятся два ядра — о таком слиянии нам еще придется поговорить подробнее. Если бы все частицы взаимодействовали со всеми, при таком соединении должна была бы произойти «усадка». Частицы оказались бы за счет возросшего притяжения спрессованными теснее, чем раньше. Но этого не происходит — объем, отведенный каждой частице, не уменьшается. Значит, большинство частиц (практически все, кроме находящихся на стыке) не почувствует никакого изменения взаимодействий. Это как раз и объясняется тем, что для действующих на них сил уже наступило насыщение, и появление поблизости новых частиц ничего не прибавляет к этим силам. Явление насыщения открывает путь к пониманию наиболее существенных особенностей α -распада.

Например, хорошо известно, что «более охотно» распадаются относительно тяжелые, состоящие из многих частиц ядра. Дело, очевидно, просто в том, что при малом числе частиц насыщение в полной мере еще не сказывается.

Нетрудно нам теперь ответить и на вопрос: почему из ядер чаще всего вылетает группа из четырех частиц — двух протонов и двух нейтронов, а не отдельные частицы? Мы ведь теперь убедились, что из-за слипания протонов и нейтронов. Нельзя ли представлять себе, что каждый протон или нейтрон активно взаимодействует лишь со сравнительно небольшим числом частиц, а дальше уменьшаются их связи со всем остальным окружением. А стоит этому случиться, как обусловленного принципом неопределенностей разброса энергии оказывается вполне достаточно, чтобы произошел α -распад.

С современной точки зрения электромагнитное и слабое взаимодействия представляют собой различные стороны единого электрослабого взаимодействия. Создана объединенная теория электрослабого взаимодействия — теория Вайнберга — Салама — Глэшоу, объясняющая с единых позиций все аспекты электромагнитных и слабых взаимодействий. Можно ли понять на качественном уровне, как происходит разделение объединенного взаимодействия на отдельные, как бы независимые взаимодействия?

Пока характерные энергии достаточно малы, электромагнитное и слабое взаимодействия отделены и не влияют друг на друга. С ростом энергии начинается их взаимовлияние, и при достаточно больших энергиях эти взаимодействия сливаются в единое электрослабое взаимодействие. Характерная энергия объе-

динения оценивается по порядку величины как 10^2 ГэВ (ГэВ – это сокращенное от гигаэлектрон-вольт, $1 \text{ ГэВ} = 10^9 \text{ эВ}$, $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ эрг} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$). Для сравнения отметим, что характерная энергия электрона в основном состоянии атома водорода порядка 10^{-8} ГэВ, характерная энергия связи атомного ядра порядка 10^{-2} ГэВ, характерная энергия связи твердого тела порядка 10^{-10} ГэВ. Таким образом, характерная энергия объединения электромагнитных и слабых взаимодействий огромна по сравнению с характерными энергиями в атомной и ядерной физике. По этой причине электромагнитное и слабое взаимодействия не проявляют в обычных физических явлениях своей единой сущности.

Сильное взаимодействие

Сильное взаимодействие ответственно за устойчивость атомных ядер. Поскольку атомные ядра большинства химических элементов стабильны, то ясно, что взаимодействие, которое удерживает их от распада, должно быть достаточно сильным. Хорошо известно, что ядра состоят из протонов и нейтронов. Чтобы положительно заряженные протоны не разлетелись в разные стороны, необходимо наличие сил притяжения между ними, превосходящих силы электростатического отталкивания. Именно сильное взаимодействие является ответственным за эти силы притяжения.

Характерной чертой сильного взаимодействия является его зарядовая независимость. Ядерные силы притяжения между протонами, между нейтронами и между протоном и нейтроном по существу одинаковы. Отсюда следует, что с точки зрения сильных взаимодействий протон и нейтрон неотличимы и для них используется единый термин *нуклон*, то есть частица ядра.

Характерный масштаб сильного взаимодействия можно проиллюстрировать рассмотрев два покоящихся нуклона. Теория приводит к потенциальной энергии их взаимодействия в виде потенциала Юкавы

$$V(r) = -g^2 \frac{e^{-r/r_0}}{r},$$

где величина $r_0 = 10^{-13}$ см и совпадает по порядку величины с характерным размером ядра, g – константа связи сильного взаимодействия. Это соотношение показывает, что сильное взаимодействие является короткодействующим и по существу полностью сосредоточено на расстояниях, не превышающих характерного размера ядра. При $r > r_0$ оно практически исчезает.

В настоящее время существует квантовая теория сильного взаимодействия, получившая название квантовой хромодинамики. Согласно этой теории, переносчиками сильного взаимодействия являются элементарные частицы – глюоны. По современным представлениям частицы, участвующие в сильном

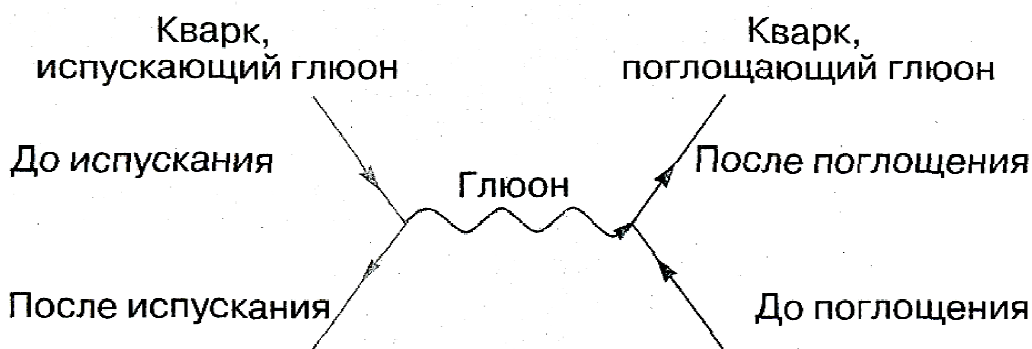
взаимодействии и называемые адронами, состоят из элементарных частиц – кварков.

Кварки представляют собой фермионы со спином $\frac{1}{2}$ и ненулевой массой. Наиболее удивительным свойством кварков является их дробный электрический заряд. Кварки формируются в три пары (три поколения дублетов), обозначаемые следующим образом:

$$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}.$$

Каждый тип кварка принято называть ароматом, так что существуют шесть кварковых ароматов. При этом u -, c -, t - кварки имеют электрический заряд $\frac{2}{3}e$, а d -, s -, b -кварки – электрический заряд $-\frac{1}{3}e$, где e – заряд электрона. Кроме того, существуют три кварка данного аромата. Они отличаются квантовым числом, называемым цветом и принимающим три значения: желтый, синий, красный. Каждому кварку соответствует антикварк, имеющий по отношению к данному кварку противоположный электрический заряд и так называемый антцвет: антижелтый, антисиний, антикрасный. Принимая во внимание число ароматов и цветов, мы видим, что всего существуют 36 кварков и антикварков.

Кварки взаимодействуют друг с другом посредством обмена восьмью глюонами, которые представляют собой безмассовые бозоны со спином 1. В процессе взаимодействия цвета кварков могут изменяться. При этом сильное взаимодействие условно изображается следующим образом:



Кварк, входящий в состав адрона, испускает глюон, в силу чего состояние движения адрона изменяется. Этот глюон поглощается кварком, входящим в состав другого адрона, и меняет состояние его движения. В результате возникает взаимодействие адронов друг на друга.

Природа устроена так, что взаимодействие кварков всегда ведет к образованию бесцветных связанных состояний, которые как раз и являются адронами.

ми. Например, протон и нейтрон составлены из трех кварков: $p = uud$, $n = udd$. Пион π' составлен из кварка u и антикварка d' : $\pi' = ud'$. Отличительная черта кварк-кваркового взаимодействия через глюоны состоит в том, что с уменьшением расстояния между кварками их взаимодействие ослабляется. Это явление получило название асимптотической свободы и ведет к тому, что внутри адронов кварки можно рассматривать как свободные частицы. Асимптотическая свобода естественным образом вытекает из квантовой хромодинамики. Имеются экспериментальные и теоретические указания на то, что с ростом расстояния взаимодействие между кварками должно возрасти, в силу чего кваркам энергетически выгодно находиться внутри адрона. Это означает, что мы можем наблюдать только бесцветные объекты – адроны. Одиночные кварки и глюоны, обладающие цветом, не могут существовать в свободном состоянии. Явление удержания элементарных частиц, обладающих цветом, внутри адронов получило название *конфайнмента*. Для объяснения конфайнмента предлагались различные модели, однако последовательное описание, вытекающее из первых принципов теории, до сих пор не построено.

Безразмерная константа сильного взаимодействия равна $\frac{g^2}{\hbar c} = 1$, т.е. это самая большая величина из констант фундаментальных взаимодействий.

Лекция 13

Слабые взаимодействия

Слабые взаимодействия весьма существенны для облика нашего мира. Сколько всевозможных “запрещений” влекут они за собой. Название “слабые”, таким образом, вовсе не означает незначительности проявлений этих взаимодействий. Слабые взаимодействия недаром называют ещё и “распадными”. Распад почти всех неустойчивых частиц связан именно с ними. Значит, если бы по мановению какой-то волшебной палочки эти взаимодействия могли исчезнуть, сразу прекратились бы очень многие из известных нам типов превращения частиц. И нейтроны, и многие мезоны, и гипероны сделались бы устойчивыми и могли бы существовать как угодно долго. К каким бы только чудесам это не привело! Вот, например, периодическая система элементов. В ней зарегистрировано учёными к настоящему времени 118 химических элементов. А почему не больше? Существуют ли элементы с номерами 1000, 10000 и т.д. Таких элементов нет, и, более того, мы уверены, что они никогда не появятся в клетках таблицы Менделеева. Ведь номера элементов совпадают с количеством протонов в ядре каждого элемента. Чем больше это количество, тем больше кулоновские силы, стремящиеся разорвать ядро. Компенсировать их способна только значительная нейтронная прослойка, ничего не прибавляющая к силам отталкивания, цементирующая ядро с помощью мезонов. Казалось бы, разбавив протоны достаточным количеством нейтронов, можно побороть кулоновскую неустойчивость в любом из ядер. Но здесь приходится вспомнить о нестабильности нейтронов. Как только их становится слишком много, появляется вероятность β - распада, которая становится тем больше, чем значительнее относительная доля нейтронов в ядре.

Ядра с $Z \geq 100$ не могут быть устойчивыми. Это хорошо известное обстоятельство приводит, в частности, к тому, что очень тяжелые элементы приходится, собственно, не открывать, а изготавливать. В готовом виде ни в недрах земли, ни в атмосфере, ни в глубинах океана таких элементов не найдёшь. Для этого они слишком недолговечны. Ученым приходится применять обстрел ядер быстрыми ионами, следить за цепью сложных ядерных превращений, прежде чем чувствительнейшие приборы успеют в какое-то короткое мгновение зарегистрировать новый элемент, образующийся в невообразимо малых количествах, порой исчисляемых отдельными атомами.

Изотопы элементов при одинаковом числе протонов различаются количеством нейтронов в ядре. Изотоп может быть устойчивым лишь в том случае,

когда соотношение между числом протонов и нейтронов остаётся в пределах стабильной нормы. Как только нейтронов становится больше, чем разрешается по этой норме, начинается β -распад нейтрона (n) на положительно заряженный протон (p^+) и отрицательно заряженный электрон (e^-), которые без особого труда обнаруживаются приборами. Но вот что странно: если измерить энергию нейтрона до распада и сравнить её с той энергией, которую получают протон и электрон, образовавшиеся из этого нейтрона, то обнаруживается неувязка. Часть энергии, казалось, куда-то исчезает! Точно так же не сохраняется импульс и момент количества движения.

Законы сохранения – это самые фундаментальные принципы, которые удалось установить физикам на основе бесчисленных опытов и их истолкования. Конкретные методы описания движения могут меняться. Так на смену ньютоновскому описанию пришло квантовомеханическое, а законы сохранения всегда оставались незыблемыми. Более того, они сами были тем маяком, который помогал учёным двигаться в области неизведанного.

И вот явление β - распада, казалось, показало их несостоятельность. В физике возникло то, что можно назвать “чрезвычайным положением”. В то время мнения учёных разделились. Часть из них пыталась примириться с мыслью нарушения законов сохранения. Они ссылались на то, что эти законы установлены для макромира, а не для элементарных частиц, и могут выполняться лишь “в среднем”. Такой подход помимо того, что он не снимал всех проблем, не мог импонировать большинству физиков ещё и потому, что в нём не было положительной программы дальнейшего движения.

Гораздо привлекательнее выглядела гипотеза швейцарского теоретика Вольфганга Паули. Что, если вместе с протоном и электроном при распаде нейтрона рождается ещё одна частица, - спросил себя Паули, - которая уносит с собой недостающую энергию, импульс, момент количества движения? Мы не наблюдаем этой частицы, но это легко объяснить. Стоит только представить себе, что она не имеет электрического заряда и её масса покоя очень мала или вообще равна нулю. Тогда она не сможет отрывать электроны у атомов, расщеплять ядра и вообще производить все те “разрушения”, по которым мы всегда судим о присутствии частиц. Эту частицу пришлось “изобрести”, чтобы не рухнул весь фундамент, на котором покоится физика, чтобы спасти “закон сохранения”. Прямое экспериментальное доказательство её существования появилось лишь в 1956 году. Четверть века нейтрино вело призрачное существование на страницах научных книг и статей. Хотя никто тогда не “видел” этой час-

тицы, ей отводилось важное место во взаимных превращениях многих частиц. И прежде всего (хотя бы в смысле хронологическом) нейтрона.

Конечно, нельзя утверждать, что такая частица абсолютно ни с чем не взаимодействует. То, что было рождено, может затем и поглотиться. Иначе изобретение нейтрино означало бы всё тот же отказ от законов сохранения, только в более хитрой, завуалированной форме. Энергия ведь терялась бы с нейтрино бесследно и навсегда.

Паули предположил, что нейтрино просто очень слабо взаимодействует с веществом и поэтому может пройти сквозь большую его толщу, не обнаружив себя. Сейчас мы знаем, насколько был прав Паули, высказывая такое предположение. Нейтрино – действительно самая “неуловимая” частица. Она свободно проходит через земной шар, способна пронизать Солнце. И только если представить себе чудовищный железный ком размером с нашу галактику, то в нём нейтрино поглотилось бы почти наверняка.

“Крестным отцом” нейтрино, давшем ему это имя, был великий итальянский физик Ферми. В буквальном переводе на русский оно означает что-то вроде – “нейтральненькое”. Так назвали новую частицу, которой суждено было стать самой, пожалуй, замечательной и популярной в семействе элементарных частиц. Необычным путём вошла она в науку; удивительными оказались её свойства, и, наконец, необычайна её роль в природе.

Именно он “узаконил” его, введя нейтрино в рамки существующей квантовой теории. Работы Ферми и длинный ряд работ его последователей, казалось, полностью прояснили ситуацию. Масса покоя нейтрино долго казалась равной нулю, как и у частицы света – фотона. Это имеет простой смысл: покоящихся нейтрино нет. Сразу же после рождения они движутся со скоростью света. Хорошо известен так же спин нейтрино (Спин – собственный момент количества движения элементарных частиц, имеющий квантовую природу и не связанный с перемещением частицы как целого. Он равен $\pm J \cdot h$, где J принимает любые целые значения, включая 0). Говоря на наглядном “классическом” языке, нейтрино как бы закручено (наподобие пули, вылетевшей из нарезного ствола). Спин оказался таким же, как у протона или электрона. Сведений о нейтрино накапливалось всё больше. Теоретики предсказали, что у него должен существовать “двойник”, как есть двойник - позитрон у электрона. Название двойнику пришло само собой – антинейтрино. Некоторая курьёзность имеется в том, что те частицы, которые образуются при β – распаде нейтрона, по ряду соображений следует называть не нейтрино, а антинейтрино. Тогда β - распад можно представить в виде

$$n \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu} . \quad (1)$$

Экспериментаторы накопили много сведений о превращении частиц, в которых участвуют нейтрино и антинейтрино. Список таких превращений сейчас уже довольно обширен. Оказывается, отнюдь не один β – распад нейтрона протекает с участием этих частиц - невидимок. Но как “поймать” их? Экспериментаторам удалось добиться и этого. Сделано это было с помощью простейшего по своей идее опыта. Возле ядерного реактора, в котором происходит громадное число β - распадов (и, следовательно, образуется очень много антинейтрино), был расположен массивный “ящик”. Стенки его были из такого материала (свинец или парафин) и такой толщины, что сквозь них внутрь “ящика” заведомо не могла проникнуть ни одна частица, кроме антинейтрино. Ведь для антинейтрино практически нет преград. Потоки антинейтрино из котла устремляются во все стороны, в частности, в “ящик”. Эти потоки так велики, что хотя каждая частичка антинейтрино имеет ничтожно малую вероятность поглотиться в веществе, заполняющем “ящик”, из-за громадности числа этих частиц несколько актов поглощения может произойти за сравнительно недолгое время. По расчётам учёных этот процесс должен был протекать так.

Пусть антинейтрино ($\bar{\nu}$) сталкивается с одним из протонов в точке А (“ящик” заполняется водой), заставляя его превращаться в нейтрон с одновременным образованием позитрона. Позитрон немедленно аннигилирует с первым попавшимся электроном (в точке В), давая два γ -кванта. Эти последние проходят через слой жидкого сцинтиллятора (вещества, начинающего светиться при прохождении сквозь него γ -квантов), расположенного возле внутренних стенок “ящика”. Это свечение сразу же отмечают 150 фотоумножителей – приборов, реагирующих на слабейшие световые импульсы. А образовавшийся нейтрон? После непродолжительного блуждания в воде он должен был захватиться специально введённым в “ящик” кадмием (точка С), что сопровождается образованием также γ - квантов. Как видите, масса событий должна сопровождать захват антинейтрино. Так предсказывала теория. Но что скажут приборы? Зарегистрируют ли они всё, что было предсказано? И приборы действительно зарегистрировали наконец то, что не смотря на большую уверенность физиков, всё же оставалось гипотетичным. Частица-невидимка выдала себя, попав в “капкан”, поставленный учёными.

Казалось, физикам удалось “расправиться” с нейтрино и антинейтрино: теоретики уверенно их описывали, экспериментаторы научились их с полной достоверностью обнаруживать. Однако вскоре природа преподнесла исследователям очередной сюрприз. Нейтрино своим рождением спасло важнейшие за-

коны сохранения. Однако то же нейтрино разрушило другой закон общего значения. До 1956 года никому не приходило в голову усомниться в зеркальной симметрии природы. Это значит, что любой процесс, происходящий в природе, как считалось, может протекать и так, каким он виден в зеркале. Соответственно, зеркальное изображение любого объекта – также возможный объект природы. Правда, человек, рассматривающий своё отражение в зеркале, мог бы, вдумавшись, уловить и некоторые любопытные детали: правое превращается в левое. “Зеркальный двойник” пишет левой рукой – но ведь есть левши: он застёгивает костюм на левую сторону – но ведь только привычка заставляет мужчин поступать иначе: у “двойника” сердце расположено справа – но ведь есть же, в конце концов, хотя и очень редкие случаи, когда такое расположение встречается у людей. Существует зеркальная симметрия, симметрия правого и левого. Однако всегда ли она существует?

Долгое время ничто не заставляло усомниться в этом, а привычное часто кажется непреложным. Изучение нейтрино ещё раз напомнило физикам: в науке нет само собой разумеющихся истин. Те нейтрино, которые образуются при распаде антинейтрона, оказываются закрученными строго определённым образом: направление их “вращения” образует левый винт с направлением движения. Никаких исключений (вроде рождения людей с сердцем в правой половине груди) здесь нет. Но ведь это явное нарушение зеркальной симметрии: винт с левой нарезкой будет казаться в зеркале имеющим правую резьбу. “Правовинтового” же нейтрино не существует. Нейтрино – это единственный объект, не имеющий зеркального изображения.

Значит ли это, что, поставив нейтрино перед зеркалом (и, допустив на мгновение, что мы каким-то чудом можем его видеть), мы вообще не увидим никакого отражения? Нет, мы этого не утверждаем. Речь идет о том, что это отражение обладает такими “свойствами” (если так можно вообще говорить об отражении), какими нейтрино никогда ни при каких условиях обладать не может. Но удивительным образом эти свойства такие же, как у антинейтрино.

Итак, отражением частицы нейтрино в зеркале является другая частица – антинейтрино. Если вдуматься, это выглядит не менее поразительно, чем, скажем, то, как если отражением очаровательной девушки в зеркале оказался бы немолодой лысый мужчина.

Мы, разумеется, не имеем в виду сравнение степени привлекательности нейтрино и антинейтрино. Мы хотим лишь подчеркнуть, что это разные частицы и в то же время зеркально - симметричные. Установление этого факта озна-

чало крушение уверенности в том, что можно назвать “простой симметрией правого и левого”. Это было бы немалым сюрпризом для физиков.

В зеркале мы видим своё анти - Я. В нашем мире бросается в глаза подавляющее преобладание частиц над античастицами. А ведь согласно фундаментальным законам природы античастицы и частицы имеют совершенно равные права на существование. Антипротоны и антинейтроны могут образовывать анти - ядра. Вместе с позитронами анти - ядра могут составлять анти - атомы и куски антивещества.

Мы почти ничего не знаем о том, каким образом вещество Вселенной оказалось отсепарированным от антивещества. Мы можем, однако, констатировать факт такой сепарации. До 1957 г. физики были убеждены, что при замене всех частиц античастицами мы получили бы мир, в котором всё происходило бы точно так же, как и в нашем. Однако вспомним свойства нейтрино. Из-за «закрученности» этой частицы процессы в мире, в котором нейтрино заменены антинейтрино, будут происходить уже по-иному. Они будут происходить так, как при зеркальном отражении, которое как раз и меняет «закрученность» нейтрино. Следовательно, естественно предположить, что распад антикобальта будет происходить точно так же, как и распад кобальта, видимый в зеркале.

Объединяя две асимметрии, зеркальную и зарядовую вместе, мы приходим к более важной симметрии, получившей название принципа комбинированной четности или симметрии. Согласно этому принципу. зеркальное изображение любого процесса в природе также является возможным процессом, если только все частицы заменить античастицами.

Если раньше думали, что отражение тела в зеркале отличается от самого тела только заменой левого на правое, то согласно новым представлениям изображение ведёт себя так, как если бы оно состояло из антивещества; зеркальные изображения нейтрино – антинейтрино, электрона - позитрон и т. д. В зеркале вы видите своё анти-Я: левое заменено на правое, а частицы на античастицы.

Необычные свойства нейтрино приводят к существованию в нашем мире процессов, идущих с нарушением зеркальной симметрии. Впервые это было экспериментально установлено в опытах американского физика Ву, поставленных по идее Ли и Янга – теоретиков, указавших на возможность нарушения зеркальной симметрии. Схема этих опытов, если не вдаваться в подробности, такова.

Радиоактивный кобальт (^{60}Co) охлаждается до очень низких температур и помещается в сильное магнитное поле. При этом все, или, во всяком случае, заметная доля, ядер оказываются ориентированными: их магнитный момент и

пропорциональный ему момент количества движения параллелен магнитному полю. Измеряется количество возникающих при β - распаде электронов, летящих как по, так и против направления магнитного поля.

Если бы зеркальная симметрия существовала, то это количество должно было бы быть одинаковым – в этом легко убедиться, представив себе “зеркальную” установку. Эксперимент убедительно показал существование явной асимметрии (60 % и 40 %, а не по 50 %), проверенные затем во многих лабораториях мира, эти опыты не оставили сомнений в том, что зеркальная симметрия нарушается.

Нарушение этой симметрии, как показывает теория, возможно именно благодаря тому, что вылетающие из ядра одновременно с электронами антинейтрино всегда закручены строго определённым образом: направление их вращения, т. е. спин, составляет правый винт с направлением движения.

Впоследствии удалось обнаружить нарушение зеркальной симметрии при распаде π - и μ -мезонов. Здесь также появляются нейтрино или антинейтрино. Более того, сейчас известно, что зеркальная симметрия нарушается во всех процессах, обусловленных слабыми взаимодействиями. Это относится, например, к рождению и распаду Λ^0 -частиц, хотя нейтрино в таких процессах не участвует. Но сюрпризы этим далеко не исчерпываются.

Не сохранение комбинированной симметрии. Величины, характеризующие в квантовой механике состояние частицы (они называются волновыми функциями), ведут себя по-разному при операции замены частиц на античастицы с одновременным зеркальным отражением. В одних случаях волновая функция не меняется вовсе – чётность положительна, в других она меняет знак – чётность отрицательна. При всех превращениях элементарных частиц эта комбинированная четность системы должна сохраняться.

В дальнейшем оказалось, что существует два сорта нейтрино. В 1962 г. в нейтринной физике произошло ещё одно удивительное событие. Мы уже говорили о μ -мезонах. Их сходство с электронами и позитронами, если речь идёт о μ^+ (т. е. о положительных мезонах) касается и взаимодействий с нейтрино.

В опытах 1956 г. антинейтрино, сталкиваясь с протонами, порождало позитроны. А почему не μ^+ -мезоны? Просто потому, отвечали физики, что не хватало энергии, μ^+ -мезоны примерно в 200 раз тяжелее позитронов и, следовательно, для их обнаружения требуется во столько же раз большая энергия. Антинейтрино же, вылетающие из реактора, такого запаса энергии не имеют. А если бы имели? Тогда, - отвечали учёные, - μ^+ - мезоны рождались бы примерно столь же часто, как и позитроны.

Вопрос о двух нейтрино оказался актуальным лишь в тот момент, когда появилась реальная возможность решить его экспериментально. Идея опыта была предложена советским физиком Б.М. Понтекорво. Сам опыт с блеском провели американские коллеги.

Нейтроны – очень удобный источник антинейтрино. Однако, чтобы антинейтрино рождались с большими энергиями, нужно предварительно сообщить значительную энергию и нейтронам. Но ускорителей для нейтронов нет. Эти частицы нейтральны, а разгонять учёные умеют только заряженные частицы.

Есть, однако, и другой путь. Хорошо известно, что при распаде π -мезона образуется μ -мезон и нейтрино (или антинейтрино). Какое нейтрино – “электронное” или “ μ -мезонное”? Недавно такой вопрос даже не ставился. Теперь, когда он поставлен, мы можем осторожно ответить: во всяком случае, “ μ -мезонное” наверняка. Оно тесно связано с μ -мезоном уже “общностью рождения”. Является ли оно одновременно “электронным”? Нужен опыт ...

Опыт, проведенный в 1962 г. на ускорителе в 30 миллиардов электрон-вольт в Брукхейвене, подготавливавшийся два года, выглядел так. Пучок ускоренных протонов налетал на бериллиевую мишень, рождая потоки π -мезонов. Эти последние в свою очередь, распадаясь, давали наряду с μ -мезонами то, что было самым важным: антинейтрино (и нейтрино) больших энергий. Правда, их было совсем не так много, как в опытах с реактором. Однако вычисления показали, что быстрые антинейтрино куда “охотнее” взаимодействуют с другими частицами, чем медленные. Для регистрации порождаемых антинейтрино частиц применялась так называемая искровая камера. Эта камера содержала 10 тонн алюминиевых пластин, между которыми создавалось высокое напряжение. Если быстрая заряженная частица пролетала сквозь пластины, то в зазорах на пути её следования возникает искровой разряд между пластинами. Огненный след, хорошо видимый на фотографии, позволяет легко отличить π -мезоны от позитронов и электронов. Чтобы в камеру проходили извне только нейтрино (и антинейтрино). имелась специально предусмотренная защита.

Наблюдения велись шесть месяцев. За это время было обнаружено всего пятьдесят случаев (вспомните – взаимодействия слабые!) рождения частиц. И все они без исключения были μ -мезонами! Ни одного электрона или позитрона! Это было новым поразительным сюрпризом. Существование двух разных типов нейтрино (и антинейтрино) – “электронного” и “ μ -мезонного” – было доказано.

Что это за типы? Каково различие между ними? Каковы детали законов, ими управляющих? Мы пока не знаем. Перед учёными встала новая загадка, которую ещё предстоит разрешить.

Нам, например, немало известно о взаимоотношениях нейтрино с другими частицами, - о том, в каких распадах нейтрино участвует, и о том, какие превращения нейтрино вызывает.

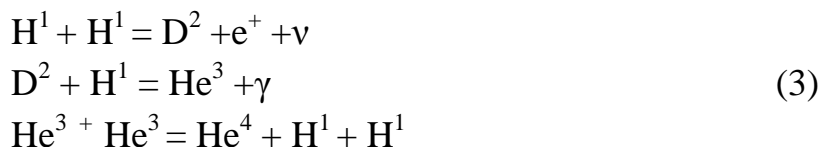
Частицы, способные к слабым и электромагнитным взаимодействиям, получили название лептонов(это лёгкие элементарные частицы). К ним относятся оба нейтрино (электронное и мезонное), электрон и μ – мезон вместе с четырьмя соответствующими античастицами. Тяжелые частицы называются барионами. *Существует закон сохранения числа лептонов, аналогичный закону сохранения барионов.*

С точки зрения квантовой теории константа слабых взаимодействий (G_F) определяется следующим соотношением:

$$G_F \cdot m_p = 10^{-5} \quad (2).$$

Радиус слабых взаимодействий $r_0 \approx 10^{-17}$ м, то есть меньше радиуса сильных взаимодействий. Переносчиками слабых взаимодействий являются заряженные W^\pm и нейтральные Z^0 – бозоны (частицы, масса которых превышает примерно в сто раз массу протона, а спин равен единице).

Нейтрино участвует в ядерных реакциях, идущих на звёздах. Один из типов таких реакций приведён Эддингтоном:



А. Эйнштейн поставил задачу объединить все 4 взаимодействия в одно. Ему решить её не удалось. Эта задача получила название теории единого поля, которая и сейчас является фундаментальной. Первым этапом этой теории является теория электрослабых взаимодействий, которая создана трудами Салама, Вайнберга и Глэшоу и за которую им была присуждена Нобелевская премия в 1983 г. Электрослабые взаимодействия реализуются при энергии 100 ГэВ, что блестяще подтвердилось в эксперименте. При меньших энергиях они распадаются на электромагнитные и слабые. Теория, объединяющая электрослабое и сильное взаимодействия, получила название теории Великого объединения. Учёные рассчитали, что такое объединение может произойти при огромной энергии $E = 10^{15}$ ГэВ (сопоставьте с величиной энергии связи атомного ядра 10^2 ГэВ). Такие энергии в настоящее время не могут быть получены, и значит экспериментальное подтверждение такой теории в земных условиях недостижимо.

И, наконец, последнее гравитационное взаимодействие объединить с тремя, рассмотренными выше, в рамках имеющихся представлений и моделей, по-видимому, не удастся. Энергия объединения получила название Планковской и составляет 10^{19} ГэВ, для которой становятся существенными квантово - гравитационные эффекты. Несмотря на очень интересные подходы, развитые в последнее время, такие как супергравитация и теория струн, проблема объединения всех фундаментальных взаимодействий, по-видимому, неосуществима в рамках идей, приведших к стандартной теории электрослабых взаимодействий.

Лекция 14

Предмет и задачи химической науки

Химия – наука, изучающая свойства и превращения веществ, сопровождающиеся изменением их состава и строения. Основателем химии по праву считается Р. Бойль (см. л.5). Однако программа исследований химических явлений была сформулирована впервые на первом Международном съезде химиков в Карлсруэ в Германии в 1860 г. Основные исходные положения этой программы состояли в следующем:

- все вещества состоят из молекул;
- все молекулы состоят из атомов;
- атомы и молекулы находятся в непрерывном движении;
- атомы представляют собой мельчайшие, далее неделимые составные части молекул.

Дальнейшее развитие атомно-молекулярная теория получила с открытием радиоактивности и доказательства сложного состава и строения атома, состоящего из ядра и электронов. О том, что химические силы имеют электрическую природу, догадывался ещё Фарадей. Однако химическая связь обладает необычным свойством насыщения (в отличие от электромагнитных сил, сил тяготения и др.), которое выражается понятием валентности. Валентность – мера способности атома химического элемента образовывать химические связи с другими атомами и равна числу внешних электронов или числу электронов, недостающих до завершения электронной оболочки. Химические связи между атомами осуществляют электроны, расположенные на внешней оболочке и связанные с ядром наименее прочно. В зависимости от характера взаимодействия между электронами различают три типа связей: ковалентную, ионную и металлическую. Ковалентная связь осуществляется за счет образования электронных пар, принадлежащих в равной мере обоим атомам (например, Ge, Si). Ионная связь – электростатическое притяжение между ионами, образованное за счёт полного смещения электронной пары к одному из атомов (например, NaCl). Металлическая связь – это связь между положительно заряженными ионами в кристаллах и свободно движущимися электронами.

Квантовая теория химической связи была построена Гайтлером и Лондоном в Англии после открытия спина у элементарных частиц с учётом принципа Паули. Элементарные частицы имеют кроме массы, заряда ещё одну характеристику – спин. Концепция спина была введена в 1925 г. Уленбеком и Гаудсмитом. Спин – это собственный момент количества движения элементарной

частицы, имеющий квантовую природу и не связанный с перемещением частицы как целого; измеряется в единицах постоянной Планка h и может быть целым или полуцелым (например, электрон имеет спин, равный $\frac{1}{2}$, и подчиняется статистике Ферми-Дирака, а бозон – целый спин и подчиняется статистике Бозе-Эйнштейна). Согласно принципу Паули в произвольной физической системе не может быть двух электронов, находящихся в одном и том же квантовом состоянии. Взаимная ориентация спинов оказывается решающим фактором при образовании молекулы. Химическая связь возникает, если коллективизируемые электроны имеют противоположно направленные спины. Коллективизируемые электроны, согласно принципу Паули, должны иметь разные спины, т.к. у них одно квантовое число. После того, как молекула образована, она всегда будет отталкивать другие атомы. Этим и объясняется насыщение. В парах могут участвовать только электроны со свободными спинами – это электроны с внешних оболочек. Таким образом, несмотря на ничтожную величину, спин электрона определяет всю химию атомов.

Основоположителем системного освоения химических знаний явился Д.И. Менделеев (1834-1907), открывший периодический закон и разработавший периодическую систему химических элементов в 1869 году. Закон этот звучал так: свойства тел, а также формы и свойства соединений элементов находятся в периодической зависимости от величины атомных весов элементов. В современном представлении он формулируется следующим образом: “Свойства простых веществ, а так же формы и свойства соединений элементов находятся в периодической зависимости от величины заряда ядра атома (порядкового номера)”.

В 70-е годы XIX века было 62 элемента в периодической системе элементов. В 1930-ые годы известны были 92 элемента, в 1999г. был получен 114-й элемент физическим синтезом ядер, в 2007 г. – 118-й.

Учебник, изданный Менделеевым в 1868 - 1871 годы в одной книге, излагал стройную систему знаний по химии. Основными законами химии, кроме периодического, являются:

1. Закон сохранения массы вещества, который установили Ломоносов (1756) и Лавуазье (1789) почти независимо друг от друга: масса веществ, вступающих в химическую реакцию, равна массе образующихся в результате веществ;

2. Закон сохранения энергии; количество тепловой энергии, принесённой в зону взаимодействия веществ, равно количеству энергии, вынесенной веществами из этой зоны. Химическая энергия освобождается или расходуется при

каждой химической реакции. Различают химические экзотермические (с выделением тепла) и эндотермические (с поглощением тепла) реакции.

К специфическим законам химии относятся: закон постоянства состава (М.Пруст, 1808); закон постоянных весовых отношений (Дальтон 1800г.); закон простых объёмных отношений; закон Авогадро; закон действия (*действующих*) масс: скорость химической реакции пропорциональна произведению концентраций реагирующих веществ и др.

Основная проблема химии - получение веществ с заданными свойствами (на это направлена вся производственная деятельность человека) выявление способов управления свойствами вещества (на реализацию чего направлена научно-исследовательская деятельность). Важнейшая особенность основной проблемы химии состоит в том, что она имеет всего 4 способа решения, т.е. свойства вещества зависят от 4-х факторов: 1) от его элементного и молекулярного состава, 2) от структуры его молекул. 3) от термодинамических и кинетических условий, в которых вещество находится в процессе химической реакции и 4) от высоты химической организации вещества. В соответствии с этим концептуальные системы химии наиболее наглядно можно представить в виде схемы, представленной на рис.1[1]



Рис.1

Как видно, в развитии химии происходит не смена, а строго закономерное появление новых концепций (концептуальных систем). При этом каждая вновь появляющаяся система не отрицает предыдущую, а наоборот опирается на неё и включает её в себя в преобразованном виде. Представления о концептуальных системах химии позволяют увидеть всё поле химии и оценить возможности науки в смысле производства новых материалов и дальнейших перспектив развития.

Рассмотрим пример решения очень важной задачи получения синтетического каучука, необходимого для производства резины, без которой невозможно развитие авто- и авиастроения. Первый каучук был получен из фикуса кау-

чуконосного гевеи бразильской. Наш российский учёный С.В. Лебедев(1874-1934) получил искусственный каучук в начале XX века на основе дивинила, когда был изучен состав каучука. Однако получить его было сложно. И только в 1928 г. С.В. Лебедев нашёл самый выгодный способ получения дивинила из этилового спирта, исходя из структуры дивинила. Это был первый в мире промышленный способ получения каучука, но он был дорогостоящим из-за исходного пищевого сырья, больших отходов и материальных ресурсов. Далее благодаря изучению химических процессов удалось найти подходящие условия разложения нефтяного сырья для получения дивинила из нефти. Удалось обойтись одним заводом численностью 3-5 тысяч вместо 250 тысяч. Ещё более поразительные успехи осуществились в последние годы на эволюционном пути развития химии. Пиролиз нефти осуществляют в условиях плазмы (экстремальная химия) при $T = 4-5$ тысяч градусов, когда реакция происходит в течение 10^{-3} с. Резко возрастает производительность труда. Один реактор-плазмотрон, обслуживаемый одним человеком, способен заменить целый завод

Исторически первым возникло учение о составе вещества. Первое научное определение химического элемента, когда ни один из них не был открыт, дал английский физик Р.Бойль: это вещество, которое не разлагается на компоненты. Современное определение элемента: это совокупность атомов с одинаковым зарядом ядра. Первый элемент был открыт в 1669 году - фосфор (P), затем кобальт (Co), никель (Ni) и другие. Первая систематизация элементов на основе атомной массы (а не заряда) была *проведена* французским химиком А. Лавуазье. Впервые ввёл понятия «атомный вес» и молекула английский химик и физик Д. Дальтон. Молекула - наименьшая частица вещества, обладающая всеми его химическими свойствами и в тоже время могущая существовать самостоятельно.

Межмолекулярные взаимодействия – взаимодействие электрически нейтральных молекул или атомов. Впервые их стал учитывать Ван дер Ваальс (1873 г.) для объяснения свойств реальных газов и жидкостей. Впоследствии они получили название по его имени. Он предположил, что на малых расстояниях r между молекулами действуют силы отталкивания, которые с увеличением расстояния сменяются силами притяжения. Межмолекулярное взаимодействие имеет электрическую природу, а силы отталкивания в межмолекулярных взаимодействиях действуют на очень малых расстояниях, когда соприкасаются электронные оболочки атомов.

Соединение – это качественно определённое вещество, состоящее из одного или нескольких химических элементов, атомы которых за счёт обменного

взаимодействия (химической связи) объединены в частицы – молекулы, комплексы, монокристаллы или иные агрегаты. Химическое соединение – понятие более широкое, чем сложное вещество, которое должно состоять из двух и более разных химических элементов: H_2 , O_2 , графит, алмаз – примеры соединений.

Проблема производства новых материалов связана с включением в их состав новых химических элементов. Химические элементы содержатся в слое земли в очень разных количествах и распределены в нём неравномерно: 98,7 % массы слоя Земли составляют всего 8 элементов: 47% - O_2 ; 27,5 % - Si и силикаты; 8,8% - Al; 4,6 % – Fe 3,6% - Ca; 2,6 % – Na ; 2,5% – K; 2,1% - Mg. Эти элементы распределены на Земле неравномерно и также неравномерно используются. 95 % применяемого металла – это железо, поэтому оно является дефицитным. *Кремний и его соединения с O_2 и другие силикаты* составляют 97 % массы земной коры, их и надо использовать как сырьё. На основе современных достижений в химии появилась возможность замены металлов керамикой. Она более лёгкая, позволяет получать специальные заранее заданные свойства с включением в неё других химических элементов (огнеупорность, термостойкость и др.).

Второй этап в развитии химии – структурная химия. Структура – это совокупность устойчивых связей объекта (системы), обеспечивающих его целостность и тождественность самому себе. Такой системой является, например, молекула. Ещё в 1857 г. немецкий химик Ф.А. Кекуле показал, что углерод четырёхвалентен и даёт возможность присоединить к нему до 4-х одновалентных элементов (например, водорода), азот – до трёх одновалентных элементов, кислород – до двух. Эта схема Кекуле натолкнула исследователей на понимание механизма получения новых химических соединений.

Наш выдающийся учёный А.М.Бутлеров (1826-1886 г.), создатель органической химии, обосновал в 1861 г. теорию химического строения, согласно которой свойства веществ определяются порядком связей атомов в молекулах и их взаимным влиянием. Появилась возможность получения большого числа новых соединений. Объяснение необычайно широкому разнообразию органических соединений (миллионы соединений к настоящему времени) при столь бедном их элементном составе (элементов-органогенов всего 6: углерод, водород, кислород, сера, азот, фосфор) было найдено в явлениях изомерии и полимеризации. А.И. Бутлеров первым объяснил явление изомерии, заключающееся в том, что вещества могут иметь одинаковый состав и молекулярную массу, но различное строение и соединения. Он впервые начал на основе теории химического строения систематическое исследование полимеризации. Полимеризация

- это процесс получения высокомолекулярных веществ, при котором молекула полимера (макромолекула) образуется путём последовательного присоединения молекул низкомолекулярного вещества (мономера) к активному центру на конце растущей цепи. Исследование полимеризации было продолжено в России его последователями и увенчалось открытием С.В. Лебедевым промышленного способа получения синтетического каучука.

А.И. Бутлеров открыл изобутилен и реакцию его полимеризации; синтезировал ряд органических соединений (уротропин, формальдегид). Из аммиака и каменноугольной смолы были получены красители, взрывчатые вещества, лекарственные препараты. Успехи структурной химии вселяли оптимизм; казалось, что химики могут получить всё. Однако не все вещества можно было получить, опираясь на знания структурной химии (например, этилен, бензол и др.), многие реакции органического синтеза давали очень низкие выходы, использовалось дорогостоящее сырьё, другие реакции были неуправляемыми. Необходимо было знать технологический процесс.

Третий этап в развитии химии - учение о химических процессах. Химический процесс – сложнейшее явление как в живой, так и в неживой природе. Перед химической наукой стоит задача- научиться управлять химическими процессами. Некоторые процессы невозможно реализовать на практике, хотя принципиально они осуществимы. Другие трудно остановить (например, реакции горения, взрывы). Третьи создают массу побочной продукции и потому трудно управляемы. Например, реакция получения аммиака проста по составу элементов



но на протяжении целого столетия с 1813 по 1913 гг. химики не могли провести её в законченном виде, так как не были известны средства управления химической реакцией. Она была осуществлена после открытия катализатора осмия немецким химиком Габером, которому и присуждена была Нобелевская премия по химии.

Для управления химическими процессами разработаны методы термодинамики и кинетики. Термодинамика определяет возможность того или иного процесса, внутреннюю энергию. Химическая кинетика объясняет качественные и количественные изменения в химических процессах и выявляет механизм реакции. Французский физико-химик Ле-Шателье (1850-1936) установил в 1884 г. закон смещения термодинамического равновесия, который обосновал Браун в 1887 г. (принцип Ле-Шателье – Брауна, см. лекцию 6). Скорость химической реакции зависит от природы веществ, участвующих в реакции, и условий про-

текания её, а именно: от концентрации, температуры, давления, объёма, присутствия катализатора. Согласно принципу Ле-Шателье внешнее воздействие на систему, находящуюся в состоянии равновесия, приводит к смещению этого равновесия в направлении, при котором эффект произведённого воздействия ослабляется. Например,

- Увеличение давления смещает равновесие в сторону реакции, ведущей к уменьшению объёма.

- Повышение температуры смещает равновесие в сторону эндотермической реакции.

- Увеличение концентрации исходных веществ и удаление продуктов реакции из сферы реакции смещает равновесие в сторону прямой реакции.

- Катализаторы не влияют на положение равновесия.

В химии чаще всего рассматривают изобарические процессы (процессы, идущие при постоянном давлении P), и тепловой эффект в этом случае называют изменением энтальпии системы или энтальпией процесса:

$$\Delta H = \Delta U + P\Delta V, \quad (2)$$

где ΔU – изменение внутренней энергии (см. лекцию). Энтальпия имеет размерность энергии (например, кДж): $H = U + P \cdot V$. Энтальпия (от греч. *enthálpio* — нагреваю) или теплосодержание, или тепловая функция Гиббса – термодинамический потенциал, характеризующий состояние термодинамической системы при выборе в качестве основных независимых переменных энтропии S и давления P . Если $\Delta H < 0$, то процесс экзотермический, если $\Delta H > 0$, то процесс эндотермический.

Принципиальная возможность протекания реакции определяется уравнением Гиббса (Гиббса-Гельмгольца) для свободной энергии G :

$$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S \quad (3).$$

S – это энтропия, изменение энтропии ΔS равно отношению изменения количества тепла к температуре $\Delta Q / T$ согласно второму началу термодинамики (см. лекцию). Термодинамические величины ΔG и ΔH при нормальных условиях для простых веществ приведены в химических справочниках.

Законы химической кинетики открыл нидерландский физико-химик, первый лауреат Нобелевской премии по химии, один из основателей стереохимического учения о растворах Я.Х. Вант-Гофф (1852-1911); он сформулировал теорию пространственного расположения атомов в молекулах; им же сформулирован широко использующийся эмпирический закон о зависимости скорости химической реакции от температуры:

$$V_T = V_0 \cdot Y^{\Delta T/10} \quad (4).$$

Катализ как могучее посредничество третьих тел в осуществлении химических процессов был открыт К.С. Кирхгофом (1764-1833), академиком Санкт-Петербургской академии наук в 1812 г. Он впервые получил сахар из крахмала с помощью катализатора – серной кислоты.

И, наконец, высшая ступень развития химических знаний - эволюционная химия. При этом под эволюционными проблемами следует понимать проблемы самопроизвольного (без участия человека) синтеза новых химических соединений, являющихся к тому же более сложными высокоорганизованными продуктами по сравнению с исходными веществами. Истоки её уходят в далёкое прошлое. Они связаны с давнишней мечтой химиков изучить процессы в живом организме и понять, как из неорганической материи возникает органическая, а вместе с ней и жизнь. Первым учёным, осознавшим исключительно высокую организованность и эффективность химических процессов в живых организмах, был основатель органической химии шведский учёный Й.Я. Берцелиус. Именно он впервые установил, что основой живого является биокатализ. На путях освоения каталитического опыта живой природы достигнуты были определённые успехи в моделировании биокатализаторов. В 1960-х годах были открыты случаи самосовершенствования катализаторов в ходе реакции, тогда как обычные катализаторы в процессе работы дезактивировались, ухудшались и выбрасывались.

Изучение самоорганизации показало, что существует отбор химических элементов. Так основу живых систем составляют, как мы уже говорили, 6 органоидов, общая весовая доля которых составляет 97,4 %. 12 элементов (Na, K, Ca, Mg, Fe, Si, Al, Cl, Cu, Zn, Co) принимают участие в построении важных биосистем с весовой долей 1,6 %. Из известных к настоящему времени 8 миллионов органических соединений в построении живого участвуют лишь несколько сотен; из 100 известных аминокислот в состав белков входит только 20; лишь по 4 нуклеотида ДНК и РНК лежат в основе всех сложных полимерных нуклеиновых кислот, ответственных за наследственность и регуляцию белкового синтеза в любых живых организмах.

Из геологии, геохимии, космохимии, биохимии, термодинамики, химической кинетики сделаны следующие выводы:

1. На ранних стадиях химической эволюции мира катализ вообще отсутствовал ($T \gg 5000 \text{ K}$).
2. Первые проявления катализа появляются при $T \ll 5000 \text{ K}$ и образовании первичных твёрдых тел.

3. Роль катализатора возрастала по мере того, как физические условия приближались к существующим сейчас на земле.

4. Появление даже несложных органических систем (CH_3OH , HCOOH и др.), а тем более аминокислот и первичных сахаров было своеобразной *каталитической* подготовкой старта для большого катализа.

5. Роль катализа в развитии химических систем после достижения стартового состояния, т.е. известного количественного минимума органических и неорганических соединений, начала возрастать с фантастической быстротой. Отбор активных соединений происходил в природе из тех продуктов, которые получались относительно большим числом химических путей и обладали широким каталитическим спектром.

Теория саморазвития элементарных открытых каталитических систем, в самом общем виде выдвинутая профессором МГУ А.П. Руденко в 1964 г., появилась в развёрнутой форме как теория химической эволюции и биогенеза в 1969 г. Основной закон химической эволюции гласит: эволюционные изменения катализатора происходят в том направлении, где проявляется его максимальная активность. Так как самоорганизация и самоусложнение происходят за счёт постоянного потока энергии, то максимальные эволюционные преимущества имеют системы на базе экзотермических реакций. В настоящее время эволюционная химия в нестационарном режиме изучается на базе нестационарной кинетики. Таким образом, в ближайшей перспективе можно видеть широкие возможности развития поистине новой химии по созданию самых экономичных и экологически чистых производств (например, водорода как высокоэффективного топлива из воды, органических продуктов из углекислого газа и др.). Химическая наука на её высшем эволюционном уровне углубляет представления о мире. На базе концепций эволюционной химии строится теория о переходе химической эволюции к биогенезу и происхождению жизни во Вселенной.

Химия экстремальных состояний включает в себя плазмохимию, радиационную химию и вообще химию высоких энергий. В отличие от каталитической химии, особенностью которой является расслабление исходных химических связей при взаимодействии с катализатором, химия экстремальных состояний характеризуется подачей энергии извне для полного разрыва исходных связей. Эта область химии достигла внушительных успехов, достаточно назвать самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) тугоплавких и вообще керамических материалов.

Лекция 15

Строение земного шара

Ещё пифагорейцы (V в. до н. э.) сделали вывод, а Аристотель (IV в. до н.э.) доказал по круглой тени на Луне, что Земля имеет форму шара [11]. Древнегреческий математик, астроном и географ Эратосфен Киренский определил радиус Земли по летнему солнцестоянию в III в. до н. э. В Александрии в день летнего солнцестояния Солнце отстояло от зенита на угол, соответствующий $1/50$ окружности Земли, а в Сиене – в зените (освещало дно колодца). Расстояние между городами – 5 тысяч стадий (1 стадия составляет 157,7 м). Следовательно, окружность Земли была 5 тысяч стадий $\cdot 157,7 \text{ м} \times 50 = 39,5$ тыс. км. $R = 39,5 \cdot 10^3 \text{ км} / 2\pi = 6278 \text{ км}$.

Но уже давно исследователи фигуры нашей планеты поняли, что Земля – не шар. Было предложено несколько моделей Земли. Из них наибольшее распространение получили две: геоид и эллипсоид. Земля имеет форму эллипсоида вращения (сплюснутый шар). Величину сжатия первым определил И. Ньютон (1 : 230), Красовский в 1940 году определил это более точно (1:298,3), по спутникам – (1/298,2); экваториальный радиус Земли $R = 6375,75 \text{ км}$.

Земля участвует в двух движениях: вращается вокруг оси и вокруг Солнца. Оба эти движения приводят к тому, что все окружающие нас звёзды как бы перемещаются по небосводу. Но на поверхности Земли есть одна точка, с которой наблюдатель видит точно над собой одну практически неподвижную звезду – Полярную. Прямая, проходящая через центр Земли и Полярную звезду – ось вращения. Она наклонена к плоскости, в которой Земля вращается вокруг Солнца, под углом $66^{\circ}33'22''$.

Точки пересечения оси вращения Земли с её поверхностью называются полюсами: северный, с которого видна Полярная Звезда, и южный.

Экватор – линия пересечения земной поверхности плоскостью, проходящей через центр Земли, перпендикулярно оси её вращения.

Параллели – линии сечения земной поверхности плоскостями, параллельными плоскости экватора.

Меридианы – линии сечения поверхности земного шара плоскостями, проходящими через ось вращения Земли. Их совокупность на теоретически рассчитанной поверхности земного шара называется географической сеткой. Она позволяет определить положение точки на земной поверхности.

Географическая широта ($0-90^0$) – угол между плоскостью экватора и отвесной линией в точке, положение которой определяется. Различают северную и южную широту.

Географическая долгота ($0-180^0$) – угол между плоскостью меридиана, принимаемого за начальный, и плоскостью меридиана, проходящего через точку, положение которой определяется. За начальный, нулевой меридиан принимается меридиан, проходящий через Гринвичскую астрономическую обсерваторию (Англия). Различают западную и восточную долготу. Например, широта и долгота Санкт-Петербурга: $59^057'$ северной широты и $30^0 19'$ восточной долготы.

Земная ось вращения практически сохраняет своё направление в пространстве, медленно поворачиваясь на $50''$ в год. Что соответствует полному обороту за 26тысяч лет. В нашу эпоху земная ось направлена почти на Полярную звезду, поэтому её пользуются при ориентировке

Земля совершает оборот вокруг оси своего вращения за 23 часа 56 минут 4 сек. Звёздные сутки (в повседневной жизни – средние сутки). Один оборот вокруг Солнца Земля совершает за 365 дней 6 часов 9 минут 9 секунд – звёздный год.

Для удобства отсчёта времени и координации жизни на Земле поверхность разделена (приблизительно по меридианам) на 24 часовых пояса. Каждый из них примерно 15^0 по долготе. Среднее солнечное время срединного меридиана часового пояса называется поясным.

В смежных поясах оно различается на 1 час. Отсчёт ведётся с Запада на Восток от Гринвичского меридиана. Границы часовых поясов проходят либо вдоль меридианов, на поверхности океанов, либо каких-либо естественных границ на суше. Соотношение времени суток приходится учитывать при быстрых и далёких перемещениях по земному шару, при координации деятельности международных фирм, при установлении телефонной или компьютерной связи с удалёнными абонентами и др.

Траектория Земли и её движение вокруг Солнца представляют собой эллипс, в фокусе которого находится Солнце, поэтому на протяжении года расстояние от Солнца до Земли периодически меняется от 147,1 млн. км (в начале января) до 152,1 млн. км (в начале июля). Ближайшая к Солнцу точка земной орбиты называется перигелием, а самая далёкая – афелием. Вследствие обращения Земли вокруг Солнца наклона земной оси в плоскости эклиптики и сохранения ею своего направления в пространстве, на планете происходит смена времён года существуют климатические пояса.

21 марта и 23 сентября в равной мере освещены оба географические полюса Земли, и Солнце видно там только на горизонте. Линия, отделяющая освещенное Солнцем полушарие Земли от неосвещенного, проходит через оба полюса. Все точки земной поверхности $\frac{1}{2}$ суток освещаются Солнцем, а половину суток лишены освещения, т. е. в эти дни продолжительность дня равна продолжительности ночи.

21 марта – день *весеннего равноденствия*. 23 сентября – день *осеннего равноденствия*. 22 июня – летнее солнцестояние (максимальная высота Солнца над горизонтом) 22 декабря зимнее солнцестояние – (минимальная высота Солнца над горизонтом).

66 градусов 33 минуты – географические параллели в обоих полушариях – полярные круги.

Пояс по обе стороны от экватора, ограниченный параллелями 23 градуса 27 минут, называется жарким или тропическим. Между полярными кругами и тропическим лежат умеренные пояса, где нет полярных дней и ночей, и Солнце никогда не проходит через зенит.

Эклиптика – большой круг небесной сферы, по которому проходит видимое годичное движение Солнца. Плоскость эклиптики наклонена к плоскости небесного экватора на 23 градуса 27 минут. Точка пересечения – это точки весеннего и осеннего равноденствия.

Основные геосферы Земли

Основными геосферами Земли в направлении от периферии к центру являются:

1. Магнитосфера, простирающаяся на 8-14 радиусов Земли, а хвост её продолжается даже на сотни радиусов.
2. Атмосфера высотой около 2000 км и состоит из следующих частей:
 - 2.1. Тропосфера (до 8-17 км);
 - 2.2. Стратосфера (до 50-55 км);
 - 2.3. Мезосфера (до 80 км);
 - 2.4. Ионосфера или термосфера (до 800 км);
 - 2.5. Экзосфера.
3. Гидросфера (океаны, моря, реки, озёра).
4. Земная кора.
5. Мантия.
6. Ядро.

Земная кора вместе с верхней твёрдой частью мантии называется литосферой. Верхняя часть земной коры вместе с живущими на ней живыми организмами и верхними частями атмосферы и гидросферы называется биосферой.

Строение земного шара

Масса Земли – $5,976 \cdot 10^{27}$ г, её объём – $1,0832 \cdot 10^{27}$ см⁻³, площадь земной поверхности – $5 \cdot 10^{85}$ км², 70 % поверхности Земли покрыты водой и только 30 % – суша. Плотность состава земного вещества $5,517$ г/см³, если пересчитать эту плотность на нормальное давление (с учётом сжимаемости), то $\rho \approx 4,8$ г/см³. Такое значение свидетельствует о том, что вещество Земли должно быть смесью двух компонентов, аналогичных силикатной и металлической фазам в пропорции 2:1. Но это – оценка. Расчёт, распределения плотности по глубине – это важнейшая задача геофизики, и её решение очень сложно. Предположение о росте плотности с увеличением глубины лишь за счёт сжимаемости и при необходимом допущении существования в центре Земли более плотного вещества приводит к схеме распределения масс с глубиной, которое противоречит моменту инерции Земли. Это означает, что реально либо вещество в недрах планеты претерпевает фазовые изменения с переходом в соединения с более плотными кристаллическими структурами, либо изменяется его химический состав, либо происходит и то, и другое. Однозначно выбор сделать нельзя. Нужна дополнительная информация. Такими источниками в настоящее время являются:

1. Сведения о других физических параметрах глубинного вещества
2. Экспериментальные данные, демонстрирующие возможные фазовые изменения в веществе соответствующего химического состава.
3. Сведения о скорости прохождения сейсмических волн (обработка наблюдений о времени распределения сейсмических колебаний от эпицентра землетрясений до сети сейсмических станций) и данных о параметрах свободных колебаний Земли.

На основании сейсмических данных выделяют следующие области в строении земного шара.

1. Наружная твёрдая оболочка – земная кора, отделённая от залегающей ниже мантии сейсмическим разделом (раздел Мохоровичича), на котором скорости прохождения волн изменяются скачком. Глубина раздела Мохоровичича существенно различается под континентами и океанами. Континентальная земная кора 43-60 км, океаническая от 0 до 10-12 км, 0 – узкая зона рифтовых долин, 10-12 км – океанические плиты и поднятия (в среднем 7 км). Это различие мощности двух глобальных типов земной

коры имеет фундаментальное значение и отражает принципиальное различие химического состава и геологической истории земной коры континентального и океанического типов. В среднем толщина земной коры равна 20 км и составляет примерно 0,5 % всей массы Земли.

2. Следующий скачок скорости сейсмических волн происходит на глубине 2885 км и отделяет мантию от ядра. В мантии содержится около 67 % земного вещества, но распределение скорости в ней столь неоднородно, что в ней выделяют несколько зон.

2.1.1 Верхняя мантия (примерно 400 км).

2.1.2 Переходная зона (примерно 1000 км).

2.1.3 Нижняя мантия

3. Физические свойства вещества резко изменяются при переходе к ядру. Здесь меняется и тип вещества, и его состав

3.1 Вещество верхней части ядра оказывается «непрозрачным» для поперечных волн, что говорит об его жидком состоянии. Температура плавления вещества внешнего ядра меньше температуры плавления вещества нижней мантии.

3.2 Резкое падение скорости продольных волн, соответствующее переходу от силикатов мантии к металлам ядра.

Это имеет принципиальное значение для понимания природы земного магнетизма: система течения в электропроводном жидком металлическом веществе ядра (поддерживаемом внутренними источниками тепла) и энергии вращения планеты (модель динамо).

В центре ядра по физическим свойствам находится вещество в твёрдом состоянии (с плотностью $\rho=12-13 \text{ г/см}^3$)

Эволюция Земли

Процесс формирования полезных ископаемых связан с эволюцией Земли. Одна из современных теорий, объясняющих динамику процессов в земной коре называется теорией неомобилизма. Её зарождение относится к концу 60 годов XX (нынешнего) века и вызвано сенсационным открытием на дне океана цепи горных хребтов, оплетающих земной шар. Ничего подобного на суше нет (72 000 км). Альпы, Кавказ, Памир, Гималаи в сумме несравнимы с обнаруженной полосой. Человечество открыло неведомую прежде планету: тысячи гор, ущелья, котловины, подводные землетрясения и вулканы, сильные магнитные гравитационные и тепловые аномалии, глубоководные горячие источники, скопление Fe-Mn конкреций – всё открыто за короткий промежуток времени на

дне океана. Попытка объяснения новых открытий и привела к построению теории неомобилизма. Океанской коре свойственно постоянное обновление. Она зарождается на дне рифта, секущего хребты по оси. Океанская кора «умирает» в местах расколов – там, где она подвигается под соседние плиты. Опускаясь вглубь планеты, в мантию и оплавляясь, она успевает отдать часть себя на строительство материковой коры. Течения в мантии обеспечивают поставку материала для разрастания океанического дна. Они же заставляют дрейфовать глобальные плиты вместе с выступающими из Мирового океана континентами. Дрейф крупных плит литосферы с возвышающейся на ней сушей называется неомобилизмом. Перемещение материков наблюдается с космических аппаратов. Возникновение океанской коры исследователи увидели, приблизившись к дну Атлантики.

Компьютерные программы на основе теории неомобилизма позволили смоделировать динамические процессы, происходившие внутри Земли и на её поверхности в относительно близкие эпохи прошлого. Примерно 600 миллионов лет назад Евразии не было. Был обширный Полеоазиатский океан, он отделял разрозненные участки суши (будущие Европа, Сибирь, Китай) от сверхконтинента Гондваны (нынешние южные материки и, в частности, полуостров Индостан). Через 150 миллионов лет океан сузился. Появилась рассыпь островов, которая потом спаялась с Сибирским континентом. Старый океан угасал, рождались два новых: Палеогетис и перпендикулярный к нему неширокий Уральский. Ещё спустя сотни миллионов лет северные материки сгрудились, не стало Уральского океана, остался след – шов на суше.

Проявлением динамических процессов в земной коре являются извержения вулканов и землетрясения. Потухшими вулканами являются Эльбрус и Казбек. Ключевская сопка на Камчатке (5750 м) пробуждается через 6-7 лет. Около Ключевской сопки располагается группа потухших вулканов. Один из них – вулкан Безымянный - 30.03.1956 г. внезапно пробудился. Это одно из крупнейших извержений за последнее столетие. Туча пепла поднялась на 40 км. Через 2 дня пепел достиг Северного полюса, а через 4 месяца появился над Англией. На расстоянии примерно 30 км были сломаны и обожжены все деревья.

В Атлантическом океане среди Антильских островов есть остров Мартиника с вулканом Мон-Пеле. В 1902 при его извержении в течение нескольких минут был уничтожен целый город; при этом погибло примерно 30 тысяч человек. Легенда об Атлантиде – якобы существовавшем в глубокой древности могучем островном государстве – и её гибели в результате внезапного провала в

морскую пучину, рассказанная древнегреческим философом Платоном (424-347 г. до н. э.), занимает умы цивилизованных людей на протяжении 2,5 тысяч лет.

Сейчас насчитывается несколько сотен действующих вулканов. Вулканы имеют форму конуса с кратером на вершине. Расплавленные породы, образующиеся глубоко в недрах Земли (глубина может достигать 50 км), называются *магмой*. Вылившаяся из кратера магма называется *лавой* и течёт по земле. При застывании лавы, переполненной газами, образуется *пемза*. Вулканический пепел превращается в *туф*. Область возникновения волны землетрясений называется очагом или *гипоцентром* (глубиной в десятки, сотни километров). Участок земли над очагом землетрясения называется *эпицентром*. Районы землетрясений: Тихоокеанский, Средиземноморский, Трансокеанический, Гималайский, Восточная Азия.

Лекция 16

Космология

1. Космологическая теория Эйнштейна. Настоящее и будущее Вселенной. Теория Большого взрыва.

Эйнштейновская теория оказалась необычайно стимулирующей для развития именно космологических представлений. Толчок, который она дала, вызвал к жизни совершенно небывалые дотоле идеи и буквально обновил древнейшую из наук о природе – космологию. Вселенная! Что мы знаем о ней? Ведь наши приборы позволяют нам заглянуть только в “уголок” Вселенной. Но вот в 1917 г. Эйнштейн выступил с теорией конечной Вселенной. Конечная Вселенная! А что там, по ту сторону границы? Что же, там “кончается пространство”? Поток вопросов обрушился на физиков. Попробуем разобраться, в чём, собственно, состоит утверждение о конечности пространства. И здесь нам поможет модель – резиновая плёнка, натянутая на рамку, которую мы ввели для пояснения кривизны пространства. Мы предполагали раньше, что эта плёнка простирается вширь неограниченно далеко и лишь местами изгибается там, где находится “материя”, то есть создающие гравитацию тела. “Мир” в нашей модели был бесконечным. Ну, а если эта “материя” распределена более или менее равномерно? Тогда кривизна, тоже примерно одинаковая, должна быть везде. Как же представить себе такую плёнку, которая везде искривлена одинаково? Нет ничего легче, достаточно вспомнить обычный детский воздушный шарик! Для исследователей, находящихся на плёнке, поверхность шара – это всё пространство. Действительно, если бы они снарядили экспедицию, дав ей строгий наказ двигаться всё время в одну и ту же сторону – “по прямой” (мы взяли последние слова в кавычки, чтобы напомнить – сама прямая искривляется!), то эта экспедиция рано или поздно, к изумлению организаторов и участников, вернулась бы к исходной точке, только с другой стороны. Всё новые и новые экспедиции могли бы отправляться в путь. И в какую бы сторону они не направлялись, все они должны были бы, совершив замкнутый круг, возвращаться к месту отправления. Какой же вывод должны были сделать исследователи? Единственный: наша Вселенная не простирается до бесконечности, а имеет конечные размеры. Но в то же время она безгранична – ни одна из экспедиций не обнаружила ничего похожего на границу Вселенной. Безграничная, но не бесконечная! Именно такими словами определил Эйнштейн в своей теории наше пространство. Смысл этих слов в общем тот же, что и в модели: если представить себе летящий всё прямо и прямо космический корабль, то он должен в конце концов

вернуться к месту старта (если, разумеется, ему не помешает столкновение с небесными телами). Но можно говорить и не о космическом корабле, тоже произойдёт и с самым быстрым из путешественников – со световым лучом. Двигаясь в искривлённом тяготением пространстве, “он замкнётся на себя”, пролетев сквозь неоглядные дали безграничного, но конечного пространства. Однако, это ещё не всё: теория гравитации Эйнштейна не только даёт возможность говорить о конечности Вселенной, но и приводит к ещё более поразительному выводу о расширении Вселенной. Впервые этот вывод, к которому сам Эйнштейн вначале отнёсся скептически, был сделан советским физиком А.Фридманом в 1922 году. В основе теории Фридмана лежит следующее основное предположение: Вселенная в целом однородна и изотропна. Это означает, что ни один из больших участков Вселенной не отличается по своим свойствам от остальных. Все направления во Вселенной совершенно равноправны. Средняя плотность вещества всюду одинакова.

При этом предположении уравнения тяготения Эйнштейна совершенно однозначно приводят к выводу о том, что Вселенная не может быть стационарной, то есть они приводят к гравитационной неустойчивости. Вселенная либо расширяется, так что все звёздные скопления – галактики разбегаются друг от друга, либо сжимается. Вспомним нашу двумерную модель конечной Вселенной – детский шарик. Этот шарик – Вселенная – непрерывно раздувается, так что расстояния между любыми его точками возрастают. Причём возрастают тем быстрее, чем дальше эти точки расположены друг от друга: ведь увеличивается каждый сантиметр отрезка кривой, соединяющей точки. Если смотреть на удаляющуюся звезду, то её спектр будет смещаться в сторону длинных волн. Все линии делаются “более красными”. (Это явление называется красным смещением, а вызвано оно эффектом Доплера; смещение тем заметнее, чем больше скорость.)

Самое замечательное состоит в том, что наши земные астрономы сумели обнаружить такое явление. Американский астроном Хаббл (1929г.) установил, что все звёздные острова Вселенной – галактики удаляются от нашей галактики. Чем дальше от нас галактика, тем больше смещаются спектральные линии её световых волн, тем больше, следовательно, относительная скорость движения галактик. Эта скорость (обозначим её u) удовлетворяет простому закону: $u = Hr$, где r – расстояние до галактики, а H - постоянная Хаббла. $H = (50-100)$ км/с·МПк, где МПк-мегапарсек, равный 10^6 Пк. Парсек - сокращённое название параллакс в секунду или смещение.

В 1963 г. были открыты наиболее удалённые от нас квазизвёздные объекты – квазары. Главной отличительной особенностью квазаров является их колоссальная светимость, в сотни раз превышающая светимость ярчайших галактик. Отдельные квазары удаляются от нашей Галактики с фантастическими скоростями порядка 240 000 км/с, т.е. около четырёх пятых скорости света. При этом ультрафиолетовое излучение квазаров воспринимается как видимый свет.

Закон Хаббла непосредственно вытекает из теории Фридмана. Причём H убывает обратно пропорционально времени. Поразительное теоретическое предсказание сомкнулось с замечательным экспериментальным открытием. Не удивительно, что научный мир – да и не только он – был буквально потрясён новизной и смелостью космологических идей Эйнштейна – Фридмана. Слово “переворот” безо всяких скидок подходит к тому, что здесь произошло.

То, что Вселенная расширяется (или, точнее, тот участок Вселенной, в котором мы живём), совершенно бесспорно. Это непосредственный экспериментальный факт. К этому же приводит теория. Но что будет с Вселенной в дальнейшем? Какова она была в прошлом? Наконец, кончена или бесконечна Вселенная в действительности?

Определённых ответов на эти вопросы нет, но многое можно сказать уже сейчас, если допустить справедливость предположения об однородности изотропной Вселенной. Поговорим сначала о будущем Вселенной. Как ни странно, именно здесь есть большая определённость. Имеется лишь две возможности, и речь идёт о выборе между ними.

Согласно теории, всё зависит от соотношения между средней плотностью ρ Вселенной в данный момент времени и некоторой критической плотностью ($\rho_{кр}$):

$$\rho_{кр} = 3H^2/(8\pi \times G) \sim 2 \cdot 10^{-29} \text{ г/см}^3,$$

где H – постоянная Хаббла в данный момент времени; G – гравитационная постоянная.

Если $\rho < \rho_{кр}$, то расширение Вселенной никогда не прекратится. Скорость разбегания галактик постепенно будет уменьшаться, но никогда расширение не сменится сжатием. Галактики разойдутся на невообразимые расстояния, и наш звёздный остров окажется совершенно затерянным в безбрежном океане пространства. Но если $\rho > \rho_{кр}$, то с течением времени расширение Вселенной сменится сжатием, и место красного смещения займёт фиолетовое. Когда это произойдёт, если это вообще произойдёт, предсказать пока нельзя.

Итак, чтобы знать будущее Вселенной, надо знать среднюю плотность материи внутри неё. Плотность $\rho_{кр} = 2 \cdot 10^{-29} \text{ г/см}^3$ известна, так как постоянная

Хаббла и гравитационная постоянная могут быть измерены достаточно точно. Главная трудность состоит в определении ρ . Надо знать массу материи (как вещества, так и излучения) не только в звёздах, но и во всём межзвездном пространстве видимой части Вселенной. Оценки, которыми сейчас располагает наука, весьма противоречивы. По одним данным ρ меньше $\rho_{кр}$, а по другим больше. Окончательные выводы не получены.

Определение плотности материи играет важнейшую роль ещё в одном отношении. Соотношение ρ и $\rho_{кр}$, от которого зависит будущее Вселенной, является определяющим для пространственной структуры Вселенной, как целого. При $\rho, > \rho_{кр}$ средняя кривизна мира положительна и Вселенная конечна. При $\rho, < \rho_{кр}$ Вселенная бесконечна. Значит, теория гравитации Эйнштейна показывает, что наша старая уверенность в бесконечности Вселенной может и не соответствовать истине, но не утверждает безоговорочно, что мир замкнут в себе самом.

Посмотрим теперь, что можно сказать о прошлом мира. Когда - то Вселенная должна была быть сжата в очень малом объёме. Плотность материи в этот момент была бесконечно велика. Если принять этот момент за начало отсчёта времени ($t=0$), то, зная постоянную Хаббла, можно оценить время расширения Вселенной. Оно оказывается сравнительно невелико: всего лишь 16 или 17 миллиардов лет. В каком состоянии находилось вещество Вселенной в этот момент? Как из такого сверхплотного вещества возникла наша Вселенная с её звёздами и звёздными скоплениями? И, наконец, что было с Вселенной до этого?

На все эти вопросы никто сейчас не может дать полного ответа. Однако и здесь уже намечаются возможные решения. При сверхплотном состоянии вещества в начальном состоянии Вселенной, очевидно, не одна только гравитация должна быть существенной. Заметную роль должны были играть и другие силы.

Представления о фундаментальных взаимодействиях нашли своё отражение в теории Большого Взрыва или теории Горячей Вселенной. Она была предложена впервые выходцем из России Г. Гамовым в 1946 г. Теория исходила из того, что вся Вселенная произошла путём взрыва из одной точки плотностью 10^{93} г/см³ и температурой $T=10^{32}$ К, а дальше шло охлаждение и расширение. Первая стадия – это эпоха ранней Вселенной (период от 10^{-43} с до 3 минут). В первую секунду, когда температура падала до 10^{16} - 10^{17} К, возникали электрослабые взаимодействия; при дальнейшем снижении температуры до 10^{11} К кварки, соединяясь, образовывали протоны и электроны. Период време-

ни от 1с до 3 минут называют эпохой нуклеосинтеза, когда образуются лёгкие ядра гелия. Вторая стадия в теории Большого взрыва наступала при снижении температуры до 10^5 К – это эпоха преобладания скрытой массы, когда образовывались галактики, звёзды, планеты. И третья стадия наступала при снижении температуры до $4 \cdot 10^3$ К, которое достигалось по оценкам через миллион лет от начала взрыва. На этой стадии формировались атомы внутри планет. Существуют ли в настоящее время экспериментальные обоснования теории Большого Взрыва? Да, существуют. Следующие факты являются обоснованием этой теории: 1) впервые установленное Хабблом в 1929 г. и наблюдаемое до сих пор разбегание галактик во Вселенной; 2) экспериментальное открытие американскими учёными Пензиасом и Вильсоном в 1960 г. реликтового излучения с температурой 3-5К, которое предсказывал Г. Гамов; 3) наблюдаемый химический состав Вселенной, который на 3/4 состоит из водорода и на 1/4 - из гелия.

С 1929 г. учёные полагали, что расширение Вселенной равномерное. В 1998 г. наблюдения далёких сверхновых звёзд показали, что расширение Вселенной – ускоренное. А если есть ускорение, то должна быть энергия. Поскольку источник этой энергии не ясен, то эту энергию называют «тёмной» и полагают, что она составляет около 70 %. С другой стороны, ещё Фриц Цвикки в 30-е годы XX века изучал вращение удалённой галактики вокруг другого (массивного) скопления галактик. Оно не подчинялось законам Кеплера и Ньютона, так как сила притяжения по закону Ньютона не была равна центробежной силе инерции. Тогда им было высказано предположение в 1933 году о наличии так называемой «тёмной массы», которая оказывает недостающее влияние. Её оценивают в настоящее время в 25 %. А вся видимая и знакомая масса, состоящая из электронов, протонов, нейтронов, кварков вещества составляет около 5 %. Из таких посылок исходит стандартная космологическая модель. Развивается в настоящее время и другая модель инфляционной Вселенной. Она предполагает, что на начальном этапе Вселенная расширялась не по степенному закону, а по экспоненциальному. Это не требует введения понятий «тёмной массы» и «тёмной энергии».

Возможны и другие объяснения вращения галактики не по законам Кеплера и Ньютона – наличие других планет в солнечной системе, о которых появляется в настоящее время всё больше сообщений (например, планеты Нибиру, Глория).

II. Строение галактик и солнечной системы

Видимая часть Вселенной называется Метагалактикой [12]. Она состоит из нескольких миллиардов галактик. Выделяют три типа галактик: спиральные (S), эллиптические (E) и неправильные (Ir). Каждая галактика содержит две подсистемы, вложенные одна в другую. Первая – сферическая, в ней звёзды концентрируются в центре, а далее плотность вещества падает. Вторая представляет из себя массивный звёздный диск. В эллиптических галактиках преобладает первая подсистема, в них звездообразование прекратилось. В неправильных галактиках преобладает вторая подсистема, и в них происходит интенсивное звездообразование. В спиральных галактиках видны обе подсистемы, в них звездообразование продолжается и сейчас. Наша галактика относится к спиральным; её протяжённость составляет около 80 тысяч световых лет, диаметр – около 30 тысяч световых лет. Крупнейшим фундаментальным достижением является открытие и изучение принципа изотопной гетерогенности вещества: в крупных масштабах Вселенная изотропна и однородна, то есть в любой сфере порядка 300 миллионов световых лет находится одинаковое число галактик.

Наша солнечная система находится на краю галактики. В центре её находится Солнце, которое по типу звёзд является жёлтым карликом. В солнечной системе девять планет со спутниками (около 60), астероиды – малые планеты (около 100 000), кометы, метеороиды и космическая пыль.

III. Происхождение Земли. Металлогидридная теория строения Земли[13]

Возраст Земли оценивается в 4.5 млрд. лет. Тогда на окраине Млечного пути (это наша галактика) взорвалась очередная сверхновая звезда. Разбросанное взрывом вещество смешалось с космической пылью. Затем под действием гравитации постепенно стала стягиваться к новому центру тяжести. Чем больше сжималась туманность, тем быстрее она вращалась подобно фигуристу, который прижимает раскинутые руки, собираясь « в кучку», и тем самым резко увеличивает скорость вращения. Скорость вращения нашей туманности от практически нулевой в самом начале сжатия выросла до весьма ощутимых величин. В конце концов центробежные силы уравнили силы гравитации, и сжатие остановилось. Настал момент так называемой ротационной неустойчивости. В это время туманность напоминала двояковыпуклую линзу диаметром 100 млн. км (нынешняя орбита Меркурия). В середине туманной линзы было сгущение, позже превратившееся в Солнце, а на периферии – более или менее разреженный газ. Такую туманность астрономы назвали *небулой*. Что же пред-

ставлял собой газ, который сгустился до туманности? Там была вся таблица Менделеева, были там и радиоактивные элементы как долгоживущие, так и с периодом полураспада в сто тысяч или миллион лет, сейчас их в нашей солнечной системе уже нет. А когда-то они сыграли очень важную роль. При самопроизвольном распаде нестабильного ядра получается стабильное ядро, а прочь от него улетают лишние частицы и высокоэнергетичные гамма -лучи. Последние ионизировали атомы, из которых состояла туманность. Образовалась плазма – частично ионизированный газ. В центре небулы начал светиться тёмно-красным светом газ, появились конвекционные потоки, которые под действием сил Кориолиса завивались в спирали, и вся эта конструкция напоминала соленоид. Силовые линии магнитного поля галактики накладывались на проводники – конвекционные потоки плазмы. Электромотор! В проводниках должны генерироваться электрические токи. Но поскольку они закручены в катушку соленоида, такая конструкция обязана генерировать своё магнитное поле. Небула стала вращаться как одно целое. И резко сбросила экваториальную часть крутящейся туманности, образовав «дымное кольцо». Из этого кольца позже и появились планеты. Оставшаяся часть туманности стала крутиться медленнее, силы Кориолиса ослабли, струи плазмы перестали закручиваться в спирали, соленоид разрушился. А с ним отключилась генерация магнитного поля небулы. Центробежные силы не могли уже противостоять гравитации, газ начал активно сжиматься, температура расти, а в центре всей этой газовой кучи, состоящей в основном из водорода, начались термоядерные реакции - зажглась звезда.

А сброшенный газовый бублик начал жить своей жизнью. Он стал разделяться на множество более тонких колец, потому что токи, текущие в одном направлении, притягиваются. Далее газовые обручи стали перетягиваться, как сосиски; это так называемый пинч-эффект (ток, текущий через плазменный шнур, создаёт собственное магнитное поле, силовые линии которого пережимают ток). Позже под действием гравитации эти сосиски превратились в газовые шары – *глобулы*, из которых потом собрались планеты

Дальнейший процесс сборки планет из глобул прекрасно описали математически российские учёные Тимур Энеев и Николай Козлов ещё в 1980 г. Причём, их открытие было сделано, что называется, от бедности. Подсчитать огромное число столкновений и взаимодействий мириадом упругих частичек на тогдашних ЭВМ было невозможно. И тогда учёные приняли упрощение: каждое сближение двух частиц завершается их слиянием, а не отталкиванием и дроблением. По сути это была другая физика: от модели объединения твёрдых

тел авторы перешли к модели абсолютно неупругих соударений, похожих на слияние капелек ртути. Машина выдала картину Солнечной системы, полностью соответствующую реальной (в том числе, например, обратное вращение планеты Венера). Но для окончательного триумфа модели нужно было сделать предсказание. И такое предсказание было сделано. Согласно их модели должен быть второй пояс астероидов за Нептуном (первый находится между Марсом и Юпитером). О нём ничего тогда не было известно учёным. И этот второй пояс был обнаружен (астероиды диаметром 200-300 км). Так гипотеза стала теорией.

Нужно отметить, что описанный процесс формирования планет удалось понять благодаря замечательному английскому астрофизику Фреду Хойлу (умер в 2001 г.), который предположил, что в сбросе лишней массы туманности могло помочь её собственное магнитное поле. Именно Ф. Хойл впервые занялся вопросом происхождения химических элементов. Известно, что звёзды на 75 % состоят из водорода и на 23 % - из гелия. Это два главных химических элемента Вселенной. А на остальные более сотни элементов приходится только 2%. Почему? Хойл ответил на этот вопрос, рассчитав всю цепочку ядерных реакций, протекающих в недрах звёзд. И данные по составу элементов должен был привести именно Ф. Хойл, но он это не сделал.

Эти данные рассчитал и привёл наш русский учёный В.Н. Ларин и выступил с ними на семинаре у Иосифа Шкловского – известного советского астрофизика – о той части астрофизики, которая так долго ускользала от их внимания. Он гениально свёл воедино всё, что было известно до него, и расположил это всё в логическом порядке. Да что удивительного в этих графиках? Удивительно то, что они приводят к нетривиальным выводам и позволяют определить исходный состав планеты.

На рис. 16.1 представлена магнитная сепарация вещества по степени его ионизации в зонах, где скоро появятся планеты. В этих зонах состав оказался разным, хотя первоначальный состав туманности был хаотичным, то есть однородным. Произошло это потому, что вещество в туманности было частично ионизировано и после сброса протопланетного бублика ему пришлось лететь прочь от протосолнца, «продираясь» сквозь магнитные силовые линии. Магнитное поле их тормозит, и это торможение тем больше, чем меньше их ионизационный потенциал. Именно поэтому на периферии солнечной системы крутятся гигантские газовые пузыри (Юпитер, Сатурн и др.), а около солнца – маленькие металлические планеты. Что это действительно так, проверено экспериментально. В настоящее время нам известно:

1. Состав солнца.
2. Земная оболочка до глубины 150 км. Земля пробурена на 12 км; есть образцы с больших глубин вследствие разных геологических процессов.
3. Известен состав Луны.
4. Известен состав метеоритов за орбитой Марса.

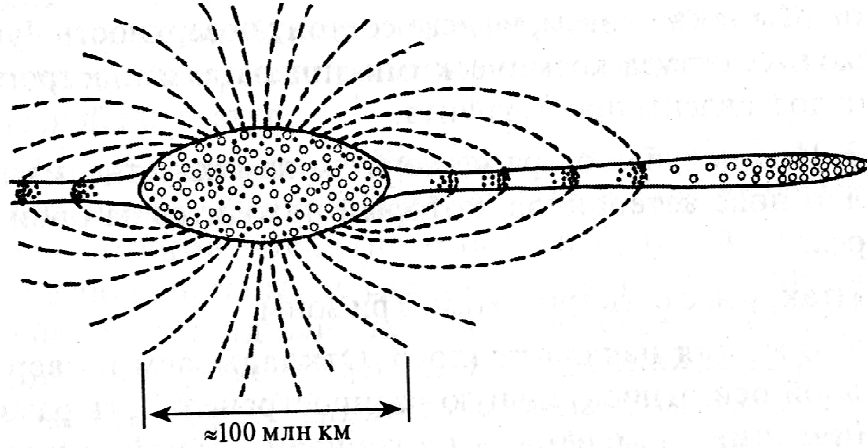


Рис. 16.1 Магнитная сепарация вещества по степени его ионизации. Ионы (черные точки) задерживаются силовыми линиями магнитного поля небулы. Нейтральные частицы (кружочки) свободно пролетают через магнитные «прутья»

Результаты представлены на рис.16.2-16.4. Они малоизвестны, поскольку геологи мало интересуются космосом (а данные здесь космохимические), а астрофизики не интересуются внутренностями планет, тем более что опубликованы они в геологической литературе.

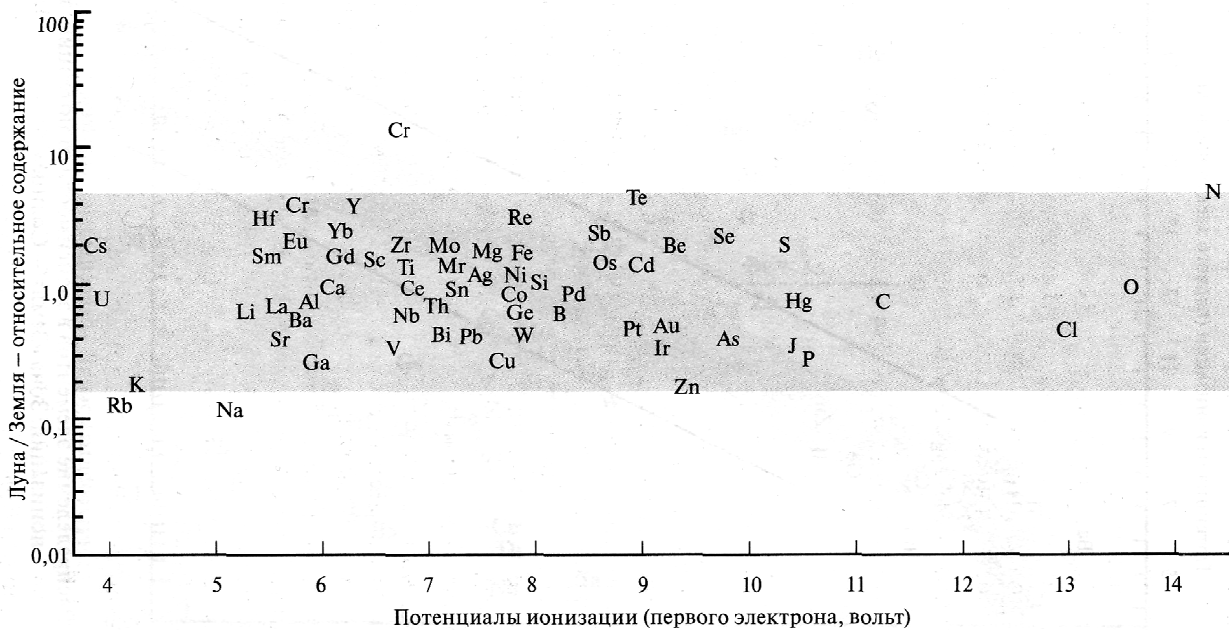


Рис. 16.2. Распределение элементов в зависимости от потенциала ионизации. Зона «Луна – Земля»

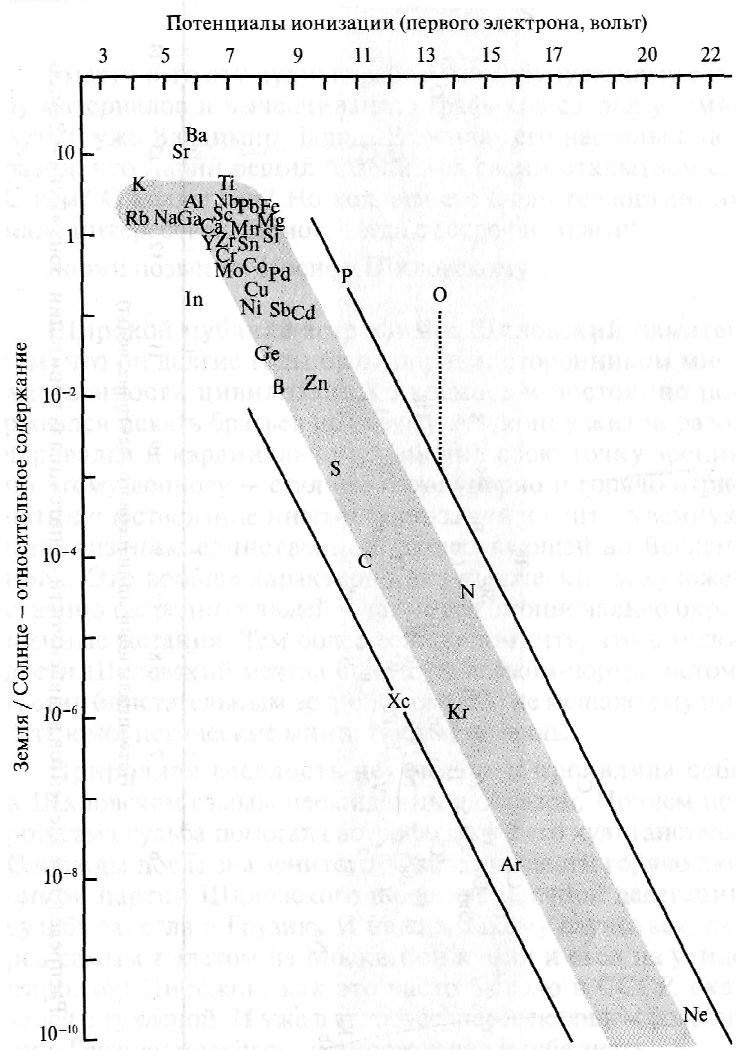


Рис. 16.3. Распределение элементов в зависимости от потенциала ионизации. Зона «Земля – Солнце»

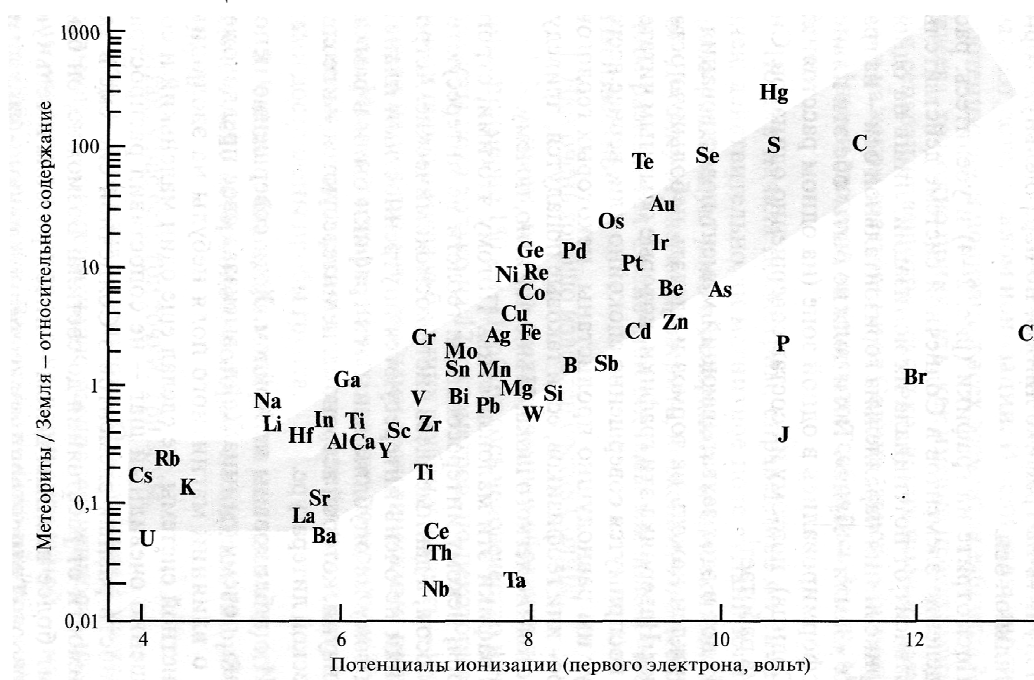


Рис. 16.4. Распределение элементов в зависимости от потенциала ионизации. Зона «Метеориты – Земля»

Старая научная школа стоит на следующих позициях: земля состоит из внутреннего железного ядра, силикатной мантии и тонкой оксидной коры. О том, что ядро – железное, установили геофизики по прохождению сейсмических волн (рис. 16.5), а ещё раньше посчитали математики и астрономы. Была даже определена плотность ядра. Но вот из чего она сделана? Предположили, что из железа. Скорость распространения сейсмической волны через земное ядро близка к скорости звука в железе. Кроме того, анализ метеоритного вещества показал, что метеориты бывают железные и каменные (силикатные). И всё вроде бы сходится. Но постепенно начали накапливаться факты, противоречащие этой теории. Каковы же они?

1. Через 20 лет после II мировой войны обнаружили, что при высоких давлениях (как в центре Земли) плотность железа больше плотности земного ядра. Тогда решили, что в ядре не чистое железо, а с примесью (например, С, К и др.).

2. Однако в метеоритах железо оказалось без примеси и в них больше, чем на земле, таких элементов как Au, Hg, Pt, но мало Cs, K, Rb.

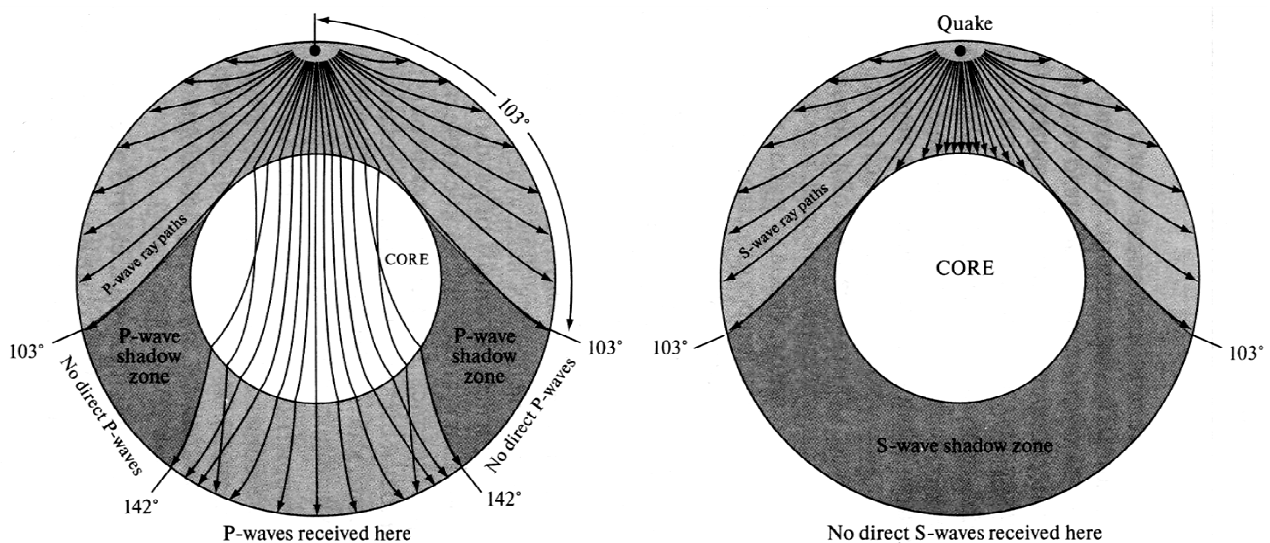


Рис. 6.5. Схема распространения сейсмических волн внутри планеты. Слева – продольных волн, справа - поперечных

Элементы Au, Hg, Pt имеют высокий потенциал ионизации, они дольше сохраняют электронейтральность и дальше проходят через прутья магнитных силовых линий. А элементы Cs, K, Rb легко ионизируются, легко тормозятся магнитным полем и поэтому их на Земле больше, например, чем на Марсе. Исходный состав вещества в зоне формирования Земли приведён в таблице 16.1. Из неё видно, что железа здесь совсем немного, на ядро явно не хватает. Для железного ядра его должно быть как минимум 40 весовых процентов, а его вчетверо меньше. А чтобы у Земли была силикатная мантия, ей нужно как ми-

нимум 20 весовых процентов кислорода. А его в 30 раз меньше. Но зато полно Si, Mg, H. В рамках старой теории (железного ядра и силикатной оболочки) водорода на Земле почти нет. А в новой картине мира водород переворачивает всё.

Таблица 6.1

Исходный состав протопланетного вещества в зоне формирования Земли

Элемент	Атомные проценты	Весовые проценты
Кремний	19,5	45
Магний	15,5	31
Железо	2,5	12
Кальций	0,9	3
Алюминий	1,0	2
Натрий	0,7	1,5
Кислород	0,6	1,0
Углерод	0,03-0,3	0,03-0,3
Сера	0,01-0,1	0,03-0,3
Азот	менее 0,01	менее 0,01
Водород	59	4,5

Огромное количество водорода (59 атомных %) по весу составляет всего 4,5 %, потому что он лёгкий. Большую часть массы нашей планеты (87 %) составляют металлы (Mg, Fe, Ca, Al,Na) и Si, который при обычных условиях – полупроводник, а при огромных давлениях в недрах Земли становится металлом, по свойствам близким к титану. Водород может вступать с металлом в химическую реакцию с образованием гидридов. При этом уменьшается габарит всей конструкции. Магний и кремний – основа нашей планеты. Плотность гидридов Mg и Si может быть увеличена в 14 раз. На гидриды влияют давление и температура. Причём, давление повышает растворимость водорода в металле так, что образуются гидриды, а температура, наоборот, понижает растворимость, и образовавшиеся гидриды разлагаются при высоких температурах, образец начинает активно «газить» водородом.

В настоящее время согласно металлогидридной теории основные геосферы Земли следующие:

1) В центре планеты мы имеем внутреннее металлогидридное ядро диаметром 2750 км; затем внешнее ядро из исчезающих гидридов вместе с металлами, которые насыщены водородом, толщиной 2100 км. Вместе они составляют большое ядро Земли.

2) Металлосфера толщиной 2750 км состоит из сплавов разных металлов на основе кремния, магния и железа; водорода там практически нет.

3) Тоненький слой силикатов и окислов толщиной 150 км.

Такое строение соответствует экспериментальным данным. Плотность при переходе от металлосферы к ядру меняется скачком от 5.5 до 10 г/см³. За магнитное поле Земли отвечает внешнее ядро. Внешнее ядро не пропускает поперечные сейсмические волны (рис. 16.5), что говорит о его жидком состоянии. Внутреннее ядро – твёрдое, а не жидкое, что вытекает из характера отражения от него продольных волн и из того, что оно может проводить поперечные волны (рис. 16.5). Плотность внешнего ядра выше плотности металлосферы, так как при наличии водорода облегчается диффузия атомов; протон под давлением проникает под первую электронную оболочку металлов, и тот уплотняется.

Металлогидридная теория позволяет также сделать вывод о расширении Земли. В начале XX века Альфред Вегенер, астроном по образованию, работал метеорологом и обнаружил, что западное побережье Африки точно соответствует южной Америке, то есть они были когда-то вместе, а потом разошлись. Палеонтология и палеоклиматология дали доказательства идентичности этих материков. Тогда А. Вегенер выдвинул идею дрейфующих континентов в 1912 г., но она не была принята учёными. И только во второй половине XX века после потрясающих открытий в области геологии океанов о нём вспомнили. И другие континенты прекрасно стыкуются по границам плит в одно целое. На дне океана открыт Средне – Атлантический хребет (двойная цепь) с ущельем между ними, которое носит название Атлантический рифт. По нему происходит расширение, которое и раздвигает континенты. Первая мысль у первооткрывателей была, что Земля расширяется, но поскольку это никак не укладывалось ни в какие рамки, то и была предложена теория неомобилизма. Однако теория неомобилизма, поныне торжествующая в геологии, не корректна. В настоящее время накопились факты, которые ей противоречат:

1) Если материковые плиты ползут по планете, то почему их не покорёжило и не порвало (толщина 150 км, а площадь огромна);

2) Корни континентов, например, материковые разломы, прослеживаются на сотни км и до ядра (как может плавать зуб, если корень находится в челюстной кости?);

3) Тектоника плит не прослеживается ранее миллиарда лет; возраст океанического дна всего 1-200 млн. лет, а материков – 3 млрд. лет, то есть океанов раньше не было.

Из этих фактов вытекает вывод, что Земля расширяется. Впервые эту идею высказал ещё в XIX в. русский учёный Юрковский, но эту идею тогда никто не принял всерьёз. В рамках новой теории все факты хорошо увязываются.

После того как радиогенное тепло начало разлагать гидриды внутри планеты, они стали активно выделять водород. При этом большая часть кислорода была вытеснена к поверхности, где он вступал в реакции с другими элементами, на что ушло около 3 млрд. лет. При дегазации водорода происходит разуплотнение металла, то есть увеличивается объём. Поступающий снизу водород вступает в реакцию с кислородом литосферы и образует воду, заполняя впадины между материковыми плитами – так возникли океаны. Поэтому высоко содержание водяного пара в вулканических газах. Из расчётов вытекает, что радиус Земли 1,6 млрд. лет назад составлял около 55 % от измеренного современного радиуса. Соответственно и Земля вращалась тогда в 3,5 раз быстрее, чему также есть доказательства. Оценки показывают, что радиус планеты вырастет ещё на 300 с небольшим километров, а дегазация водорода, которая является тектоническим двигателем планеты, прекратится.

Лекция 17

Термодинамика равновесных процессов

“Мир богаче, чем можно выразить на любом одном языке”, - говорил И.Р.Пригожин, основоположник термодинамики неравновесных процессов. Действительно, диапазон исследования физического мира имеет фантастические размеры. В области микромира физика элементарных частиц открывает процессы, протекающие на расстояниях $\sim 10^{-15}$ см за времена порядка 10^{-22} секунд. В космологии мы встречаемся с временами порядка 10^{10} лет (возраст Вселенной) и, следовательно, с расстояниями $\sim 10^{28}$ см (расстояние до горизонта событий – самого дальнего расстояния, с которого из-за конечности скорости света может быть принят какой-либо физический сигнал).

Термодинамика – наука о наиболее общих свойствах макроскопических физических систем, находящихся в состоянии термодинамического равновесия, и о процессах перехода между этими состояниями. Термодинамика строится на основе фундаментальных принципов (начал), которые являются обобщением наблюдений и выполняются независимо от конкретной природы образующих систему тел, а потому закономерности и соотношения между физическими величинами, к которым приводит термодинамика, имеют универсальный характер, обоснование этих законов даётся статистической физикой.

Процессы могут быть *равновесными* или *неравновесными*. Если система находится в состоянии равновесия (не обменивается энергией, массой, зарядом с иными системами), то при неизменных внешних условиях такое состояние не меняется со временем.. Если в самой системе существует перенос заряда, массы, энергии и т. п., то есть существуют градиенты (перепады) температуры, концентрации и др., состояние будет неравновесным. Пример таких неравновесных процессов – диффузия, теплопроводность, перенос электрического заряда, протекание тока в цепи, помещённой в термостат. В равновесных системах градиенты температуры или концентрации отсутствуют. Классическая термодинамика рассматривает системы, близкие к равновесным. Состояние равновесных систем характеризуется небольшим числом параметров: чаще двумя из трёх (давление, объём, температура). Связь между ними описывает уравнение состояния системы.

Под влиянием внешних воздействий система может переходить из одного равновесного состояния в другое, проходя через некоторые переходные состояния, не являющиеся равновесными. Такой переход будет *обратимым*, если его можно совершить в обратном направлении и при этом в окружающей среде не

останется никаких изменений. В противном случае мы будем иметь дело с *необратимым* процессом.

Обратимые и необратимые процессы различаются фундаментальным образом. В качестве примера необратимого процесса можно привести диффузию, приводящую в простейшем случае к однородному распределению массы. Примером обратимого процесса служат колебания математического маятника (при пренебрежении трением, другими потерями энергии). Именно необратимые процессы указывают направление течения времени. Различают системы *открытые*, обменивающиеся с внешней средой, и *закрытые*.

Произвольная термодинамическая система, находящаяся в любом термодинамическом состоянии, обладает полной энергией

$$W = W_{\text{кин}} + W_{\text{пот}} + U,$$

где $W_{\text{кин}}$ – кинетическая энергия, $W_{\text{пот}}$ – потенциальная энергия, U – внутренняя энергия.

Внутренняя энергия зависит только от термодинамического состояния тела (системы). Она состоит из кинетической энергии молекул, атомов в молекуле и нуклонов в атоме и потенциальной энергии молекулярного взаимодействия, электронных оболочек атомов и атомов в молекуле.

Равновесная термодинамика основывается на трёх законах (началах).

Первый закон (I начало) термодинамики – закон сохранения энергии в замкнутой изолированной системе в случае, когда в ней имеют место механические и тепловые процессы. Первая формулировка этого закона: полная энергия замкнутой системы не изменяется, что выражается формулой

$$\Delta U = \Delta A + Q \quad (1),$$

т.е. изменение внутренней энергии (U) системы равно сумме работы (A), совершенной системой или над системой внешними силами, и количества теплоты (Q), сообщаемого системе.

Вторая формулировка I начала: вечный двигатель первого рода невозможен, то есть нельзя совершить работу, не затратив энергии, но при этом предполагается, что возможен полный переход тепловой энергии в механическую и обратно.

Однако в начале XIX в. опыт конструирования тепловых машин показал, что это невозможно. Коэффициент полезного действия тепловых машин всегда меньше единицы (часть теплоты неизбежно рассеивается в окружающую среду). Вторым законом термодинамики обобщает этот факт. В 1850 г. немецкий физик Р.Клаузиус (1822-1888) сформулировал **второй закон (II начало) термо-**

динамики: невозможен процесс, при котором теплота переходила бы самопроизвольно от менее нагретых тел к более нагретым.

Независимо от Клаузиуса в 1851 г. У.Томсон (лорд Кельвин) (1824-1907) дал вторую формулировку II начала: невозможно построить периодически действующую тепловую машину, вся деятельность которой сводилась бы к совершению механической работы и охлаждению теплового резервуара.

И третья формулировка второго начала: невозможно построить вечный двигатель второго рода, то есть невозможно всю подведённую энергию превратить в работу.

Для любой тепловой машины всегда необходимы три элемента: нагреватель, рабочее тело, холодильник. Простейший пример тепловой машины – обыкновенный бытовой холодильник. Нагревателем в нём являются охлаждаемые продукты, рабочим телом – фреон (ранее использовался) или, например, диметиловый эфир, холодильником – окружающий воздух. Тепловая энергия отнимается от продуктов и передаётся окружающей среде за счёт работы компрессора. То есть циклические процессы конденсации и испарения рабочего тела обеспечиваются внешним по отношению к системе источником энергии.

В 1854 г. Клаузиус ввёл понятие энтропии. Слово энтропия произошло от греч. “entropia” – поворот, превращение. Энтропия позволяет отличать, в случае изолированных систем, обратимые процессы (энтропия максимальна и постоянна) от необратимых (энтропия возрастает). При температуре T изменение энтропии ΔS изолированной системы при сообщении последней теплоты ΔQ определяется соотношением

$$\Delta S = \Delta Q/T.$$

При обратимых процессах полное изменение энтропии системы равно нулю. Однако если процесс необратим, то $\Delta S > 0$. То есть энтропия замкнутой системы при необратимых процессах возрастает.

Важнейшие свойства энтропии замкнутых систем:

1. Для обратимых процессов энтропия замкнутых систем не изменяется, то есть $\Delta S_{\text{обр}} = 0$, $S = \text{const}$;

2. Для необратимых процессов энтропия замкнутой системы возрастает

$$\Delta S_{\text{необр.}} > 0;$$

3. Энтропия замкнутой системы при любых процессах не убывает

$$\Delta S \geq 0.$$

В 1872 г. Л.Больцман (1844-1906) установил, что возрастание энтропии обусловлено переходом системы из менее вероятного состояния в более вероятное. Л.Больцман и М.Планк (1858-1947) сформулировали один из важнейших

законов природы, связывающий энтропию S и вероятность состояния W системы:

$$S = k \cdot \ln W + \text{const}$$

Коэффициент k является фундаментальной постоянной и носит название постоянной Больцмана. Из соотношения видно, что чем более вероятно состояние системы (т.е. чем ближе W к единице), тем больше энтропия. Термодинамическая вероятность состояния замкнутой системы не может убывать ($\Delta W = 0$ в случае обратимого процесса и $\Delta W > 0$ – для необратимого).

Пример перехода системы к наиболее вероятному состоянию – растекание капли чернил в стакане с водой. Иными словами, эволюция замкнутой системы осуществляется в направлении наиболее вероятного перераспределения энергии по отдельным подсистемам.

На основании *этого* возникла драматическая формулировка второго начала термодинамики, принадлежащая Клаузиусу: “Энтропия Вселенной возрастает”. Из этого утверждения следует, что Вселенная движется к “**тепловой смерти**”. Все виды энергии во Вселенной в конце концов перейдут в энергию теплового движения, равномерно распределённую по веществу. Все макроскопические процессы, определяющиеся переносом энергии, массы, заряда, прекратятся.

Действительно, при таком сценарии развития Солнце, звёзды в какой-то момент израсходуют запасы свободной энергии, излучив их во всех направлениях. Ярко светящиеся звёзды погаснут. Все существующие в природе перепады температур выровняются, и все тела приобретут некоторую одинаковую среднюю температуру. При этом, в соответствии с законом сохранения энергии, полная энергия **Вселенной** сохранится. Но исчезнет вся жизнь, ни одна машина не сможет прийти в движение.

Столь мрачная картина “**тепловой смерти**” основана на предположении, что второе начало термодинамики применимо без ограничений, абсолютно во всех областях физики, во всех точках пространства, во все моменты времени.

Какие возражения могут быть выдвинуты против такой гипотезы?

Во-первых, второе начало термодинамики (или закон возрастания энтропии) получено обобщением данных наблюдений и опытов, относящихся к ограниченным (пусть и очень большим) системам. Распространение же этого начала на всю Вселенную есть очень грубая экстраполяция, для которой нет достаточных оснований.

Во-вторых, Вселенная не является изолированной системой. По современным представлениям она неоднородна, нестационарна.

В-третьих, за счёт существующих взаимодействий, в первую очередь, гравитационных, роль в эволюции отдельных областей Вселенной играют флуктуации, случайности, никак не учтённые классической термодинамикой. Гипотеза “тепловой смерти” не согласуется с наблюдениями над Вселенной в её современном состоянии, а так же с выводами, которые можно сделать из известного нам прошлого Вселенной. Наблюдается непрерывный рост разнообразия, эволюция в направлении возникновения более сложных форм.

Идея эволюции появилась в естествознании в XIX в. в связи со вторым началом термодинамики. Именно об этом законе говорил в лекции “Две культуры” Ч.П.Сноу [1], указывая, что не знать о нём гуманитарии так же стыдно, как и естествоведнику не иметь представления о произведениях Шекспира. II начало термодинамики (в формулировке $\Delta S \geq 0$) иногда используется критиками эволюции с целью показать, что развитие природы в сторону усложнения невозможно. Подобная интерпретация неверна, так как энтропия не убывает только в замкнутых системах. Ответ на этот вопрос интересовал и И.Р. Пригожина, который стал основателем неравновесной термодинамики [2].

Современная общая теория относительности рассматривает Вселенную как систему, находящуюся в переменном гравитационном поле. Тогда закон возрастания энтропии к ней не применим.

Итак, I и II начала термодинамики – два важнейших закона-ограничителя. I начало – закон сохранения энергии. II начало - физический принцип, накладывающий ограничение на направление процессов передачи тепла между телами. В заключение отметим ещё один аспект, касающийся качества энергии. Одним из важнейших выводов, следующих из второго начала термодинамики, является то, что хотя энергия сохраняется, она не может быть преобразована из одной формы в другую по нашему усмотрению. Это наводит на мысль, что энергия характеризуется не только количеством, но и качеством (современное понятие). Более высоким качеством обладает энергия, которую можно с меньшими потерями концентрировать или передавать на большие расстояния. Например, лазерный луч несёт энергию более высокого качества, чем поток света лампочки. Энергия, содержащаяся в куске угля, выше качеством, чем тепловая энергия Мирового океана. Система, обладающая большей упорядоченностью (меньшей энтропией) должна, по-видимому, быть и более высококачественной. Рассматривая вопросы передачи энергии на расстояния, необходимо иметь в виду не только количество, но и качество энергии.

В начале лекции мы говорили о том, что равновесная термодинамика основывается на трёх началах; третье начало (теорема Нернста) рассматривает

поведение систем при температуре, близкой к абсолютному нулю. Энтропия физической системы при стремлении температуры к абсолютному нулю не зависит от параметров системы и остаётся неизменной. М. Планк дополнил терему Нернста гипотезой, что энтропия всех тел при абсолютном нуле температуры равна нулю. Из третьего начала термодинамики следует недостижимость абсолютного нуля температуры при конечной последовательности термодинамических процессов.

Лекция 18

Термодинамика неравновесных процессов

Синергетика – наука, которая занимается выявлением общих закономерностей в процессах образования, устойчивости и разрушения упорядоченных временных и пространственных структур в сложных неравновесных системах различной природы (в физике, химии, биологии, экологии, социологии).

Другое определение: синергетика – наука, которая занимается изучением систем, состоящих из большого числа частиц, компонент или систем, взаимодействующих между собой сложным (нелинейным) образом.

Термин синергетика происходит от греческого *совместный, согласованно действующий*. Этот термин ввёл для самоорганизующихся систем немецкий учёный Герман Хакен (р. 1927). Возникновение организованного поведения может обуславливаться внешними воздействиями (*вынужденная организация*) или являться результатом развития собственных (внутренних) неустойчивостей в системе (*самоорганизация*). В последнем случае процесс упорядочения связан с коллективным поведением подсистем, образующих систему. Для полноты следует сказать, что синергетика занимается и вопросами *самодезорганизации* – возникновения хаоса в динамических системах.

Как правило, исследуемые системы являются диссипативными открытыми системами. Диссипация (лат. *dissipatio*-рассеяние) энергии – переход (у физических систем) части энергии упорядоченного процесса в конечном счёте в тепловую (например, в джоулеву теплоту). Соответственно *диссипативные системы* - (механические) системы, полная (механическая) энергия которых при движении убывает, переходя в другие формы энергии, например, в теплоту. Этот процесс происходит вследствие наличия различных сил сопротивления (трения), которые называются диссипативными силами. Примерами диссипативных систем являются 1) твёрдое тело, движущееся по наклонной плоскости по поверхности другого при наличии трения (рис.18.1), 2) жидкость или газ, между частицами которых при движении действуют силы вязкости (вязкое трение).

Прирост энтропии за единицу времени в единице объёма в открытых системах называется функцией диссипации. Если она не равна нулю, то системы называются диссипативными. Практически все системы являются такими, т. к. трение и прочие силы сопротивления приводят к диссипации энергии.

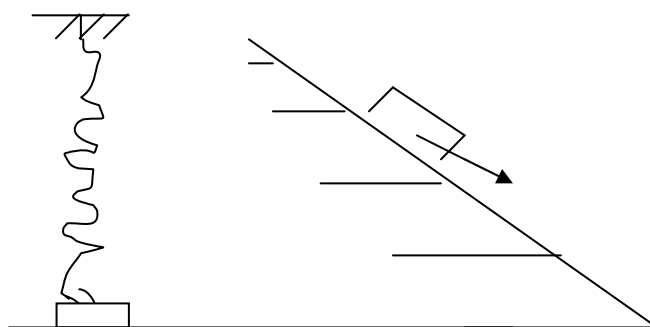


Рис. 18.1. Движение бруска по наклонной плоскости

Синергетика возникла в начале 70-х годов XX века из теории колебаний, развитой Леоном Исааковичем Мандельштамом и его школой и качественной теории дифференциальных уравнений, начало которой было положено в трудах Анри Пуанкаре, а также русским учёным Александром Михайловичем Ляпуновым (1857-1918). Мандельштам же ввёл термин «нелинейное мышление» и впервые поставил вопрос о переосмыслении того, что можно было назвать «линейным мышлением» и связанной с ним ньютоновской системой.

Линейное мышление характеризуется детерминистским (от латинского *determinare* – определять) подходом, предполагающим однозначный ответ на какое-либо воздействие при заданных начальных условиях. Дальнейшее развитие науки показало, что реальные системы могут считаться линейными лишь приближенно.

Выяснилось, что универсальная константа – скорость света (c) конечна, и скорость распространения взаимодействия не зависит от системы отсчёта. Оказалось, что нельзя определить абсолютную одновременность пространственно разделённых событий, а можно говорить об одновременности только в данной системе отсчёта. В результате появилась теория относительности; классическая же теория Ньютона оказалась её предельным случаем; линейные преобразования Галилея оказались предельным случаем нелинейных преобразований Лоренца. Была введена и другая постоянная – Планка (h), связанная с микромиром. Соотношение неопределённостей Гейзенберга говорило о том, что мы не можем одновременно измерить сопряжённые физические величины, например, координаты и импульс, т. е. они уже не являются независимыми переменными, как в классической механике.

Итак, постепенно пришло осознание существования нелинейных систем, которые описываются, вообще говоря, нелинейными дифференциальными уравнениями, общих методов решения которых не существует. Разделяют два вида нелинейных систем: консервативные, которые характеризуются сохранением энергии, и диссипативные. Существуют два подхода в исследовании нелинейных систем: И. Р. Пригожина. и С. П. Курдюмова.

Илья Романович Пригожин перенёс физические математические методы, развитые для линейных задач, на нелинейную область. Энтропия в этом состоянии, как мы знаем, достигает своего максимума. Система является неупорядоченной или находится в состоянии теплового хаоса. Весь понятийный аппарат переносится для количественного описания неравновесных процессов. Для этого вводится гипотеза о применимости так называемой локальной термодинамики. Вся система разбивается на много подсистем (макроскопических), каждая из которых описывается системой термодинамических параметров (например, температура, объём, давление), зависящих теперь от пространственных координат и времени. Такое рассмотрение приводит к количественному описанию неравновесных процессов с помощью уравнений баланса для элементарных подсистем на основе законов сохранения, а также уравнения баланса для энтропии. Расчёты основываются на теореме Пригожина и справедливы в области, близкой к равновесию. Теорема Пригожина: *при данных внешних условиях, препятствующих достижению системой равновесного состояния, стационарному (неизменному во времени) состоянию системы соответствует минимальное производство энтропии*. Если таких препятствий нет, то производство энтропии равно нулю. При поддержании таких внешних условий это состояние называется аттрактором. Устойчивость стационарных состояний с минимальным производством энтропии связана с принципом Ле-Шателье (1884) и обобщённым видом его Брауна: система, выведенная внешним воздействием из состояния с минимальным производством энтропии, стимулирует развитие процессов, направленных на ослабление внешних воздействий. Нужно отметить, что самоорганизующиеся системы аналогичны фазовым переходам. И. Р. Пригожин за цикл работ по неравновесной термодинамике удостоен нобелевской премии.

Второй подход в синергетике связан с прорывом в развитии компьютеров и численных методов исследования, Его основателем является Сергей Павлович Курдюмов. В основу его подходов легло исследование так называемых режимов с обострением – режимов сверхбыстрого нарастания процессов в открытых диссипативных системах; при этом характерные величины (температура, энергия) неограниченно возрастают за конечное время. Режимы с обострением имеют длительную квазистационарную стадию, в течение которой никаких существенных изменений не происходит. И лишь при приближении к моменту обострения локализованные структуры становятся неустойчивыми и распадаются из-за влияния малых флуктуаций.

Важный принципиальный результат, характеризующий исследуемые системы - множественность возникающих структур, параметры которых определяются свойствами самой системы и характером взаимодействия с окружающей средой. Именно это определяет способность этих систем к эволюции – последовательной смене структур в процессе развития; причём, реализация конкретной структуры будет во многом определяться флуктуациями и принципиально непредсказуема. Тем самым ньютоновский детерминизм, позволяющий при знании начальных условий описать прошлое и предсказать будущее, отходит на второй план, а стохастические (вероятностные) подходы начинают играть первостепенную роль. Правильное моделирование исследуемой системы – метод решения таких систем. Приведём примеры самоорганизующихся систем из разных областей естествознания.

1) Ячейки Бенара. Бенар наблюдал эти ячейки в 1900 г. в ртути, налитой в широкий плоский сосуд с толстым дном, при нагреве её снизу (вместо ртути может быть любая другая вязкая жидкость). Сначала из-за вязкости ртути движения жидкости не было, и тепло передавалось лишь за счёт теплопроводности. При дальнейшем росте температуры и достижения температурой определённой величины (критической) появлялся конвекционный поток. Так как жидкость у нижней поверхности из-за теплового расширения имеет меньшую плотность, чем у верхней, то температурный градиент в данном случае называется инверсным. Жидкость снизу стремится подняться вверх. Обмен ускоряется. При определённой величине энтропии $S = (Q/T_1 - Q/T_2) < 0$ ртуть распадалась на шестигранные призмы, названные ячейками (рис.18.2). То есть самоорганизующаяся структура создаётся при достижении энтропией отрицательного значения (негэнтропии).

2) Реакции Белоусова-Жаботинского. Они настолько важны, что за их трактовку и описание процесса группа авторов получила Ленинскую премию – высшую награду в Советском Союзе. В растворе серной и малоновой кислот, сульфата церия и бромида калия, при добавлении в качестве индикатора ферроина можно следить за ходом окислительно-восстановительных реакций по изменению цвета раствора. Как только эти вещества сливаются в пробирку, раствор начинает менять цвет с красного, означающего избыток церия Se^{3+} , на голубой, означающий избыток церия Se^{4+} . Причём, цвет меняется периодически, период зависит от концентрации раствора и чётко сохраняется, поэтому такие реакции стали называться «химическими часами». Уравнения, описывающие этот процесс, совпали с уравнениями автоколебаний. Начиная с некоторого числа колебаний, образуются устойчивые красные и синие слои, под-

держивающиеся в течение получаса (рис.18.3). Можно сказать, что химический организм умирает, задушенный избытком энтропии, которую нет возможности выбрасывать в окружающую среду [6] .

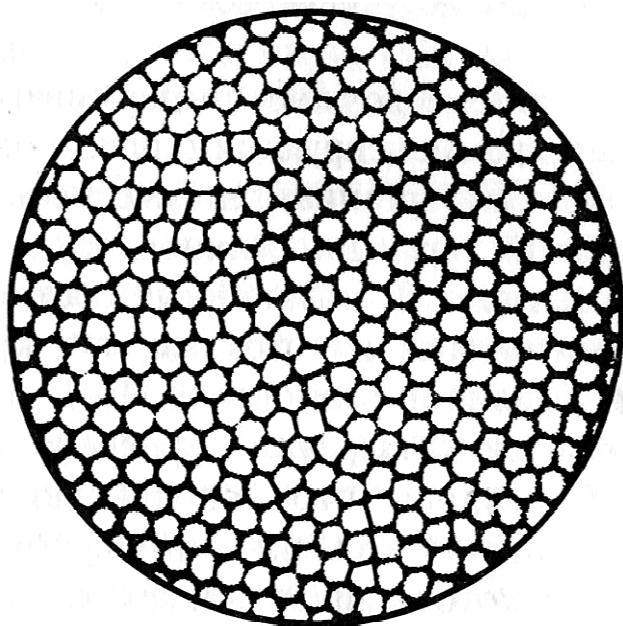


Рис. 18.2. Ячеистая структура жидкости при неустойчивости Бенара

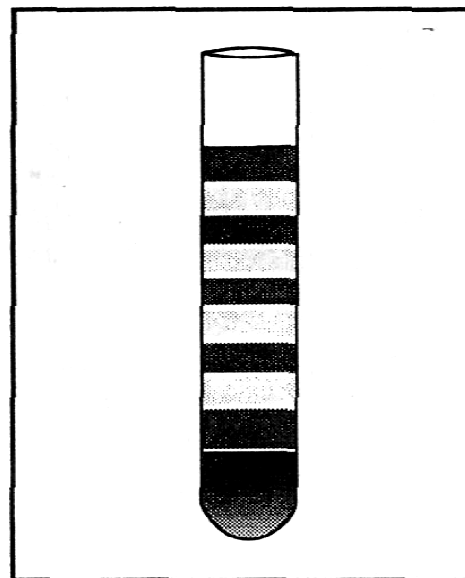


Рис. 18.3. Самопроизвольное появление пространственных структур в реакции Жаботинского

3) Автоволны – это самоподдерживающиеся волны, которые распространяются в активных средах или средах, поддерживаемых энергетически. Термин «автоволны» введён создателем нелинейной оптики советским учёным академиком Р.В. Хохловым (1926-1977), участником научной школы Мандельштама, где зародилось направление по теории автоколебаний. Автоволны движутся без затухания, форма и амплитуда не зависят от начальных условий, при столкновении аннигилируют. Потери на диссипацию восполняются подводом энергии извне. Они локализованы в пространстве. До и после прохождения автоволны элементы среды остаются в покое. Формы автоволн могут быть разные: плоские, изогнутые, спиральные. Автоволны открыты в химических реакциях, в реакциях горения, при передаче возбуждения по нервным волокнам, мышцам, сетчатке глаза, при анализе численности популяций и т.д.

Типичный пример автоволны – нервный импульс, который бежит по нервному волокну диаметром 25 мкм, длиной 1,5 м без затухания, хотя сопротивление нервного волокна в 10^8 раз больше, чем сопротивление хорошего проводника - меди. Скорость прохождения волны 0,5 – 120 м/с. Один раз в секунду по сердцу пробегает автоволна и запускает механизм сокращения сердечной мышцы. На кардиограмме регистрируется потенциал, создаваемый волной. Одна из первых моделей возбудимой среды была построена Винером в 1946 г. для описания работы сердечной мышцы. Автоволны существуют в те-

чение нескольких часов в мозгу больного эпилепсией вокруг повреждённого участка; они наблюдаются на сетчатке глаза – вынесенным наружу участке мозга. Обнаружение вращающихся спиральных волн в ткани мозга подтверждает единство механизмов автоволновых процессов в живой и неживой природе. Спиральная структура туманности М-51 обнаружена астрономами в созвездии Гончих Псов ещё в 1848 г. Большая часть галактик имеет спиральную структуру.

К самоорганизующимся системам можно также отнести ферриты (ферри-магнетики), в которых при определённой величине внешнего магнитного поля магнитные моменты атомов выстраиваются в одном определённом направлении и создаётся магнитная упорядоченность; а также лазеры, в которых в процессе «накачки» создаётся активная среда, а затем происходит когерентное излучение света. Например, в полупроводниковом лазере электроны заполняют сначала более высокие энергетические уровни, а затем они сбрасываются на более низкие уровни с когерентным излучением света. Во всех описанных экспериментах можно уловить общие свойства самоорганизующихся систем в неживой материи. Основные из них следующие: *кооперативность*, то есть участие большого числа частиц в процессах; *инверсная населённость или неравновесное состояние*, которое должно поддерживаться внешней средой, чтобы структуры были устойчивыми; и *пороговый характер* возникновения структуры. Математическая разработка таких систем породила новый метод – синергетический.

Лекция 19

Особенности развития жизни на Земле

Явления жизни изучаются в биогеохимии и являются геологической силой планетарного характера. Основным определенным началом для них является астрономическое положение планеты – расстояние от неё до Солнца и наклон её оси к эклиптике. Они неизменны за геологический период больше двух миллиардов лет, определяют климат, а климат определяет жизнь на нашей планете.

Солнечная константа, определяющая энергию Солнца, равна 1,94 кал/мин на 1 см² на верхней границе свободной атмосферы [14]. Она изменяется с изменением расстояния между Землёй и Солнцем. Жизнь в биосфере за 2 млрд. лет не уменьшается по своей мощности, но расширяется и проникает в новые, ранее безжизненные, области планеты. «Напор жизни» выражается в резком механическом воздействии на окружающую среду живого вещества и производится, прежде всего, размножением, а затем – ростом. Мы наблюдаем его, когда лес надвигается на степь или наоборот. То же видим в коралловых островах, строящихся кораллами и известковыми водорослями, которые подготавливают почву для наземных организмов.

Но астрономические данные определяют только самые общие черты климата. Распределение океана и суши, морские течения, возникающая циркуляция в тропосфере и колебания её химического состава вносят большие изменения в тепловой и световой астрономический климат. Это выявляется не только в живом веществе и его эволюции, но и в зональности всех геологических явлений нашей планеты. Александр Гумбольдт (1769-1859) выдвинул идею вертикальной зональности, а понятие горизонтальной зональности введено впервые в почвоведении В.В. Докучаевым (1846-1903 г.г.). Явления зональности характерны для твердой части поверхности биосферы. Резкие изменения климата в геологии проявлялись уже в археозое, и в настоящее время мы переживаем конец последнего ледникового периода, резко проявившегося в северном полушарии, но отразившегося, например, на колебаниях уровня Тихого океана. Этот ледниковый период начался в третичной системе (в неогене) и длится, по крайней мере, 10-15 млн. лет. Ледниковый период – это не период холода. Жизнь развивалась на планете в это время мощно, кроме относительно малых участков суши и шельфов, покрытых льдом. Такие скопления материковых ледников происходили не только вблизи полюсов, но и в местностях, близких к экватору.

Например, в пермское время они наблюдались в Индии и Южной Америке 190-220 млн. лет тому назад.

Вода господствует в биосфере и по массе, и по своему геологическому значению, и она свободно переходит из твёрдого состояния в жидкое и газообразное.. Попытки объяснить ледниковые периоды передвижением полюсов, движением материков и др. несостоятельны, поэтому надо искать причины ледниковых периодов. Этому предшествуют или сопутствуют движения земных твёрдых глыб в верхних частях земной коры в области биосферы и резкое изменение видового характера живого вещества планеты.

В четвертичном периоде, во второй части которого мы живем, наиболее ярким проявлением бывших здесь процессов с биосферной точки зрения является создание эволюционным путем человека. Около 100 000 лет назад люди заняли ведущее положение и продолжают его занимать в наше время.

Владимир Иванович Вернадский (1863-1945 г.г.) – крупный русский учёный – естествоиспытатель выделял основные особенности в развитии живого на Земле.

1. С точки зрения натуралиста (и историка) можно и должно рассматривать исторические явления такой мощности (революции, 1-я и 2-я мировые войны) как единый земной геологический, а не только исторический процесс, охватывающий и косную, и живую природу.

2. Различают «живое вещество», как совокупность живых организмов и жизнь, которая всегда выходит за пределы понятия «живое вещество» в области философии, религии, художественного творчества. В гуще жизни человек забывает, что он сам и все человечество, от которого он не может быть отделен, неразрывно связаны с биосферой.

3. Мысль о жизни как о космическом явлении существовала уже давно. «Книга мироздания» Гюйгенса была издана по указу Петра I в конце XVIII-го века. Гюйгенс в ней сделал научное обобщение, что жизнь есть космическое явление, в чем-то резко отличное от косной материи. Вернадский назвал его принципом Гюйгенса. В 1940 г. проблема космической жизни стояла в плане научных работ биохимической лаборатории В.И. Вернадского Академии наук СССР.

Более 90% живого вещества приходится на земную растительность (99,2%). По весу же живое вещество составляет ничтожную часть планеты (~0,25%). Глубина живого на суше, вероятно, меньше 3 км (в океане 1-2 км ниже дна). Оно морфологически менялось в ходе геологического времени, что выражается в медленном изменении форм живых организмов. Живое вещество,

тем не менее, - наиболее мощный геохимический и энергетический фактор, ведущая сила планетарного развития. Веками эта мысль занимала умы учёных, пока в 1859 г. не получила прочное обоснование в трудах Дарвина (1809-1882) и Уоллеса (1823-1913). Это учение об эволюции видов – растений и животных, в том числе и человека. Эволюционный процесс присущ только живому веществу. В косном веществе нашей планеты нет его проявления. Минералы криптозойской эры аналогичны современным. Изменение морфологического строения живого вещества в процессе эволюции неизбежно приводит к изменению его химического состава. Этот вопрос требует экспериментальной проверки.

4. Эволюция живого вещества идёт в определенном направлении. Этот вывод сделали ещё за 8 лет до 1859 г. младшие современники Дарвина: Джеймс Дана (1813-1895) и Ле Конт (1823-1901). Явление названо Даном цефализацией, а Ле Контом – психозойской эрой. Усовершенствование центральной нервной системы происходило по мнению Д. Дана в течение 2-х млрд. лет.

5. Сочетание 2^х взаимодействующих систем – человека и природы – образует систему наивысшего иерархического статуса на планете – биосферу. Термин и понятие «биосфера» ввёл в своем труде «Лик Земли» австрийский геолог Эдуард Зюсс (1831-1914) в 1875 г., а в биологии французский учёный Ламарк (1744-1829) в XIX века. Биосфера состоит из атмосферы, гидросферы, литосферы и живых организмов.

В.И. Вернадский выделил в биосфере 7 разных типов веществ [14]:

- 1). Живое;
- 2). Биогенное, т.е. создаваемое и перерабатываемое живыми организмами: горючие ископаемые, известняки, граниты;
- 3). Косное (абиогенное) вещество, в создании которого не участвуют живые организмы: изверженные горные породы;
- 4). Биокосное, создаваемое и живыми организмами, и процессами неорганической природы: илы, почвы;
- 5). Радиоактивные вещества;
- 6). Рассеянные атомы, которые появляются вследствие питания, дыхания, размножения и распада органического вещества: например, С, N, O, P, S, Fe, Mg, Mo, K, Na и др.
- 7). Вещество космического происхождения: метеориты, космическая пыль.

Центральное звено в концепции Вернадского о биосфере – представление о живом веществе, так как живые организмы являются функцией биосферы и теснейшим образом материально и энергетически с ней связаны, т.е. являются

огромной определяющей геологической силой. Вернадский выделяет следующие этапы развития биосферы:

I. 500 млн. лет назад в кембрийской геологической эре появились в биосфере богатые кальцием скелетные образования.

II. 70-100 млн. лет назад в мезозое и особенно третичном периоде образовались зелёные леса.

III. 15-20 млн. лет назад в этих лесах появился человек.

IV. В 1944 г. В.И. Вернадский развил представление о переходе биосферы в ноосферу. Человечество становится мощной геологической силой. И перед ним становится вопрос о перестройке биосферы в интересах свободно мыслящего человечества, как единого целого. Это новое состояние биосферы и есть ноосфера.

6. Термин «ноосфера» ввёл французский математик и философ Эжен Ле Руа в 1927 г. Он подчеркнул, что пришел к такому представлению вместе со своим другом (геологом и палеонтологом) Тейяр де Шарденом. Их толкование было идеалистическим и представлялось «надбиосферным» мыслительным пластом. Вернадский дал другое – материалистическое понимание ноосферы, как качественно новой формы организованности природы и общества, как нового эволюционного состояния биосферы. Ноосфера – новое геологическое явление на нашей планете. Ноосфера – высший тип управляемой целостности, для которой характерна взаимосвязь законов природы, мышления и социально-экономических законов общества. Отдельные структурно-функциональные элементы ноосферы закладываются уже сейчас. Процесс перехода биосферы в ноосферу будет усиливаться по мере объединения человечества, глобализации проблем развития.

7. Если количество живого вещества незначительно по сравнению с косной и биокосной массами биосферы, то биогенные породы, созданные живым веществом, составляют огромную часть её массы и выходят далеко за пределы биосферы. В результате метаморфизма они превращаются, теряя всякие следы жизни, в гранитную оболочку, выходят из биосферы. Гранитная оболочка Земли есть область былых биосфер. Ламарк также придерживался точки зрения, что живое вещество явилось создателем главных горных пород нашей планеты.

Экономист Brentano иллюстрирует планетную значимость живого вещества. Он посчитал, что если каждому человеку дать 1 м^2 и поставить всех людей рядом, они не заняли бы площадь маленького Боденского озера на границе Баварии и Швейцарии, т.е. всё человечество – ничтожная часть массы вещества на планете. Сила его – мозг и разум, если оно не направит их на самоистребление.

8. Те организмы, которые проживают в одной местности, связаны между собой многочисленными связями и формируют устойчивые сообщества – биоценозы. Вместе с территорией обитания биоценозы образуют экосистемы. Именно по экосистемам и путешествуют элементы и вещества. Биота – совокупность живых организмов, объединенных общей областью распространения. Они не всегда связаны экологически (например, кенгуру и рыбы Австралии).

Живым организмам нужны энергия и строительный материал. Кроме того, и организмы, и экосистемы вынуждены поддерживать внутренние условия постоянными, даже если внешние сильно меняются, т.е. поддерживать гомеостаз.

Например, где бы ни жил человек и какую бы пищу ни ел, концентрация NaCl в его крови будет постоянной. В организме человека всегда находится 4-5 г Fe, независимо от того, вегетарианец он или питается исключительно мясной пищей.

В организмах и экосистемах есть специальные механизмы, которые позволяют им получать из окружающей среды нужные им элементы и препятствуют поглощению вредных либо выводят вредные элементы, если уж они в организм попали. Так все растения накапливают в первую очередь N, P и K, теплокровные животные – Fe и Cl, водоросли – Cu. А такие элементы, как Al, Ti, Cr организмом практически не поглощаются. В путешествиях элементов обычно нет «конечных остановок». Завершение одного маршрута оказывается началом другого. Эти потоки сложные, и такие перемещения называются круговоротами. Именно круговороты способствуют постоянному поддержанию гомеостаза, как во всепланетарных, так и в локальных масштабах.

Во-первых, они не дают планете «утонуть» в отходах жизнедеятельности, т.к. эти отходы немедленно становятся пищей для других организмов (например, мочевина животных усваивается растениями; выдыхаемый организмами углекислый газ расходуется в процессе фотосинтеза).

Во-вторых, круговороты не позволяют жизненно важным элементам выйти из биосферы или отдельной экосистемы. Например, ветер переносит с океанов на сушу хлориды, которые нужны всем живым организмам. Если бы не этот перенос, то все хлориды уже давно были бы в океане.

В ходе биогеохимических циклов большинство химических элементов проходили бесчисленно много раз через живое вещество. Так весь кислород атмосферы оборачивается через живое вещество за 2000 лет, углекислый газ – за 200 – 300 лет, а вся вода – за 2 млн. лет. Благодаря живому веществу образовались почвы и органоминеральное топливо.

Фиксация азота в почве из атмосферы осуществляется и под влиянием разрядов молний (при разряде поднимается температура до $20\,000^{\circ}\text{C}$): молекулы азота и озона под действием электрического разряда распадаются на атомы N и O, которые, соединяясь между собой, образуют окислы, а последние, соединяясь с водой, образуют азотную кислоту в атмосфере. Пары её с дождями попадают в почву. В природе обычно бывает 100 молний за 1 секунду. За один день могут создаваться 2 млн. тонн HNO_3 ; за год – 700 млн. тонн. Производство же дает 30 млн. тонн в год. Кроме того, бактерии образуют на 1 га 50 кг азота.

Лекция 20

Теории происхождения жизни на Земле. Сохранение жизни на планете

1. Теории происхождения жизни на Земле.

Живое в природе качественно отличается от неживого по своим свойствам. Это, прежде всего, наличие обмена веществ у живых организмов, самовоспроизведение и наличие мутаций. Вопрос возникновения жизни всегда волновал умы мыслящего человечества. Основные теории возникновения жизни на Земле следующие:

- 1) креационизм;
- 2) возникновение жизни из неживого – абиогенез;
- 3) возникновение жизни из живого – биогенез;
- 4) теория стационарного состояния;
- 5) теория панспермии;
- 6) теория биохимической эволюции.

Креационизм – религиозное учение о сотворении мира и человека Богом из ничего. Поскольку это не научная теория, в рамках предмета она не рассматривается. Абиогенез – представление о самозарождении организмов (червей, мух и др.) возникло ещё в эпоху натурфилософии (Аристотель), в XVI в. её обосновывал на эмпирических наблюдениях Ван Гельмонт. После создания микроскопа А. Левенгуком Ф. Реди (XVII в.), итальянский биолог, сделал вывод, что наблюдения Ван Гельмонта были не корректны и выдвинул концепцию биогенеза, Биогенез – эмпирическое обобщение, утверждающее, что всё живое происходит только из живого. Л. Пастер, врач и микробиолог, в XIX в. опроверг теорию самозарождения микроорганизмов. Однако абиогенез – исходная гипотеза современной теории происхождения жизни. Теория стационарного состояния предполагает, что жизнь существовала всегда. Теория панспермии исходит из того, что зародыши живых существ повсеместно распространены во Вселенной и переносятся с одного небесного тела на другое с метеоритами или под действием давления света, так что жизнь занесена извне, из космоса. Теория существует до сих пор.

И, наконец, биохимическая теория происхождения жизни, развитая русским учёным А.И. Опариным (1894-1980) в 1922 году [15]. Теория Опарина исходит из того, что первобытная Земля имела лишённую кислорода атмосферу и при воздействии на неё естественных источников энергии (грозы, извержения вулканов) начали самопроизвольно формироваться основные органические химические соединения. С течением времени молекулы органических веществ

накапливались в океанах, пока не достигли консистенции горячего разбавленного бульона. В тех местах, где концентрация молекул была особенно велика, там образовывались нуклеиновые кислоты и протеины. Проверкой теории стали эксперименты Стэнли Миллера, ученика биохимика, лауреата Нобелевской премии Юри, в 1953 г. Аппарат С. Миллера состоял из двух колб, в одной из которых имитировались гроззовые эффекты, а в другой постоянно кипела вода. Затем аппарат заполнялся метаном, водородом и аммиаком. Через неделю работы аппарата в продуктах реакции были обнаружены простейшие аминокислоты – глицин и аланин. Позднее были проведены эксперименты с установкой Миллера на других газах, и они дали подобные результаты.

Опарин полагал, что решающая роль в превращениях неживого в живое принадлежала белкам. Благодаря амфотерности белковых молекул, они способны к образованию коллоидных гидрофильных комплексов - притягивают к себе молекулы воды, создающие вокруг них оболочку. Эти комплексы могут обособляться от всей массы воды и образовывать своего рода эмульсию. Слияние таких комплексов друг с другом приводит к отделению коллоидов от водной среды - процесс, называемый коацервацией (от лат. сгусток, куча). Богатые коллоидами коацерваты, возможно, были способны обмениваться с окружающей средой веществами и избирательно накапливать различные соединения, в особенности кристаллоиды. Коллоидный состав данного коацервата, очевидно, зависел от состава среды. Разнообразие состава "бульона" в разных местах вело к различиям в химическом составе коацерватов и поставляло сырьё для "биохимического естественного отбора".

Предполагалось, что в самих коацерватах входящие в их состав вещества вступали в дальнейшие химические реакции, при этом происходило поглощение коацерватами ионов металлов и образование ферментов. Следующий шаг – образование молекул жиров (липидов), которые за счёт прибавления к ним новых молекул приводили к образованию примитивной клеточной мембраны, обеспечивающей коацерватам стабильность. В результате включения в коацерват молекулы извне появлялась способность к самовоспроизведению и внутренней перестройке покрытого липидной оболочкой коацервата, из которого могла возникнуть примитивная клетка. Увеличение размеров коацерватов и их фрагментация, возможно, вели к образованию идентичных коацерватов, которые могли поглощать больше компонентов среды, так что этот процесс мог продолжаться.

Такая продолжительная последовательность событий должна была привести к возникновению примитивного самовоспроизводящегося гетеротрофно-

го организма, питавшегося органическими веществами первичного "бульона". Отбор как основная причина совершенствования коацерватов и превращения их в первичные живые существа – центральное положение теории Опарина. Эта теория завоевала широкое признание, но она оставляет нерешёнными проблемы, связанные с переходом от сложных органических веществ к простым живым организмам.

Хотя эту гипотезу происхождения признают очень многие учёные, астроном Фред Хойл недавно высказал мнение, что мысль о возникновении живого в результате описанных выше случайных взаимодействий молекул "столь же нелепа и неправдоподобна, как утверждение, что ураган, пронёсшийся над местной свалкой, может привести к сборке Боинга-747". Самое трудное для этой теории - объяснить появление способности живых систем к самовоспроизведению. Гипотезы по этому вопросу пока *малоубедительны*. Существенным недостатком теории академика А.И. Опарина, является то, что она не опирается на современную молекулярную биологию. Механизм передачи наследственных признаков, и в частности роль ДНК, стал в известной степени ясным только сравнительно недавно. Как произошёл качественный скачок от неживого к живому, теория А.И. Опарина совершенно не объясняет.

2. Эволюционная теория происхождения видов

Вначале приведём основные термины, которые будут использоваться в лекции [1].

Фенотип- совокупность признаков, обуславливающих внешний вид организма.

Филогенез – процесс исторического развития мира организмов, их видов, родов, семейств, царств. Термин ввёл Э.Геккель.

Популяция – совокупность особей одного вида, занимающая определённое пространство и воспроизводящая себя в течение большого числа поколений.

Онтогенез – ход индивидуального развития организма.

Таксон –

Генофонд – совокупность генов у особей данной популяции или вида.

Теория происхождения человека тесно связана с эволюционной теорией Ч. Дарвина. Сама идея эволюции зародилась в естествознании гораздо раньше Ч. Дарвина, также как и представления о роли изменчивости и отбора в становлении новых форм животных и растений. Заслуга Дарвина состоит в том, что он показал, как она может происходить.

Основные принципы эволюционного учения Ч. Дарвина сводятся к следующим положениям:

1. Каждый вид способен к неограниченному размножению.

2. Ограниченность жизненных ресурсов препятствует реализации потенциальной возможности беспредельного размножения. Большая часть особей гибнет в борьбе за существование и не оставляет потомства.

3. Гибель или успех в борьбе за существование носят избирательный характер. В природе преимущественно выживают и оставляют потомство те особи, которые имеют наиболее удачное для данных условий сочетание признаков, т.е. лучше приспособлены. Избирательное выживание и размножение наиболее приспособленных организмов Дарвин назвал естественным отбором.

4. Под действием естественного отбора, происходящего в разных условиях, происходит изменчивость приспособительных признаков, которая передаётся по наследству; эти приспособительные признаки накапливаются. Группы особей приобретают настолько существенные отличия, что превращаются в новые виды.

Согласно приведённым положениям должны были существовать переходные формы от одного вида к другому. Однако ни при жизни Дарвина, ни после они не были найдены. Мутации, как выяснилось уже в XX веке, не улучшают свойства организмов, а ухудшают.

В настоящее время эволюционизм – это не только дарвинизм в изначальном его виде, а многогранное комплексное учение, получившее название синтетической теории эволюции (СТЭ): синтез дарвиновской концепции естественного отбора с генетикой, экологией и молекулярной биологией. Термин «*Эволюция*» был впервые введён в биологический лексикон швейцарским эмбриологом Ш. Боннэ в 1762 г.

В синтетической теории эволюции рассматривается три типа изменчивости:

1) наследственная или генотипическая (Дарвин определял её как неопределённую).

2) ненаследственная или модификационная (по Дарвину определённая). Она отражает изменения фенотипа, а не генотипа под влиянием условий внешней среды.

3) онтогенетическая, отражающая изменения в ходе индивидуального развития организма или отдельных клеток в процессе их дифференцировки.

С каким же видом изменчивости имеет дело естественный отбор?

В отличие от Дарвина, который полагал, что эволюционируют виды, в СТЭ важны два момента:

1) Признание в качестве элементарной единицы эволюции не организма и даже не вида (дарвиновская концепция) а местной (локальной) популяции. Тогда можно выделить следующие уровни организации живой материи по мере усложнения: молекулярно-генетический, онтогенетический, популяционный и биосферный.

2) Выделение двух типов эволюции: *микроэволюции* и *макроэволюции*. Оба термина были введены отечественным генетиком Ю. А. Филипченко в 1927 году. Существенный вклад в это первоначальное истолкование дал Н. В. Тимофеев-Ресовский (1938 г.). Он предположил рассматривать микроэволюцию как совокупность эволюционных процессов, протекающих в популяциях, приводящих к изменению их генофондов и образованию новых видов.

Макроэволюция: эволюционные преобразования, приводящие к формированию таксонов надвидового уровня и протекающие за длительный исторический период. Микроэволюция доступна непосредственному изучению. В макроэволюции проявляются общие закономерности филогенеза, то есть последовательности развития органического мира и родственных (генеалогических) связей между таксонами.

Для этого ещё со времён Дарвина использовались традиционные методы сравнительно-морфологического, эмбриологического и палеонтологического анализов, позволяющих реконструировать общий план эволюции живого мира. Но подлинная революция в изучении филогенеза произошла на молекулярно-генетическом уровне. Стали использоваться «молекулярные документы эволюции» по выражению американских биохимиков Цукеркандле и Л. Полинга (1962 г.): белки, нуклеотиды и макромолекулы, изъятые из ныне живущих организмов и экстрагируемые из геологических слоёв залегания ископаемых форм (хемофоссилий). На стыке систематики и биохимии нуклеиновых кислот и белков зародилась геносистематика.

На основе исследований было показано, что отбор, а значит и сама эволюция развёртывается только на уровне фенотипов, т. е. живых, целостных организмов, находящихся между собой и с окружающей средой в сложных взаимоотношениях.

3. Альтернативные концепции образования новых видов

Существуют альтернативные концепции образования новых видов. Одним из таких учений является *сальтационизм*. Он характеризуется следующими особенностями: 1) скачкообразный ход эволюции, когда видообразование проис-

ходит очень быстро, в течение нескольких поколений и 2) образование новых видов происходит вне действия естественного отбора.

С конца 1980 года сальтационизм усиленно развивался В. Н. Стегнием. При таком подходе изменения в ориентации хромосом приводят к физиологическим изменениям и репродуктивной изоляции новых форм от исходного вида. Изоляция новых форм создаёт сложность в выборе полового партнёра.

Другой концепцией является рассмотренная выше теория панспермии. В настоящее время успехи палеонтологии, казалось бы, непосредственно не связанной с рассматриваемым вопросом, способствуют этой теории. Исследования А.Ю. Розанова (директора института палеонтологии в Москве) с сотрудниками, а также соответствующего института в США дали много информации, не стыкующейся с прежними положениями в науке. В настоящее время в древних породах найдены многие организмы, хорошо сохранившиеся. Найдены и идентифицированы сложнейшие организмы - цианобактерии, возраст которых составляет 3,5 млрд. лет. Они могут существовать только в кислородной атмосфере. Тогда это противоречит фактам, которыми обосновывали невозможность присутствия кислорода 3,5 млрд. лет назад. До сих пор полагали, что в это время на Земле была бескислородная атмосфера, и средние температуры по планете были 60 градусов выше нуля. Казалось, что там выжить ничего не может. Однако была климатическая дифференциация. Значит можно представить себе, что какие-то организмы в отдельных оазисах развивались и могли продвинуться в своём развитии. А.И. Розанов предполагает, что сначала была прокариотная биосфера до определенного момента, потом была некая промежуточная биосфера, когда появлялись эвкарियोты, но они не были доминантами, и потом сформировалась нормальная уже эвкаритическая биосфера, с которой мы сталкиваемся и сегодня. Количество кислорода в атмосфере с момента появления настоящей эвкаритической биосферы было тем же, что и сегодня. А это 500 миллионов лет назад. Бактерии играют огромную роль во всех геологических процессах. Открыто существование ископаемых бактерий в метеоритах. Но это только косвенным образом может подтвердить теорию панспермии, потому что пока не найдено ни одной живой бактерии. Получается, что эвкарियोты существовали уже 2,7 миллиарда лет. Вероятно, будет доказано и более раннее их появление. Но это очень сильно меняет эволюционную теорию, хотя направление эволюции неизменно; она необратима, это доказывается наукой.

В настоящее время в биологии выделяют 5 царств и 3 иерархических уровня организации живых организмов:

низший уровень - прокариоты (царство Monera) – это организмы, не имеющие ядра;

эукариоты – одноклеточные организмы с ядром (царство Protista);

высший уровень организации живых организмов, включающий три царства – растения (царство Plantae), грибы (царство Fungi); и животные (царство Animalia), различающиеся различными видами питания.

4. Сохранение жизни на планете.

В заключение лекции будет рассмотрен вопрос, касающийся сохранения существующей жизни на планете во всём её разнообразии. Во второй лекции мы рассмотрели основные экологические проблемы и способы их разрешения. Сейчас мы уже можем рассмотреть экологические проблемы более глубоко на основе взаимосвязи биотических и абиотических процессов.

Экосистема – экологическая система – совокупность совместно обитающих организмов и условий их существования, находящихся в закономерной взаимосвязи друг с другом и образующих систему взаимообусловленных биотических и абиотических явлений и процессов.

Термин “экосистема” предложен А.Тенсли (1935 г.), который считал, что экосистемы, с точки зрения эколога, представляют собой основные природные единицы на поверхности земли, в которые входит не только комплекс организмов, но и весь комплекс физических факторов, образующих то, что мы называем средой биома (факторы местообитания в самом широком смысле). Тенсли считал, что для экосистемы характерен “разного рода обмен веществ не только между организмами, но и между органическим и неорганическим”.

Понятие “экосистема” относится к объектам разной сложности и размеров. Можно выделить экосистему пруда или озера в целом и в то же время различать экосистему прибрежных зарослей водных растений или донной области. Массив леса – экосистема, в пределах которой находятся экосистемы почв разного типа, экосистема гниющего пня и т.д. Геолог и писатель И.Ефремов писал, что экосистема – это всё “от кочки до оболочки”. Чаще под экосистемой понимают совокупность организмов и неживых компонентов среды их обитания, при взаимодействии которых происходит более или менее полный биотический круговорот с участием продуцентов, консументов и редуцентов.

1 *Продуценты* – автотрофные организмы, создающие с помощью фотосинтеза или хемосинтеза органические вещества из неорганических. Основные продуценты в водных и наземных экосистемах – зелёные растения. Продуценты составляют первый трофический уровень в экосистеме (основание экологической пирамиды).

2. *Консументы* – животные, питающиеся фитопланктоном (консументы первого уровня), и хищники (консументы второго уровня).

3. *Редуценты* (деструкторы) питаются мёртвым органическим веществом (или экскрементами животных), подвергаящие его минерализации (деструкции), т.е. разрушающие органическое вещество до простых неорганических соединений. Это сапрофиты; бактерии, грибы и некоторые животные (дождевые черви), входящие в детритную трофическую цепь.

Редуценты – деструкторы и консументы являются гетеротрофными организмами.

Термин “экосистема” приложим и к искусственным экосистемам (сельскохозяйственные угодья, сады, парки, сооружения биологической очистки воды, аквариум, космический корабль и пр.). Экосистемы могут быть высоко устойчивыми или кратковременными. Они различаются видовым составом, численностью организмов, биомассой, соотношением отдельных трофических групп, интенсивностью процессов продуцирования и деструкции органического вещества. Экосистемы пространственно более или менее разграничены и в отношении процессов круговорота также более или менее автономны. Все реальные экосистемы принадлежат к открытым системам. Их существование возможно лишь при притоке из окружающей среды не только энергии, но и вещества. Термин “биогеноценоз” (1940 г., Сукачёв) часто употребляют в том смысле, который придаётся термину “экосистема”. Однако понятие “экосистема” шире, оно включает и искусственные системы.

В связи с остротой экологических проблем с середины XX века широко развернулись исследования по количественной оценке функциональных особенностей экосистем. Для понимания структуры, продуктивности устойчивости экосистем важно изучение трофических связей, через которые осуществляются процессы биологической трансформации вещества и энергии. Количественное определение интенсивности и эффективности этих процессов с помощью, например, математического моделирования – необходимая основа решения актуальных вопросов рационального использования биологических ресурсов природы и сохранения среды обитания человека.

Лекция 21

Генетика

Генетика – наука, о законах наследственности и изменчивости организмов и методах управления ими. Название науки «генетика» предложил в 1906 году английский генетик У. Бэтсон. Остановимся на основных терминах, которые будут использоваться в дальнейшем. Термины ген, генотип, аллель, фенотип введены в 1909 году датским генетиком В. Иогансеном [1].

Ген-единица наследственной информации, передающейся от родителей к потомкам. Структурно это участок молекулы дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК), кодирующий синтез одной макромолекулы или выполняющий какую-то другую функцию.

Аллель- форма гена. Аллели могут быть различными. Причём, особь, в которой все аллели данного гена одинаковы, называется гомозиготой. А особь, в которой все аллели данного гена отличаются, называется гетерозиготой. Аллель, проявляющийся в гомозиготе, называется рецессивным. А аллель, проявляющийся в гетерозиготе, называется доминантным.

Термин «*геном*» был введён в 1920 году немецким ботаником Г. Винклером.

Геном - совокупность генов, содержащихся в одинарном (гаплоидном) наборе хромосом в организме. Это характеристика вида, а не особи.

Хромосомы - структурные элементы ядра, содержащие гены. Клетки человека содержат 23 пары хромосом.

Генотип – совокупность всех наследственных задатков данной клетки или организма (т.е. отдельной особи), включая аллели генов, характер их физического сцепления в хромосомах и наличие хромосомных перестроек. Это характеристика особи.

Фенотип- совокупность признаков, обуславливающих внешний вид организма.

Генофонд - совокупность генов у особей данной популяции или вида; ввёл термин Серебровский А. С. в 1928 году. Важнейшей особенностью генофонда является его глубокая дифференцированность, неоднородность.

Основы генетики заложены Г. Менделем, открывшим законы дискретной наследственности в 1865 г. и школой Т. Моргана, основавшей хромосомную теорию наследственности (1910-е г.г.).

Среди многообразия химических веществ, из которых построены живые организмы, особое место занимают два типа биологических полимеров – белки и нуклеиновые кислоты. Они построены из большого числа небольших органи-

ческих молекул – мономеров. Соотношение мономеров разное. Белки состоят из аминокислот, число которых равно 20. Из двадцати аминокислот можно построить $20^{100} = 10^{130}$, что больше числа атомных ядер во всей доступной наблюдению части Вселенной ($= 10^{80}$). Определённые, характерные для данного организма белки не могут возникать случайно. При биосинтезе в организме должна существовать управляющая система, содержащая информацию о том, какие именно последовательности аминокислот нужно собирать в данном организме. Первичным материальным носителем такой информации является дезоксирибонуклеиновая кислота. Важнейшей группой белков являются ферменты, которые катализируют в живых организмах разнообразные химические реакции.

Нуклеиновые кислоты были открыты в 1869 г. швейцарским учёным Иоганном Мишером. Нуклеиновые кислоты были найдены в клетках всех организмов, начиная от простейших и кончая высшими. Химический состав, структура и основные свойства этих веществ оказались сходными у разнообразных живых организмов. Однако бурное развитие нуклеиновых кислот произошло в 50-е годы XX века, когда были открыты две основные кислоты: дезоксирибонуклеиновая (ДНК) и рибонуклеиновая (РНК). С их открытия началась эра молекулярной биологии. Нуклеиновые кислоты состоят из 4-х нуклеотидов. Тимин (Т), цитозин (С), аденин (А) и гуанин (G) – составляющие ДНК и цитозин, аденин, гуанин и урацил (U) – составляющие РНК. Нуклеотиды состоят из трёх компонентов: азотистого основания, углевода и остатка фосфорной кислоты. Порядок расположения нуклеотидов очень важен. Последовательность нуклеотидов в цепи – это чертёж для создания новых молекул ДНК.

Ген – единица наследственного материала, представляющего собой участок ДНК (у некоторых вирусов РНК) со специальным набором нуклеотидов, в линейной последовательности которых закодирована генетическая (наследственная) информация. Постулировал образование в клетке структур наследственных элементов Г. Мендель в 1865 г. Ген ответственен за синтез белков. Уникальное свойство гена – устойчивость в сочетании со способностью к мутациям.

Отметим, что в 20-30-е годы XX в. большую роль в развитии генетики сыграли работы Н.И. Вавилова, Н.К. Кольцова, С.С. Четверикова, А.С. Серебровского и других русских учёных. Н.К. Кольцову принадлежат две основополагающих идеи: идея матричного синтеза и идея о гене-макромолекуле. И хотя Кольцов думал, что это белок, а не нуклеиновая кислота, сама идея макромолекулы – гена оказалась абсолютно верной. Его ученик Н.В. Тимофеев-Ресовский,

работая в Германии, заинтересовал биологией М. Дельбрука. Дельбрук был учителем Дж. Уотсона. Работа Дж. Уотсона и Ф. Крика была выполнена в лаборатории М. Перуца [16]. Крик уже ранее сделал великолепную работу по рентгеноструктурному анализу спиральных структур. Когда он увидел рентгенограмму ДНК, сделанную Розалиндой Франклин, то сразу опознал на ней присутствие спиральной структуры. Итогом совместной напряжённой работы Ф. Крика и Дж. Уотсона стала двойная спираль ДНК в 1953 г. и Нобелевская премия 1962 г. Пространственная структура ДНК оказалась построенной из двух комплементарных цепей. Цепи спирали антипараллельны, то есть одна спираль идёт сверху вниз, другая – снизу вверх. Это важная особенность структуры. Углеводно-фосфатный скелет формирует наружные стороны спирали, а азотистые основания, которые составляют «сердцевину» ДНК, находятся внутри. Они защищены от всяких вредных воздействий: наследственный материал должен оставаться неизменным – это основное, что от него требуется. Надо подчеркнуть, что хотя двойная спираль стала символом новой молекулярной биологии, на самом деле главное всё-таки не её спиральная структура, а то, что это – двухцепочечная молекула, построенная за счёт комплементарных оснований. Этим объясняются биологические функции ДНК. Э. Чаргафф делает основополагающее наблюдение, которое известно как правило Чаргаффа. Оно заключается в том, что в ДНК аденин по содержанию равен тимину ($A=T$), а гуанин по молярному проценту равен цитозину ($G=C$). Это правило объяснила только двойная спираль.

Г. Гамов рассчитал, что для кодирования одной аминокислоты требуется минимум 3 нуклеотида ДНК. Из 4-х нуклеотидов получится 64 сочетания по 3, что создаёт избыточную возможность кодирования аминокислот. Сборкой же ДНК не занимается. Для этого существует РНК. Суть новой молекулярной биологии заключается предельно сжато в следующем: всё начинается с ДНК и заканчивается белком. Между ДНК и белком находится рибонуклеиновая кислота, которая является переносчиком генетической информации от ДНК к белкам. *Различают три типа РНК: транспортную или Т-РНК, матричную или М-РНК и информационную РНК.* Первый этап передачи генетической информации: синтез молекул РНК на ДНК. Он носит название транскрипции. Второй этап передачи генетической информации: на РНК строится аминокислотная последовательность (белок). Он носит название трансляции.

ДНК обеспечивает репликацию, то есть удвоение. Без удвоения ДНК клетки не могут сохранить свою наследственную информацию, дети не могут походить на родителей. Как же размножается находящаяся в хромосоме ДНК? Двойная спираль расходится и по каждой из нитей достраивается комплементарная спираль.

тарная нить. Двойная спираль объяснила, как образуются две дочерние двухспиральные структуры. На каждой из двух нитей синтез идёт с помощью разных механизмов. В одном случае это непрерывная нить, в другом – прерывистая. Много ферментов обслуживают этот процесс. Одни расплетают ДНК, другие – вносят разрывы, третьи – обеспечивают синтез дочерней комплементарной цепи. В процессе синтеза ДНК участвует более 20 белков. Двойная спираль ДНК наматывается на особые частицы – нуклеосомы, состоящие из белков. Происходит компактизация ДНК. Дальше генетическая информация переносится от РНК в особые частицы, рибосомы, где реализуется биосинтез белков. ДНК имеет множество конформаций. В-форма – основная биологически важная форма ДНК. Диаметр спирали ДНК около 20 ангстрем (1 ангстрем равен 10^{-8} см). Наклон к оси спирали составляет 70° для А-формы и 90° – для В-формы. Все живые организмы разделяют на две группы по типу организации ДНК: прокариоты и эукариоты. У прокариот ДНК – двухнитевая структура, как правило, свёрнутая в кольцо. К ним относятся бактерии. Эукариоты имеют клеточное ядро, в хромосомах которого сосредоточена большая часть ДНК. К эукариотам относятся дрожжи, инфузории, все многоклеточные, в том числе человек.

В настоящее время исследования молекулярной биологии основаны на изучении ДНК как последовательности нуклеотидов. В феврале 2001 г. был опубликован грубый вариант структуры генома человека. В нём непрерывность ДНК была нарушена 150 тысяч раз. Однако в 2003 году черновик генома был переписан набело. Расшифрованы даже индивидуальные геномы, в частности самого Уотсона. Что же теперь можно сказать о геноме человека? В нём не меньше 35 тысяч генов, которые кодируют или белки, или РНК. И самое поразительное, что большая часть ДНК не кодирует гены. Менее 5% ДНК кодирует гены, а основная масса непонятно, что кодирует. Здесь – поле будущих исследований.

Благодаря расшифровке генома возникли две новые науки: геномика, изучающая геномы, и протеомика, изучающая клеточные белки. Вначале полагали, что один ген – это один белок. Теперь появилась новая догма: один ген – много белков. Оказалось, что существует специальный механизм, который из одного гена делает много белков. Уже сейчас наука умеет идентифицировать личность человека, что имеет громадное прикладное значение. А впереди новая эра – эра геномики для медицины и здравоохранения.

Лекция 22

Биоэтика и поведение человека.

Биоэтика- наука ... возникла и стала интенсивно развиваться в начале 70^х годов в США и Западной Европе.

Биоэтика – сложные поведенческие программы, присущие животному миру. Её следует рассматривать как естественное обоснование человеческой морали. Многие человеческие черты генетически обусловлены и только часть обусловлена воспитанием, образованием и другими факторами внешней среды. Суть эволюции – процесс передачи генов от поколения к поколению. Все человеческие действия – это поведение человека.

Гипотеза биоэтики – поведение человека в значительной степени биологично. Верна ли она? Рождается ли человек аморальным и только воспитание прививает ему некие принципы или же человек появляется с набором врожденных чувств и представлений о том, что хорошо и плохо, а воспитание их только развивает и направляет? Мораль, утверждают этологи (*изучают животных*), не чужда животным в том смысле, что у животных большой набор инстинктивных запретов, необходимых и полезных в общении с сородичами. Такими запретами являются следующие:

1. Не убей своего.
2. Нельзя нападать неожиданно и сзади, без предупреждения и без проверки, нельзя ли разрешить возникший конфликт без схватки.
3. Не применять смертоносное оружие или убийственный приём в драке со своими.
4. Не бить того, кто принял позу покорности.
5. Побеждает тот, кто прав. Защищающий свою территорию, нору, самку, детёнышей почти всегда выигрывает.

Сторонники этологической трактовки социальных явлений (К.Лоренц, Ардри, Дж. Скотт) считают, что если человек произошел от животного мира, то он должен обладать и всеми свойствами, которые присущи животным, включая и биологическую основу мотивации его агрессивного поведения. Возникшая недавно социобиология именно это и утверждает: в основе всех форм социального поведения человека лежат врожденные структуры, которые характерны для всех представителей животного мира.

Другие исследователи полагают, что человек далеко ушел от животного мира (Холигер В.), а, следовательно, распространять закономерности последнего на человеческое поведение, с научной точки зрения, бесперспективно.

Очевидно, диалектический подход к изучению поведения человека, исходя из двойственной его природы, должен включать как преемственное, так и полученное только в обществе.

Древняя китайская мудрость гласит, не все люди есть в зверях, но все звери есть в людях.

Наши соотечественники Бутковская и Файнберг делали параллели между властью в человеческом обществе и иерархией в сообществах высших животных.

Там, где существует возможность сохранения и передачи индивидуальных генов, преобладают эгоистические формы поведения; в тех же обстоятельствах, где попытка каждой особи сохранить индивидуальные гены ставит под угрозу существование всей группы, срабатывают альтруистические поведенческие реакции (конечно, эгоизм и альтруизм не имеют здесь всего набора смыслов, обусловленных развитием человеческой культуры).

На эти полюсообразные типовые реакции накладываются коммуникативные ритуалы, в которых и обнаруживается иерархия особей и, прежде всего, отношение господства и подчинения (наиболее сильные и смелые, умные становятся вожаками; существует устойчивая конкуренция за безусловное лидерство).

Одно из универсальных правил биологии – для множества элементов системы характерны асимметрия взаимодействий и взаимоотношений. В то же время на самых разных уровнях интеграции – от биохимических систем до сложных социальных взаимодействий – обнаруживается взаимная синхронизация поведения, т.е. целостность системы требует устойчивости и повторяемости отношений между составляющими её элементами. Отсюда вытекает необходимость регулятивных механизмов, использующих «нормы» поведения и иерархию организации (она устраняет конкуренцию отдельных видов поведения, чтобы сохранить целостность и порядок системы).

Значит, главный вывод, который делает биоэтика, заключается в том, что в нашем поведении, помимо действий, порождённых разумом, есть действия, мотивированные древними врождёнными программами, доставшимися нам от животных предков.

Иерархия потребностей А.Маслоу, ведущего психолога США[1]:

Осознание самого себя

Сознание собственного достоинства

Социальные потребности

Потребности в надёжности

Физиологические основные потребности?

Если человек достиг уровня самоактуализации, то у него высшие потребности начинают доминировать над низменными. В начале пути, если у человека нет хлеба, то он будет жить только для того, чтобы этот хлеб раздобыть. Когда же он осознал своё предназначение в мире, то он может обходиться минимумом воды и хлеба.

Для самоактуализации необходимо добиваться поставленных целей, понять своё место в жизни и следовать божественной предначертанности. Самоактуализация – высший показатель возможностей духа и полное использование возможностей человека. Творческая работа человека над самим собой – главный механизм удовлетворения данной потребности.

В то же время как космическое создание природы человек в принципе не может реализовать себя в полной мере. Отсюда неудовлетворенность жизнью, которая побуждает человека к творческой деятельности. А для чего их (?) развивать и для какой цели? Это и есть один из основных вопросов философии.

Ещё И. Кант заметил, что философия должна ответить на 2 вопроса: «Кто мы такие?» и «Куда мы идём?». Проблема смысла и цели человеческого бытия, жизни и смерти – центральная проблема философии.

Мысли о неизбежности смерти невыносимы, но философы не без основания считают, что вечная жизнь была бы для человека проклятием и вечной мукой.

Живая природа устроена так, что жизнь питается жизнью, т.е. поддерживается смертью (поверхностные клетки кожи – мертвые, они сами мертвеют, а затем сбрасываются кожей, им на смену приходят другие и др.).

Сугубо разное отношение к этим вопросам у материалистов и христиан. Для первых душа = «психика», для вторых – нечто данное свыше.

Если биоэтику трактовать не узко (медицински и биологически), а как широкую и философски глубокую дисциплину, то её центральное ядро – отношение к жизни и смерти. Жизнь понимается в ней как самоценность.

Можно сказать, что биоэтика – это форма защиты прав человека, в том числе его права на жизнь, на здоровье, на свободное самоопределение своей жизни.

Она не только включит в себя этические нормы отношения к животным, но и экологическую этику, этику отношений человека со всей биосферой.

Общественный смысл биоэтики заключается в том, что она является конкретным проявлением гуманизма в медицине.

Мы находимся в самом начале пути по развитию биоэтики, хотя в США уже издана пятитомная энциклопедия по данным вопросам.

Основные постулаты биоэтики

1. Единство науки и гуманистических ценностей.
2. Необходимость ставить гуманистические цели выше исследовательских.
3. Регулирование научных исследований, включая и запреты на некоторые виды экспериментов, связанных с участием человека (например, проблемы эвтаназии, трансплантации органов).
4. Разработка правил биомедицинских работ с учетом прав личности, включая юридические нормы.

Биоэтика должна основываться на гуманизме, и лишь в таком виде она может быть приемлема. И она становится поиском путей к созданию глобальной этики человечества в будущем.

Список литературы

1. В.И. Кузнецов, Г.М. Идлис, В.Н. Гутина. Естествознание. М.: Агар, 1996- с.
2. М. Холл. Энциклопедическое изложение масонской, Герметической, кабалистической и розенкрейцеровской символической философии., т.1, Н-ск: Наука, с. 215-248.
3. В.А. Соломатин. История и концепции современного естествознания. М., 2002
4. А. Эйнштейн, Л. Инфельд. Эволюция физики, М.: Наука, 1965
5. Дж. Бернал. Науки и история общества.
6. Т.Я. Дубнищева. Концепции современного естествознания. Н-ск: Юкэа, 1997, 831 с.
7. С.И. Самыгин, В.О. Голубинцев, В.С. Любченко, Л.А. Минасян. Концепции современного естествознания. Экзаменационные ответы. Ростов-на-Дону: Феникс, 2001-319 с.
8. Физический энциклопедический словарь. М.: Сов. Энциклопедия, 1984
9. Бухбиндер И.Л. Фундаментальные взаимодействия. Соросовский образовательный журнал, №5, 1997; victorpetrov.ru/iosif-buxbinder-fundamentalnye-vzaimodejstviya.html (28.08.2012).
10. В.Г. Горохов. Концепции современного естествознания. М.: Инфра-М, 2003
11. А.А. Горелов. Концепции современного естествознания. М.: Владос, 1999.
12. Энциклопедический словарь. М.: Сов. Энциклопедия, 1981.

13. А. Никонов. Верхом на бомбе. Судьба планеты Земля и её обитателей.
14. В.И. Вернадский. Живое вещество. М.: Наука, 1978-353 с.; Проблемы биогеохимии. М.: Наука, 1980-320 с.
15. В.С. Арутюнов, Л.Н. Стрекова. Ступени эволюции. М.: Наука, 2006-347 с.
16. Д. Уотсон. Вестник РАН, 2003-т.73

Лекция 23

Интеграция естественных и гуманитарных наук

Отношения между естественными науками и науками о человеке понимались по-разному на различных этапах истории научного познания. Сегодня можно говорить о новом типе интеграции естественных и гуманитарных наук. Речь не идёт о возникновении некоей единой науки, о которой мечтали логические позитивисты. Всегда будут существовать серьёзные различия не только между этими науками, но также и внутри первых (например, между физикой и геологией), и внутри вторых (например, между социологией и историей). Процесс дифференциации научного знания будет продолжаться, будут возникать новые научные дисциплины. Когда речь идёт об интеграции, имеется в виду только одно: принципиальное единство исследовательских методов. Но как раз по этому вопросу и сегодня существуют большие разногласия.

С одной стороны, попытки научного исследования человека и социальных отношений были связаны с имитацией методов и идей естествознания. Вильгельм Вундт в конце XIX века пытался перенести методы физики и биологии в экспериментальную психологию. Основатель социологии О. Конт ввёл понятие “социальной статики” и “социальной динамики” по аналогии с механикой. Социолог Эмиль Дюркгейм опирался на биологию.

С другой стороны, есть даже мнение о том, что науки о человеке (гуманитарные науки) и социальные не являются науками в строгом смысле слова, а, следовательно, существуют принципиальные различия между гуманитарными науками и науками о природе.

Основные тезисы сторонников этой точки зрения и их современное понимание:

1. *Естественные науки пытаются обнаружить общие зависимости, науки о человеке исследуют уникальные индивидуальные явления.* Эта идея была сформулирована Г.Риккертом ещё в начале XX в. и популярна до сих пор, особенно среди историков.

Однако нельзя противопоставлять исследования уникальных событий и формулировку обобщений. Об отдельном событии вообще нельзя ничего сказать, если не использовать общие понятия и не учитывать систему общих отношений. Если во времена Г.Риккерта историки изучали деятельность отдельных личностей, то сегодня исследуют исторические ситуации, опираясь на социальную стратификацию, экономические отношения в определённом регионе в определённом времени, используя математическую статистику и другие общие

методы. С другой стороны, многие естествоиспытатели изучают тоже не отдельные явления, а общие системы (Вселенная, всемирная экологическая система) на основе идеи об историческом характере самих природных законов (идея глобального эволюционизма).

2. Науки о природе дают объяснения фактов, науки о человеке могут дать только интерпретацию человеческих действий, их понимание.

Верно, что в обычных ситуациях, когда человек имеет дело с людьми, принадлежащими к его собственной культуре, к его социальному окружению, процедуры объяснения и понимания представляются существенно различными. Не так уж сложно понять другого человека, но не просто объяснить необычное явление. На основании этого различия сформулирована концепция историка и философа Вильгельма Дильтея (1833-1911).

Однако в действительности различие между науками о природе и человеке в этом отношении не столь уж резко. Ведь если социолог (антрополог, историк и др.) пытается понять другое общество, иную культуру или более ранние стадии собственной культуры, процедура понимания может оказаться не простой. Так как в этом случае правила действий, мотивы агентов и их представления ситуации заранее не известны исследователю – он должен их реконструировать. А значит он вынужден делать гипотезы относительно смысла исследуемых действий, а далее проверять их. При подобном подходе понимание можно рассматривать как разновидность объяснений.

Объяснения в естествознании – это попытки обнаружения причин и причинных механизмов. В науках о человеке учёный пытается не только найти причины событий, но и обнаружить мотивы действий. Однако, мотивы можно рассматривать как особый тип причин.

3. Естественные науки могут предсказывать будущие события, поэтому их используют для создания разного рода технических устройств. Науки о человеке не предсказывают будущие события. Их единственная задача – обеспечить понимание.

Однако в действительности предсказание природных явлений - непростая задача. В некоторых случаях оно просто невозможно. Легко делать предсказания (на основании законов), если мы имеем дело с закрытыми системами и с ограниченным количеством факторов в процессе (лабораторные условия, движение планет в Солнечной системе). В открытых системах в точке их бифуркации точное предсказание становится невозможным. Однако, когда событие произошло, и становятся известны все факты, поведение системы в прошлом может быть объяснено.

Но ведь ситуация в науках о человеке в принципе очень похожа. Невозможно предсказать большие социальные трансформации. Зато можно разрабатывать сценарии возможного будущего и объяснять события, которые уже произошли (историки этим и занимаются). Трудно предсказать поведение человека в необычных условиях. Однако если действия уже осуществлены, можно объяснить их, если мы знаем правила, которых придерживался человек; мотивы, повлиявшие на выбор, и оценку им ситуации. В обычных же условиях повседневной жизни можно предсказать поведение большой группы людей в той мере, в какой эти люди придерживаются правил взаимодействия. На этой основе и составляются прогнозы, разрабатываются социальные и гуманитарные технологии (в экономике, политике, образовании, психотерапии, психологии, тренинге и пр).

4. Объяснения в естествознании – не только эмпирические. Лучшие из них получают с помощью теории.

Однако в науках о человеке трудно делать обобщения, а ещё труднее строить теории, т. к. они изучают отдельные события, локализованные в определённом участке пространства и происходящие в определённое время. Существует даже мнение, что в науках о человеке теория невозможна.

Верно, что регулярности в человеческих действиях не всегда являются постоянными. Что они имеют локальные черты и культурно и исторически обусловлены. Но человеческие действия производят и воспроизводят социальные структуры и в свою очередь сами ими обусловлены. Задача учёного в области наук о человеке – анализ этих структур. Решить её можно, только построив теорию. Так что законы (регулярности), если они будут открыты, то они не универсальны, а локальны. Тем не менее объяснение этих законов возможно только с помощью теории.

В то же время многие специалисты в области естествознания начинают рассматривать законы как исторические и изменяющиеся; иными словами, тоже как локальные.

5. Естествознание даёт объективное представление об исследуемой области реальности, и эта объективность проверяется с помощью эксперимента.

Эксперименты в науках о человеке не являются настоящими, т. к. в процессе их осуществления между экспериментатором и изучаемыми субъектами возникают коммуникативные отношения. Более того, исследуемые субъекты могут принять выводы исследователя относительно них, и это обстоятельство

изменит субъектов, т. е. изменит человеческую и социальную реальность. Поэтому нельзя говорить об объективном знании в науках о человеке.

Действительно, реальность, изучаемая в естествознании, не зависит от процесса исследования. Но при изучении конструируются различные концептуальные системы и используются разные искусственные приспособления, а иногда и искусственные условия в виде эксперимента. Сторонники разных теорий, концепций вступают между собой в коммуникативные отношения и в борьбу друг с другом. При этом социальные отношения не препятствуют получению объективного знания о природных явлениях. Именно такое развитие естествознания и плодотворно в смысле добытых знаний (плодотворных гипотез).

Но ситуация в науках о человеке похожа. Верно, что социальная реальность не существует вне человеческой деятельности. Но существует объективная социальная структура, которая обуславливает и саму деятельность.

Другое дело, что возникают такие ситуации, когда учёный в результате исследования рекомендует изменения социальных отношений (в социологии, экономической науке) или межличностных отношений (в социальной психологии). Но здесь выбор за людьми. Сам же процесс исследования никогда не может изменить изучаемую реальность.

Влияние же экспериментатора на результаты экспериментов с людьми предотвращается современными техниками.

Но ведь во многих случаях нельзя проводить эксперименты и со сложно-организованными природными системами (открытыми, нестабильными).

Таким образом, хотя в этом пункте и существуют различия между естественными науками и гуманитарными, но они не принципиальны.

Список литературы

1. В.И. Кузнецов, Г.М. Идлис, В.Н. Гутина. Естествознание. М.: Агар, 1996- с.
2. М. Холл. Энциклопедическое изложение масонской. Герметической, кабалистической и розенкрейцеровской символиккой философии., т.1, Н-ск: Наука, с. 215-248.
3. В.А. Соломатин. История и концепции современного естествознания.М., 2002
4. А. Эйнштейн, Л. Инфельд. Эволюция физики, М.: Наука, 1965
5. Дж. Бернал. Науки и история общества.
6. Т.Я. Дубнищева. Концепции современного естествознания.Н-ск: Юкэа, 1997, 831 с.
7. С.И. Самыгин, В.О. Голубинцев, В.С. Любченко, Л.А. Минасян. Концепции современного естествознания. Экзаменационные ответы. Ростов-на-Дону:Феникс, 2001-319 с.
8. Физический энциклопедический словарь.
9. Бухбиндер И.Л. Фундаментальные взаимодействия. Соросовский образовательный журнал, №5, 1997; victorpetrov.ru/iosif-buxbinder-fundamentalnye-vzaimodejstviya.html (28.08.2012).
10. В.Г. Горохов. Концепции современного естествознания. М.: Инфра-М, 2003
11. А.А. Горелов. Концепции современного естествознания. М.: Владос, 1999.
12. Энциклопедический словарь.
13. А. Никонов. Верхом на бомбе. Судьба планеты Земля и её обитателей.
14. В.И. Вернадский. Живое вещество.М.: Наука, 1978-353 с.; Проблемы биогеохимии. М.: Наука, 1980-320 с.
15. В.С. Арутюнов, Л.Н. Стрекова. Ступени эволюции. М.: Наука, 2006-347 с.