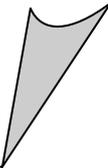


С.П. КУДРЯВЦЕВ

**ИСТОРИЯ И
МЕТОДОЛОГИЯ
ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ**

ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ



Министерство образования и науки Российской Федерации
ГОУ ВПО "Тамбовский государственный технический университет"

С.П. КУДРЯВЦЕВ

ИСТОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ ЕСТЕСТВО- ЗНАНИЯ

ЧАСТЬ I

Утверждено Ученым советом университета
в качестве учебного пособия



Тамбов
Издательство ТГТУ
2006

УДК 168.521(075)
ББК Б.г
К889

Рецензенты:

Доктор химических наук, профессор
кафедры физики ТГТУ
В.М. Поликарпов

Доктор физико-математических наук, профессор
заведующий кафедрой общей физики ТГУ им. Г.Р. Державина
В.А. Федоров

Кудрявцев, С.П.

К889 История и методология естествознания : учебное пособие / С.П. Кудрявцев. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. – Ч. 1. – 88 с. – Тираж 75 экз. – ISBN 5-8265-0507-9.

Включает разделы по истории физики, химии, астрономии, биологии, термодинамики. Приводятся биографические сведения из жизни основателей физической науки, прослеживается история физических лабораторий.

Предназначено магистрантам специальности "Стандартизация и сертификация" и студентам, изучающим курс "Концепции современного естествознания".

УДК 168.521(075)

ББК Б.г

ISBN 5-8265-0507-9

© Кудрявцев С.П., 2006

© ГОУ ВПО "Тамбовский государственный
технический университет" (ТГТУ), 2006

Учебное издание

КУДРЯВЦЕВ Сергей Павлович

ИСТОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ ЕСТЕСТВОЗНА- НИЯ

Часть I

Учебное пособие

Редактор Е.С. Мордасова

Компьютерное макетирование Е.В. Кораблевой

Подписано в печать 22.09.2006

Формат 60 × 84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.
5,0 уч.-изд. л. Тираж 75 экз. Заказ № 486

Издательско-полиграфический центр ТГТУ
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

ВВЕДЕНИЕ

Учебное пособие "История и методология естествознания" предназначено для магистрантов технических университетов. Важность такого курса очевидна. Соискатели ученой степени магистра должны быть широко образованными, культурными людьми. Они не должны замыкаться в рамках технической дисциплины, выбранной в качестве диссертационной работы, и иметь представление о развитии и становлении важнейших направлений естественных наук.

Естествознание – это система наук о природе. К естественным наукам относятся физика, химия, астрономия, биология, геология. В наше время естественные науки не являются независимыми, они связаны друг с другом. Так, биология стала применять физические методы исследования, в результате родилась новая естественная наука – биофизика. Квантовые представления, открытые в физике, проникли в химию. Появились такие дисциплины, как геофизика, биохимия, химическая физика и т.д.

Методы изучения естественных наук стали проникать в технические и гуманитарные науки. Телевидение, радио обязаны своим появлением открытию Максвелла-Герца. Электродвигатели – открытию Фарадеем электромагнитной индукции. Тепловые машины обязаны своим появлением Карно, Кельвину и Клаузиусу. В свою очередь техника дает науке новые мощные средства исследования природы. Прогресс в исследованиях электропроводности газов стал возможен после изобретения совершенных вакуумных насосов.

Естественные науки имеют дело с экспериментами. Всякие законы естественных наук, в частности, физики носят количественный характер. В связи с этим основу эксперимента составляют измерения. Только с помощью измерения можно установить связь, существующую между величинами, установить закон. Успехи естественных наук связаны с усовершенствованием техники измерения. Современные физические теории во многом обязаны своим появлением более совершенной технике измерения, технике эксперимента. Так, изобретение интерферометра Майкельсона позволило проводить точные измерения, которые привели к созданию теории относительности. Всякое измерение, всякий эксперимент проводится с точностью, характерной для данного этапа развития науки. Теории, появляющиеся на основе эксперимента, не могут быть абсолютными. Появление более точных методов измерений могут привести к появлению новых теорий, которые не отрицают старых, но устанавливают границы их применимости. Так, релятивистская механика не отрицает классическую механику Ньютона, а устанавливает границу ее применимости. Она справедлива для тел, движущихся со скоростями значительно меньшими, чем скорость света.

Важной особенностью методов исследования в естественных науках является то, что ученый при исследованиях имеет дело не с самим объектом, а с его моделью, с определенной точностью представляющей данный объект. Так, в тепловых исследованиях такой моделью может быть идеальный газ, в механических движениях – материальная точка, абсолютно упругий удар, идеальный колебательный контур и т.д. Результаты исследований подобной модели переносятся на реальные объекты, которые описывают поведение реальных тел с определенной степенью точности.

Знакомство с историей естествознания, с методами исследования естественных наук поможет молодому ученому в решении исследовательских задач. Изучение данного предмета способствует расширению кругозора исследователя, развитию общечеловеческой культуры. Нельзя считаться культурным человеком и не знать современных представлений о свете, волне, частице, об атоме, живой клетке, о Вселенной, не знать таких выдающихся мыслителей прошлого, как Аристотель, Архимед, Демокрит, Коперник, Галилей, Ньютон, Фарадей, Максвелл, Эйнштейн, Менделеев, Мендель.

Ввиду недостатка часов, отводимых на изложение этого предмета, наш обзор будет беглым. Наибольшее место в нашем изложении мы будем отводить физике – главной науке в системе наук естествознания. Методы ее исследований получили широкое распространение во всех естественных науках.

При написании данного пособия автор стремился избегать использования сложного математического аппарата.

1. ВОЗНИКНОВЕНИЕ НАУК

В древности человек получал знания о мире и накапливал их. У него возникли первые антропоморфные объяснения окружающих явлений. Остатки этих объяснений сохранились в нашем языке. Так, солнце у нас "встает", месяц "смотрит" и т.д. Другого способа понять природу, как уподоблять ее себе, живому существу, у первобытного человека не было. Из этого источника развивались и научные знания, и религиозные представления. Накопленные знания и практические навыки, передаваясь от поколения к поколению, образовывали первоначальный фон будущей науки.

Возникновение земледелия сыграло огромную роль в развитии общества. Там, где сложились условия для получения устойчивых урожаев на одном и том же месте, создавались поселения, города, а затем и государства.

Такие условия возникли в Северной Африке в долине Нила, в дельте, между реками Тигр и Евфрат, где уже в IV тысячелетии до н.э. складывались государства, ставшие колыбелью науки. Определение времени начала разлива Нила требовало тщательных астрономических наблюдений. Египтяне разработали календарь, состоящий из 12 месяцев по 30 дней и пяти дополнительных дней в году. Месяц был разделен на три десятидневки, сутки – на 24 часа.

Первой из естественных наук возникла астрономия. Для развития этой науки потребовалась математика. Строительная практика (сооружение пирамид) требовала хотя бы эмпирических знаний механики и статики. Итак, в древних государствах появились начатки математических знаний и, прежде всего, сформировалась идея числа и основные операции с числами. Здесь человек впервые описал небо, движение солнца, луны и планет,

создал основы измерения времени, заложил основы письменности. Но подлинной родиной современной науки стала древняя Греция. Здесь возникла теоретическая наука, родился научный метод.

Современная наука хорошо запомнила, кому она обязана своим рождением. Об этом свидетельствуют названия наук: математика, механика, физика, биология. Из греческого языка взяты научные термины (масса, атом, электрон, изотоп и т.д.). Имена таких греческих мыслителей, как Аристотель, Архимед, Фалес, Пифагор, Демокрит, Евклид сохранились в науке.

Вавилонская и египетская наука возникла из насущных потребностей практической жизни. В древней Греции человек стал заниматься наукой потому, что это интересно, ощутил "радость познания", как говорил Аристотель. Первые ученые стали называться философами.

Академия Платона и лицей Аристотеля были первыми научными учреждениями, предшественниками современной высшей школы. Постепенно в древней Греции появились специалисты более узкого профиля – инженеры, врачи, астрономы, математики. Появился Александрийский музей – предшественник современных научно-исследовательских институтов. Зародилась научная информация в виде научных сочинений, лекций и переписки ученых.

1.1. Пифагор

Замечательный древнегреческий ученый Пифагор (580 – 500 гг. до н.э.) основал школу, которая продолжила существование и после смерти ученого. Теорема Пифагора известна каждому школьнику. Пифагорейцы выдвинули пироцентрическую систему мира, в которой Земля, Солнце, Луна и планеты движутся вокруг центрального огня. У них Земля имеет шарообразную форму. Ученик школы Пифагора Аристарх Самосский (конец IV – первая половина III в. до н.э.) заменил центральный огонь Солнцем, построив, таким образом, первую модель гелиоцентрической системы мира, о которой Коперник, по-видимому, не знал.

Большой вклад пифагорейцы внесли в математику. Они подготовили создание планиметрии, заложили основание строгой формулировки доказательств, разработали учение о пропорциях.

Пифагорейцы приписывали числам мистические свойства и считали, что числа есть подлинная сущность всех вещей. Это учение, если отбросить мистику, содержало важную мысль: закономерности явлений природы нельзя установить без количественного, математического анализа.

1.2. Возникновение атомистики

Впервые концепция элементов, из которых построена вселенная была выдвинута Эмпедоклом (490 – 430 гг. до н.э.). Ему же принадлежит идея сохранения. "Ничто не может произойти из ничего, и никак не может то, что есть, уничтожиться". С этого принципа Эмпедокла и начинается история законов сохранения, играющих фундаментальную роль в современном естествознании.

Основателями атомистики были первые греческие ученые Левкипп и Демокрит (около 460 – 370 гг. до н.э.). Вот одни из принципов Демокрита:

- 1 Не существует ничего, кроме атомов и чистого пространства...
- 2 Атомы бесконечны по числу и бесконечно разнообразны по форме...
- 3 Различие между вещами происходит от различия их атомов в числе, величине, форме и порядке; качественного различия между атомами не существует...". Движущиеся в пустом бесконечном пространстве атомы, сталкиваясь друг с другом, производят все вещи и бесчисленные миры. Пустое бесконечное пространство Демокрита – это совершенно новый элемент картины мира, и его появление вызвано успехами геометрии. Успехи геометрии шаг за шагом формировали представления о пустом пространстве, лишенном каких-либо чувственно осязаемых свойств. Линии, поверхности, геометрические тела становились абстрактными образами, чистой формой. Пространство, свойства которого в дальнейшем описал Евклид, является чистой протяженностью, лишенной материального содержания, и ареной движения атомов, вместившем всех тел природы. Согласно учению атомистов, бесконечно пустого пространства и атомов достаточно для описания разнообразных явлений мира, в том числе социальных и психических.

Атомное учение, развиваясь, стало основой современного естествознания.

1.3. Аристотель

Величайший мыслитель древней Греции Аристотель родился в 384 г. до н.э. в городе Стагире. Отец его Никомах был придворным врачом царя Аминты II. Сын Аминты Филипп, отец Александра Македонского был другом Аристотеля, и став царем, пригласил Аристотеля в наставники своему сыну. До того, как Аристотель стал наставником будущего великого полководца, он учился более 20 лет в академии Платона. После смерти Платона Аристотель с 343 по 339 гг. до н.э. жил в столице Македонии в качестве наставника Александра Македонского. В 336 г. Аристотель вернулся в Афины, где основал свой Лицей. В 323 г. до н.э. в одном из походов умер Александр Македонский. В Афинах взяла верх антимакедонская партия. Аристотель был изгнан на остров Эвбею, где и умер осенью 322 г. до н.э.

Научное наследие Аристотеля огромно. Оно образует полную энциклопедию научных знаний своего времени. Еще в средневековых университетах естествознание излагалось по Аристотелю. Он был крестным отцом физической науки. Название его книги, посвященной исследованию природы "Физика" стало названием физической науки. Аристотель в начале этой книги ставит задачи и цели так: "Так как научное знание возникает при всех исследованиях, которые простираются на начала, причины или элементы путем их познания..., то ясно, что

и в науке о природе надо определить прежде всего то, что относится к началам". Говоря современным языком, физика должна изучать основные закономерности (первые причины) природы и ее "элементы" (элементарные частицы). Таким образом, физика является общей теорией природы, основанной на фундаментальных законах и представлениях об основных элементах (частицах и полях в современной физике).

Пути познания природы у Аристотеля таковы: "Естественный путь к этому (к познанию природы) идет от более известного и явного для нас к более явному и известному с точки зрения природы вещей..." Это высказывание имеет очень глубокое значение. Люди воспринимают сначала вещи такими, какими они им представляются, а не такими, какими они являются на самом деле (по природе). Путь научного познания и лежит в направлении от обычного чувственного созерцания, весьма далекого от понимания истины, к более глубокому пониманию этой природы, весьма далекому от обычных представлений "по здравому смыслу". Так, Земля представляется плоской и неподвижной. Открытие шарообразности Земли было крупным шагом в направлении познания "к явному по природе и менее явному для нас".

Разбирая взгляды атомистов, Аристотель критикует их воззрения, признающие пустоту и бесчисленное множество атомов. У Аристотеля мир конечен и построен из конечного числа элементов. Понятие пустоты у Аристотеля ведет к противоречию. Среда оказывает сопротивление движению, и тогда в пустоте движение было бы бесконечным, что, по его мнению, невозможно. В этой связи интересно отметить, что Эйнштейн при построении своей частной теории относительности взял аристотелевский принцип невозможности бесконечной скорости и соединил его с признанием пустоты, а в качестве предельной скорости взял скорость света в вакууме (300 000 км/ч). Другим аргументом против пустоты у Аристотеля был правильный взгляд, что в ней все тела падают с одинаковой скоростью и находились бы в бесконечном инерциальном движении. В реальных условиях движение конечно и тела падают с разной скоростью. Аристотель полагает, что, чем тяжелее тело, тем быстрее оно падает. Это его ошибочное утверждение исправил Галилей, подтвердив отвергнутое Аристотелем утверждение, что в пустоте все тела падают с одинаковой скоростью. Картина мира Аристотеля наряду с правильными мыслями содержит и неверные. Так, он считал Землю абсолютным неподвижным центром мира, и считал небесное противоположным земному. Небесным телам у Аристотеля присуще равномерное и круговое движение. Вселенная у него расслоена на сферы движения небесных светил и ограничена.

Аристотель внес огромный вклад в зоологию. В книге Аристотеля "История животных" он дает классификацию животного мира. В ней, в частности, он относит китообразных к разряду млекопитающих. Его классификация животного мира сохранилась в основных чертах вплоть до Линнея.

Его ученик Теофраст внес значительный вклад в ботанику. Его описание растительного мира, в частности, в Индии не потеряло научного значения и в наше время.

1.4. Архимед

Архимед родился в 287 г. до н.э. в Сиракузах, на острове Сицилия. В отличие от своего знаменитого предшественника Аристотеля, который был чистым теоретиком, Архимед был и большим практиком. Он был крупным инженером своего времени, он изобрел машину для поливки полей, водоподъемный винт, разрабатывал конструкции военных машин. К этому его побуждало политическое положение Сиракуз. Когда ему было 23 года, началась первая Пуническая война между Римом и Карфагеном. Во вторую Пуническую войну он погиб. Ему тогда было 69 лет. В борьбе между Римом и Карфагеном вопрос об обладании Сицилией занимал важное место. Сиракузы готовились к войне, и инженерный гений Архимеда сыграл при этом огромную роль.

Строительная и военная техника была тесно связана с проблемами равновесия, с развитием статики. Архимед внес огромный вклад в развитие этого раздела механики. Теория рычага стала основой этой дисциплины, а закон рычага известен каждому школьнику. Большой вклад внес Архимед в гидростатику. Закон Архимеда изучается и в наше время.

В астрономии Архимед впервые сопоставляет две системы мира – геоцентрическую и гелиоцентрическую, разработанную Аристархом Самосским. Это сопоставление приводит Архимеда к мысли о конечности Вселенной и огромных ее размерах. Он приступает к подсчету частиц во Вселенной и доводит этот подсчет до числа, выражающегося в современных обозначениях числом 10^{63} .

2. ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ СРЕДНЕВЕКОВЬЯ

Процесс распада римского государства под влиянием внешних и внутренних сил в V в. нашей эры привел к смене рабовладельческого строя на феодализм. Переход к нему сопровождается глубокими потрясениями в хозяйственной и культурной жизни: замирает торговля, замедляется развитие науки.

На Востоке, в Китае и Индии этот переход произошел раньше, чем на Западе, поэтому эти страны опережали западные страны и в экономическом отношении, и в развитии науки. В начале VII в. на Аравийском полуострове создалось сильное воинственное государство. Арабы сыграли в истории естествознания важную роль. Они были связующим звеном между восточной и западной культурой, античной и средневековой наукой.

Знаменитый ученый древнего Востока хорезмиец аль-Хорезми (ок. 780 – 850) был автором арифметики и трактата по алгебре. В его алгебраическом трактате решаются линейные и квадратные уравнения. Европейцы познакомились из его арифметики с индийской позиционной системой чисел и употреблением нуля, арабскими цифрами, арифметическими действиями с целыми числами и дробями. Труды Аристотеля и Птолемея пришли в Европу в арабских переводах.

Арабский ученый Бируни (973 – 1048) производил точные определения плотностей металлов и других веществ с помощью "конического прибора", который он сам сконструировал. По его измерениям плотность золота равнялась 19,5, а ртути – 13,6.

Бируни производил точные астрономические и географические измерения. Он определил угол наклона эклиптики к экватору и установил его вековые изменения. Для 1020 г. его измерения дали значение $23^{\circ}34'0''$. Он точно так же определил радиус Земли.

Бируни также считал уязвимой геоцентрическую систему мира и высказал мысль о движении Земли вокруг Солнца.

В то время, как Бируни размышлял о гелиоцентрической системе мира, переводил труды Птолемея, в Европе господствовали представления о Земле, как о плоской лепешке, накрытой хрустальным колпаком и опоясанной океаном.

2.1. Естествознание в XI – XVII вв.

Европейская научная и культурная жизнь оживляется в более позднюю эпоху, начиная с крестовых походов. В это время (XI – XV вв.) возникают университеты, появляются крупные ученые, оживляется торговля и ремесла.

Разложение феодализма и переход к капитализму в период (XV – XVII вв.) имел в истории естествознания исключительно важное значение. В это время зарождается опытное естествознание, происходят крупные географические открытия: кругосветное путешествие Магеллана (1519 – 1522 гг.), в котором он, по существу, опытно доказал шарообразность Земли, открытие Колумбом Америки в 1492 г.

2.2. Гелиоцентрическая система мира. Коперник

Понятие средневековых ученых о Земле как о плоском теле, центре мироздания, нуждалось в изменении, и такое изменение внес польский ученый Николай Коперник. Он родился в семье купца в 1473 г. в городе Торуне. Он учился сначала в Краковском университете, затем в Болонье и Падуе, где изучал право и медицину. Одновременно Коперник с большим увлечением занимался математикой и астрономией. После десятилетнего пребывания в Италии, получив докторскую степень, он возвращается в Польшу. С 1512 г. он занимает должность каноника во Фромбоке. Большая церковная, хозяйственная, дипломатическая деятельность Коперника не прерывала его научных занятий. В 1530 г. он в рукописном сочинении "Малый Комментарий" излагает основные положения своей теории. Сведения о новой теории широко распространились, и в 1539 г. профессор математики университета города Виттенберга Ретик напечатал подробное изложение системы Коперника. Он же убедил Коперника опубликовать свою рукопись. Книга Коперника была издана незадолго до его смерти, последовавшей в мае 1543 г. Предисловие к этой книге написал математик Осиаандр. В нем он объявил учение Коперника математической гипотезой. Тем самым он спасал его от обвинений в ереси. Всего было издано шесть книг под общим названием "О вращениях небесных тел", в которых Коперник построил простую модель солнечной системы мира. Планеты, в том числе и Земля, вращаются вокруг Солнца по круговым орбитам. Так как движение Земли не отражается на видимой картине сферы неподвижных звезд, то Коперник принимает чрезвычайно огромные размеры этой сферы по сравнению с орбитой Земли. "Небо неизмеримо велико по сравнению с Землей и представляет бесконечно большую величину...".

Книга Коперника поставила перед наукой ряд важных проблем. Перед астрономией она поставила задачу проверить соответствие новой теории фактам. Для решения этой задачи астрономам нужны были оптические приборы и точные часы. В то же время необходимо было объяснять физические причины движения планет. Поэтому астрономия нуждалась также в развитии механики, в частности, в динамике. Так из открытия Коперника появилась научная программа, которая привела к возникновению экспериментального и математического естествознания, и, в первую очередь, механики и оптики.

Учение Коперника не сразу вошло в науку. У него было много противников. Особым нападкам оно подвергалось со стороны ордена иезуитов, учрежденного в 1540 г. испанским дворянином Игнатием Лойолой. Сторонникам учения Коперника предстояла трудная, многолетняя борьба, которая не обходилась без жертв. Так, один из ревностных защитников и распространителей учения Коперника, монах Джордано Бруно (1548 – 1600) был обвинен инквизицией в ереси и сожжен в Риме на площади Цветов. Сейчас на этом месте стоит памятник Бруно.

Знаменитый астроном Иоганн Кеплер (1571 – 1630) не только принимает систему Коперника, но и развивает ее. Если у Коперника орбиты планет круговые, у Кеплера формой орбит планет является эллипс, в фокусе которого находится Солнце. Он также открывает еще два закона движения планет, которые изучаются в школе.

2.3. Галилей

Следующий шаг в развитии и утверждении системы Коперника был сделан выдающимся итальянским ученым Галилео Галилеем. Если Кеплер привел в соответствие систему Коперника с последними данными в астрономии, Галилей обосновывает ее с позиций физики.

Галилей родился в 1564 г. в семье небогатого пизанского дворянина. Он учился в Пизанском университете, где вначале изучал медицину, однако впоследствии оставляет медицинский факультет и изучает математику и философию. В 1589 г. он становится профессором Пизанского университета и преподает здесь математику и философию. Затем, с 1592 по 1610 гг. становится профессором университета в Падуе. Именно там Галилей начал борьбу за утверждение системы Коперника. Он считал эту борьбу очень тяжелой. В 1597 г. он писал: "К

мнению Коперника я пришел много лет назад и, исходя из него, нашел причины многих явлений природы... Написал многие соображения и опровержения противных аргументов, которые, впрочем, опубликовать не решился, уstraшенный судьбой учителя нашего Коперника. У немногих стяжал он бессмертную славу и бесчисленным множеством ...глупцов осмеян и освистан".

В 1608 г. в Голландии была изобретена зрительная труба. Галилей узнает об этом открытии и конструирует свою трубу. Он направляет ее на небо и обнаруживает несоответствие наблюдаемой картины схеме Аристотеля. В 1610 г. Галилей открывает спутники Юпитера – наглядное подтверждение системы Коперника, демонстрирующее, как планеты со своими спутниками движутся вокруг Солнца. В этом же году Галилей добывается переезда из Венеции во Флоренцию. Он считает, что во Флоренции ему будет работать спокойнее, чем в Венеции, где был передан инквизиции Джордано Бруно. Но спокойной жизни у него во Флоренции не получилось. Он подвергался нападкам сторонников старого мировоззрения. Учение Коперника ругается в церковных проповедях, подвергается нападкам и защитник нового мировоззрения Галилей. Взгляды Коперника и Галилея объявляются противоречащими священному писанию. В 1613 г. Галилей пишет письмо своему ученику Кастелли, в котором возражает против привлечения священного писания к научным спорам. "...Разумно, полагаю, было бы, если бы никто не позволял себе прибегать к местам писания и некоторым образом насилловать их с целью подтвердить то или иное научное заключение, которое позже вследствие наблюдения и бесспорных аргументов придется, быть может, изменить в противоположное. И кто возьмет на себя поставить предел человеческому духу? Кто решится утверждать, что мы знаем все, что может быть познано в мире?" Это письмо вызвало огромный резонанс как у противников нового учения, так и у сторонников. На Галилея пишется донос в Рим. В 1616 г. книга Коперника была запрещена, а учение о движении Земли было признано противным священному писанию. Спустя 14 лет после запрещения книги Коперника Галилей закончил свой труд "Диалог о двух системах мира – Птолемеевой и Коперниковой". Он везет рукопись в Рим, чтобы получить разрешение на публикацию. Разрешение было получено после того, как Галилей написал предисловие, в котором объявлял теорию Коперника всего лишь гипотезой. В 1632 г. книга Галилея вышла во Флоренции. Это его главный труд. Вскоре после выхода книги Галилей пишет: "Из верного источника слышу, что отцы-иезуиты наговорили решающей особе, что моя книга ужаснее и для церкви пагубнее писания Лютера и Кальвина". Против Галилея по указанию папы возбуждается дело, и Галилея вызывают в Рим. В 1633 г. больного Галилея на носилках доставляют в Рим. Через несколько месяцев Галилея понуждают отречься от учения Коперника. Несмотря на отречение, его мысли продолжали жить в книге "Диалог о двух системах мира", и, как он сам говорил, никакие запреты не останавят научную мысль, и найдутся факты, которые заставят снять церковные запреты. Такие факты нашел Ньютон, и уже после него система Коперника стала общепризнанной.

Прежде чем останавливаться на достижениях Ньютона, вернемся к Галилею. Будучи профессором Пизанского университета, Галилей ставит опыты по падению тел различной тяжести со знаменитой наклонной башни. По мнению Аристотеля, скорость падения тел пропорциональна силе тяжести. Сброшенные с пизанской башни Галилеем чугунные и деревянные шары одинакового размера упали почти одновременно, а различие в скорости падения Галилей объяснил наличием силы сопротивления воздуха. Этими опытами Галилей основал новый метод естествознания – научный эксперимент.

Галилей этими опытами объяснил также, почему шары падают к подножию башни, а не на определенном расстоянии от ее подножья. Шар, сброшенный с башни, продолжает двигаться вместе с Землей и башней, и поэтому упадет к ее подножию. Птицы и облака продолжают двигаться вместе с Землей, как и атмосфера. Поэтому мы и не замечаем движения Земли. Все явления на ней происходят так, как если бы она была неподвижна. Затем Галилей подходит к формулированию важного принципа – принципа относительности в механике. Согласно этому принципу, никакими механическими опытами невозможно установить, покоится система или движется прямолинейно и равномерно, движение в обеих системах происходит одинаково. Установление принципа относительности снимало также и главные возражения противников системы Коперника.

Галилей умер в 1642 г., через год родился Ньютон, который окончательно подтвердил систему Коперника и завершил дело, начатое Галилеем по построению классической механики.

2.4. Ньютон

Исаак Ньютон родился в 1643 г. в деревне Вульсторп в семье фермера, умершего незадолго до рождения сына. До 12 лет его воспитывала бабушка, затем отдали в городскую школу в Грантаме.

После окончания школы он возвращается домой. Попытки родных сделать из него фермера не увенчались успехом, тогда по совету дяди, воспитанника Кембриджского университета, его решили готовить к поступлению в этот университет.

По своей структуре университет представлял совокупность колледжей. В один из таких самостоятельных колледжей, Тринити колледж и был принят Ньютон в 1661 г. Одним из наставников Ньютона был профессор Исаак Барроу. Барроу читал лекции по оптике на высоком для того времени уровне и увлек Ньютона. У них сложились дружеские отношения. В 1665 г. разразилась эпидемия чумы, и Ньютон уезжает из Кембриджа в деревню, где много и напряженно работает. В 1668 г. он возвращается в Кембридж уже зрелым ученым, и через год Барроу передает кафедру своему талантливому ученику.

Над проблемами движения планет размышляли многие ученые – современники Ньютона. Астроном Галлей столкнулся с большими трудностями при решении этой задачи и обратился к Ньютону за помощью. Ньютон показал Галлею свою рукопись, в которой задача движения планет была решена. Галлей стал убеждать Ньютона опубликовать эту рукопись, но Ньютон отказывался. Дело в том, что первые его публикации по оптике вызвали бурную полемику с Робертом Гуком (1635 – 1703). И все же Галлею удалось убедить Ньютона опубликовать рукопись. В 1687 г. мир получил знаменитую книгу Ньютона "Математические начала натураль-

ной философии", в которой получила полное динамическое обоснование система Коперника, заложены основы классической механики.

2.5. Близкодействие. Дальнодействие

Стержнем ньютоновской динамики является понятие силы. Для описания движения планет он вводит силу тяготения. Он пишет: "Тяготение существует ко всем телам вообще и пропорционально массе каждого из них". Далее: "...Тяготение ко всей планете происходит и складывается из тяготений к отдельным частям ее..." И, наконец: "Тяготение к отдельным равным частицам тел обратно пропорционально квадратам расстояний мест до частиц". Это формулировка Ньютона знаменитого закона всемирного тяготения, который сейчас записывается формулой:

$$F = G \frac{mM}{R^2},$$

где G – гравитационная постоянная; m , M – массы взаимодействующих тел; R – расстояния до центров тел.

Этим законом Ньютон дал полное динамическое обоснование системы Коперника и всей небесной механики. Ньютон вычисляет орбиты комет и заключает, что "движение же комет, ранее никем не объясненное, здесь дает полное подтверждение закона тяготения". Изумительным подтверждением закона всемирного тяготения явилось открытие планеты Нептун, сделанное Лавуазье и Адамсом путем математических расчетов.

Причин такой зависимости сил тяготения от масс тел и квадрата расстояний до их центров, природу этих сил Ньютон не обсуждает и пишет, что причину таких свойств сил тяготения "...я до сих пор не мог вывести из явлений, гипотез же я не измышляю". Однако, гипотезы Ньютон выдвигал. У него сила тяготения между планетами действовала в абсолютном, пустом пространстве, не постигаемом чувствами. Эта гипотеза пустого пространства была необходима Ньютону, чтобы исключить силы сопротивления, которые возникли бы, если бы планеты взаимодействовали в какой-либо среде. Силы тяготения у него были далекодействующими, центральными, мгновенно действующими через пустоту. В то время была и другая концепция взаимодействия небесных тел – это теория близкодействия, предложенная французским ученым Рене Декартом (1596 – 1650). В его космологической модели мира нет места силам, действующим мгновенно через пустоту, так как нет самой пустоты. Вселенная наполнена частицами материи, совершающими вихревые движения и взаимодействующими между собой. Такое воззрение получило в истории науки название картезианского, по латинскому произношению имени Декарта – Картезий. Естественно, между сторонниками различных концепций природы действия сил возникали длительные споры, вплоть до середины XIX в., когда на смену далекодействия пришли полевые представления. Сам Ньютон был непоследователен в своих взглядах. В заключение своей книги он пишет: "Гипотеза вихрей подавляется многими трудностями". Затем Ньютон обсуждает гипотезу эфира: "Теперь следовало бы кое-что добавить о некотором тончайшем эфире, проникающем все сплошные тела и в них содержащемся, коего силою и действиями частицы тел при весьма малых расстояниях взаимно притягиваются, а при соприкосновении сцепляются, наэлектризованные тела действуют на большие расстояния, как отталкивая, так и притягивая близкие малые тела, свет испускается, отражается, преломляется, уклоняется и нагревает тела, возбуждается всякое чувство, заставляющее члены животных двигаться по желанию, передаваясь именно колебаниями этого эфира от внешних органов чувств мозгу и от мозга мускулам". Так Ньютон заканчивает свою книгу, набросав грандиозную программу гипотезы эфира, объясняющей свойства тел, электрические, оптические и физиологические явления в духе близкодействия, в духе Декарта.

3. ВОЗНИКНОВЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО И МАТЕМАТИЧЕСКОГО МЕТОДОВ

3.1. Новая методология и новая организация науки.

Бэкон и декарт

К началу XVII столетия была подготовлена почва для быстрого развития физики. Эта подготовка заключалась, прежде всего, в осознании того факта, что преподающаяся в университетах физика не в состоянии была дать объяснение новым явлениям, обнаруженным в результате технических и географических открытий. Обращение к наследию античной науки позволило исправить ряд заблуждений и восстановить в правах утраченные достижения, но этого было далеко не достаточно для дальнейшего движения вперед. Сам метод опоры на авторитеты, какими бы высокими они ни казались, был несостоятельным. Нельзя было пойти дальше, не сломив слепое преклонение перед Аристотелем, царившее в университетах. Коперник, Бруно, Галилей вынуждены были каждый по-своему вступить в борьбу с аристотелевской традицией.

Это дело продолжали их современники и преемники.

Одним из современников Галилея, который особенно ясно осознал противоречие старой науки новым открытиям и необходимость опоры на новую методологию был английский государственный деятель и философ Френсис Бэкон (1561 – 1626). Государственные дела, которые к тому же приходилось вершить в обстановке назревающей революции, не помешали Бэкону размышлять о научном прогрессе. Он задумал создать обширное сочинение под названием "Великое восстановление", из которого, однако, успел написать только одну часть под названием "Новый органон", вышедшую в 1620 г. В этом сочинении Бэкон указывает на неприглядное состояние "обычных", т.е. университетских, наук, на их бесплодие, в то время как в механических искусствах, т.е. технике, наблюдается интенсивное, непрерывное развитие: "Они, как будто восприняв какое-то удивительное

дуновение, с каждым днем возрастают и совершенствуются". Это совершенствование беспредельно: "Скорее прекратятся и изменятся желания людей, чем эти искусства дойдут до предела своего совершенствования". Нам теперь видно, как глубоко прав был Бэкон, говоря так. Технический прогресс его времени не шел ни в какое сравнение с современным прогрессом техники, и все же Бэкон сумел увидеть в нем тенденцию непрерывного и беспредельного совершенствования техники.

Установив и резко подчеркнув несоответствие практики и теории, Бэкон указывает, что обращение к наследию древних не может устранить это несоответствие. "Было бы постыдно для людей, – говорит Бэкон, – если бы границы умственного мира оставались в тесных пределах того, что было открыто древними, тогда как в наши времена неизмеримо расширились и приведены в известность пределы материального мира, т.е. земель, морей, звезд".

Бэкон вскрывает причины плачевного состояния наук, важнейшими из которых, по его мнению, являются неправильная цель и неправильный метод науки, противодействие научному прогрессу, оказываемое богословием и схоластикой. Человеческий ум, по Бэкону, осаждают "призраки", свойственные человеческому разуму и являющиеся источником заблуждения: ум склонен легко обобщать единичные факты и приходить к выводам, не соответствующим действительности, он нелегко расстается со сложившимися убеждениями, ему присуща некоторая инерция.

Он более активно реагирует на эффекты, на то, "что сразу и внезапно может его поразить".

Далее, человек "скорее верит в истинность того, что предпочитает". Познанию истины мешает также несовершенство чувств, благодаря которому "остаются скрытыми тонкие перемещения частиц в телах". Все это обусловлено самой человеческой природой и названо Бэконом "призраками Рода". "Призраки Пещеры" обусловлены индивидуальными склонностями умов. Одни склонны к почитанию древности, другие к восприятию нового и т.п. "Призраки Рынка" порождены обычным словоупотреблением, общественным мнением, и, наконец, "призраки Театра" обусловлены господствующими теориями, предвзятыми мнениями, суеверием. Из существования таких "призраков", по Бэкону, и вытекают серьезные трудности мыслительной работы, трудности познания природы. Правильный метод должен помочь преодолению этих "призраков", делу отыскания истины.

Бэкон разделяет ученых своего времени на два класса: эмпириков и догматиков. Эмпирики, подобно муравьям, тащат в свою муравьиную кучу всевозможные факты, догматики же, подобно пауку, тклет ткань из самих себя. Надо, по Бэкону, в науке работать как пчела: извлекать материал из внешнего мира и перерабатывать его рационально.

В основе метода Бэкона лежит опыт. Наука должна опираться на опыт, на практику, строя из них выводы, "причины и аксиомы" методом индукции (наведения), т.е. переходя от частных фактов к обобщениям. Эти обобщения вновь проверяются опытом и практикой. Научные истины проверяются, таким образом, опытом и практикой и, в свою очередь, выводятся из них.

Индуктивный метод сыграл огромную роль в развитии естествознания. Долгое время естественные науки: физику, химию, астрономию – называли индуктивными науками, противопоставляя их гуманитарным наукам и чистой математике. Но уже сам Бэкон считает, что индукция неполна и несовершенна без теоретического анализа, без использования математики: "Лучше же всего продвигается вперед естественное исследование, когда физическое завершается в математическом". Он стоит на точке зрения атомистики, утверждая, что "каждое естественное действие совершается при посредстве самых малых частиц". Существенно, что Бэкон хорошо понимал необходимость финансирования науки и научных организаций.

Флорентийские академики (их было всего девять) совместно ставили и обсуждали опыты, описанные позднее в сборнике трудов академии, вышедшем в 1667 г. В этом же году покровитель академии брат герцога Тосканского Леопольд Медичи по требованию папских кругов вынужден был закрыть академию. Так церковь уничтожила наследие Галилея, нанеся тем самым огромный вред итальянской науке, уступившей лидерство в научном соревновании другим странам.

Еще раньше, чем во Флоренции, начиная с 1645 г., в Лондоне стал собираться кружок любителей естественных наук. В Англии в те годы бушевала гражданская война, участники кружка по мере развития революционных событий разделились: одни остались в Лондоне, другие собирались в Оксфорде. После реставрации кружок вновь начал собираться в Лондоне и оформился организационно, получив формальный королевский статут 28 ноября 1660 г. как Лондонское Королевское общество. Общество было основано "для преуспевания экспериментальной философии" под девизом "ничего на слово" и существует и поныне как высшее научное учреждение Англии (Английская Академия наук).

Аналогичные собрания в сороковых годах XVII в. проходили в Париже. Позднее министр короля Людовика XIV Кольбер внес предложение об открытии Академии наук в Париже, которая и была утверждена в 1666 г. Затем последовали организации научных обществ и академий в других государствах. Петр I во время своего путешествия по Европезнакомился с Лондонским королевским обществом, президентом которого в то время был Ньютон. Уже будучи императором, Петр I посетил Париж и Парижскую Академию наук. Он хорошо понимал необходимость создания в России высшего научного учреждения. Он вел длительные переговоры с учеными Европы об организации академии и 28 января 1724 г. подписал указ об учреждении Петербургской Академии наук. Она начала свою работу в 1725 г., уже после смерти Петра, когда в Петербург приехали первые академики.

Научные общества и академии были новыми центрами наук, возникшими в противовес старым университетам, все еще находившимся в плену схоластики. Однако перемены коснулись и университетов, которые по-

степенно втягивались в научное движение. Достаточно сказать, что в Кембриджском университете с 1669 по 1695 гг. был профессором Исаак Ньютон.

Развитие науки потребовало развития научной информации. Обычными формами такой информации были личное общение и переписка (и, конечно, книги). В эпоху Галилея жил ученый монах Мерсенн (1588 – 1648), который известен своими открытиями в акустике. Но главным делом его жизни была организация взаимной научной информации ученых посредством переписки, которую он поддерживал со всеми ведущими учеными своего времени, служа своеобразным центром связи между ними. Мерсенна прозвали "человек-журнал". Но человека не стало, да и развитие науки стало таким, что один гений не мог охватить всех научных новостей, и вместо "человека-журнала" появились научные журналы. С 1665 г. начали выходить труды Лондонского Королевского общества (Philosophical Transaction), затем труды Парижской Академии наук. С 1682 г. в Лейпциге стал выходить научный журнал "Acta Eruditorum". Научная периодика и поныне является основной формой научной информации.

Таким образом, развитие науки подтверждало идеи Бэкона: опытное естествознание стало фактом общественного сознания, и были созданы новые организационные формы развития науки. Это, конечно, не означает, что наука развивалась по предначертаниям Бэкона. Просто Бэкон, как передовой человек своего времени, осознал значение науки для общественного прогресса, ее роль в развитии техники, причины неудач схоластической университетской науки и правильно понял роль опыта и практики в развитии естествознания.

Таким образом, мы можем говорить о происшедшей в XVII в. научной революции, в результате которой возникла классическая физика (и не только физика) в той форме и с теми методами познания, какой мы ее сегодня знаем. Говоря о методе познания, следует напомнить, что наряду с индуктивным в современной науке находит широкое применение дедуктивный метод, когда из небольшого числа общих принципов выводятся и прослеживаются в деталях частные следствия. Так, классическая механика развивается из законов Ньютона или из вариационных принципов динамики, макроскопическая электродинамика – из уравнений Максвелла и т.д.

Метод дедукции был обоснован вскоре после Бэкона французским философом Рене Декартом (1596 – 1650) в книге "Рассуждение о методе", которая вышла в свет в 1637 г.

Следует, однако, подчеркнуть, что было бы грубым упрощением считать Декарта основателем дедуктивного метода, а Бэкона – основателем индуктивного. Оба метода зародились еще в Древней Греции, и Бэкон и Декарт лишь развили их применительно к естествознанию. При этом ни Бэкон не отрицал значения дедукции, ни Декарт не отрицал значения опыта и индукции. Научный метод основан на диалектическом сочетании индукции и дедукции, и это понимали оба великих философа. Но Бэкон подчеркивал ведущую роль опыта и индукции, Декарт же – логического анализа и правильных умозаключений. Он полагал, что в основу этих умозаключений должны быть положены ясные и простые принципы и строгая логическая последовательность выводов. Математика в методе Декарта играет первостепенную роль. Согласно Декарту, применяя метод геометров, т.е. математиков, можно добиться в изучении природы огромных успехов. Для этого метода нет недостижимых истин, "столь сокровенных, чтобы нельзя было их раскрыть". Эта вера в мощь математического метода весьма характерна для Декарта, и он особенно ценил Галилея за то, что тот "старается изучать вопросы с помощью математического рассуждения".

Но основной проблемой физики XVII в. были законы движения. Как применить математику к движению? И здесь Декарту принадлежит решающее открытие: он ввел в математику переменные величины, установил соответствие между геометрическими образами и алгебраическими уравнениями; Декарт положил начало аналитической геометрии. Здесь он впервые применил свой метод. "Приняв во внимание, что среди всех, искавших истину в науках, только математикам удалось найти некоторые доказательства, т.е. некоторые точные и очевидные соображения, я не сомневался, что и мне следовало начать с того, что было ими обследовано". Результатом такого начала явилась "геометрия", приложенная к "Рассуждению о методе", другими приложениями являются "Диоптрика" и "Метеор".

Когда идея или открытие назревает, она возникает почти одновременно в нескольких головах. Так было и с идеей переменной величины. Галилей в своих механических исследованиях хорошо понимал необходимость оперирования переменными величинами. Идея мгновенной скорости, меняющейся от момента к моменту, была им освоена во всей полноте. В "Диалоге" он описывает, как свободно падающее тело проходит через все ступени скорости, начиная с нулевой. Собеседники не сразу могут принять эту идею, им трудно понять, что падающее ядро обладает вначале такой скоростью, что, сохранись она неизменной, ядро не достигло бы Земли и за день, Сальвиати подхватывает эту мысль, усиливает ее: "Можете сказать в год, в десять, в тысячу лет".

В "Беседах" обсуждение переменной скорости падающего тела занимает видное место. Сагредо вновь возвращается к своей мысли: "Надлежит признать, что для промежутков времени, все более и более близких к моменту выхода тела из состояния покоя, мы приходим к столь медленному движению, что при сохранении постоянства скорости тело не пройдет мили ни в час, ни в день, ни в год, ни даже в тысячу лет; даже в большее время оно не продвинется и на толщину пальца – явление, которое весьма трудно себе представить, особенно когда наши чувства показывают, что тяжелое падающее тело сразу же приобретает большую скорость". Сальвиати подробно разъясняет это обстоятельство и, в частности, указывает, что при бросании тела вверх оно постоянно уменьшает свою скорость до полной остановки. Симпличио возражает в духе апорий Зенона, что невозможно исчерпать бесконечное количество степеней медленности и, таким образом, брошенное вверх тело никогда не останавливается. Возражение Симпличио Сальвиати парирует чрезвычайно сильно: "Это случилось бы, синьор Симпличио, если бы тело двигалось с каждой степенью скорости некоторое определенное время, но оно только проходит через эти степени, не задерживаясь более чем на мгновение, а так как в каждом, даже самом малом,

промежутке времени содержится множество мгновений, то их число является достаточным для соответствия бесконечному множеству степеней скорости".

Как видно из этого опыта, Галилей отчетливо представляет текучесть переменной величины, которая проходит последовательно все значения и не задерживается "более чем на мгновение". Мгновение – бесконечно малая величина, число мгновений в небольшом промежутке времени бесконечно велико и взаимно однозначно соответствует числу значений переменной величины. Галилей владеет идеей взаимно однозначного соответствия бесконечных множеств. Это видно, например, из его утверждения, что всех членов натурального ряда чисел "столько же", сколько полных квадратов этих чисел.

Галилей независимо от Декарта пришел к идее представления переменной величины линией. Этой идеей он пользовался для вывода закона пути равноускоренного движения. Он разработал остроумный метод измерения конечной скорости падающего тела по глубине ямки, оставленной в мягкой пластине упавшим телом. Установив, что эта глубина пропорциональна высоте падения, Галилей пришел сначала к ошибочному выводу, что скорость падающего тела пропорциональна пройденному пути. Но он скоро понял свою ошибку и установил, что в равноускоренном движении скорость пропорциональна времени. Изображая время отрезками вертикальной прямой, он изображал скорость, полученную телом в конце данного промежутка времени, отрезком перпендикуляра к оси времен, восстановленного в конце соответствующего отрезка времени.

Таким образом, Галилей впервые изобразил зависимость скорости от времени графически, и его график отличается от принятого ныне только тем, что время мы откладываем теперь по горизонтальной оси, а скорость – по вертикальной, что, конечно, несущественно. Путь, пройденный телом за данный промежуток времени, Галилей определяет по графику, суммируя все отрезки скорости, т.е. находит площадь фигуры (в случае равномерного движения – прямоугольника, в случае равноускоренного движения – прямоугольного треугольника), образованной графиком скорости, осью времен и начальным и конечным отрезками скорости. По существу он выполняет операцию интегрирования.

Вернемся, однако, к Декарту. В 1644 г. Декарт издал обширное сочинение под названием "Начала философии". В него вошли части сочинения Декарта о Мире (космосе), которое он намеревался издать еще в 1633 г. Услышав об осуждении Галилея, он отложил издание своего сочинения и только спустя одиннадцать лет обнаружил его в расширенном и переработанном виде. В этом сочинении он изложил грандиозную программу создания теории природы, руководствуясь своим методологическим правилом брать за основу наиболее простые и ясные положения. Еще в "Рассуждении о методе" Декарт подверг анализу всевозможные исходные положения, сомневаясь в справедливости любого из них, в том числе и в положении "Я существую". Однако в акте мышления сомнение невозможно, ибо наше сомнение уже есть мысль. Отсюда знаменитое положение Декарта: "Я мыслю, следовательно, существую". Чтобы обезопасить свое учение от нападок церковников, Декарт говорит о существовании бога и внешнего мира, созданного богом. Но обмануть церковников не удастся, они распознали материалистическую сущность системы Декарта, и ученому под конец жизни пришлось искать убежища в Швеции, где он и умер. Верный своему методу, Декарт ищет в материальном субстрате самое основное и простое и находит его в протяженности.

Материя Декарта – это чистая протяженность, материальное пространство, заполняющее всю безмерную длину, ширину и глубину Вселенной. Части материи находятся в непрерывном движении, взаимодействуя друг с другом при контакте. Взаимодействие материальных частиц подчиняется основным законам или правилам.

"Первое правило заключается в следующем: каждая частица материи в отдельности продолжает находиться в одном и том же состоянии до тех пор, пока столкновение с другими частицами не вынуждает ее изменить это состояние".

"В качестве второго правила я предполагаю следующее: если одно тело сталкивается с другим, оно не может сообщить ему никакого другого движения, кроме того, которое потеряет во время этого столкновения, как не может и отнять у него больше, чем одновременно приобрести себе".

"В виде третьего правила я прибавлю, что хотя при движении тела его путь чаще всего представляется в форме кривой линии и что, хотя невозможно произвести... ни одного движения, которое не было бы в каком-либо виде круговым, тем не менее, каждая из частиц тела по отдельности всегда стремится продолжать его по прямой линии".

В этих "правилах" обычно усматривают формулировку закона инерции и закона сохранения количества движения. В отличие от Галилея, Декарт отвлекается от действия тяготения, которое он, между прочим, также сводит к движению и взаимодействию частиц, и упоминает о направлении инерционного движения по прямой. Однако его формулировка еще отличается от ньютоновской, он говорит не о состоянии равномерного и прямолинейного движения, а вообще о состоянии, не разъясняя подробно содержания его термина.

В письмах Декарта встречается формулировка закона инерции, уже почти текстуально совпадающая с ньютоновской: "Полагаю, что природа движения такова, что, если тело пришло в движение, уже этого достаточно, чтобы оно его продолжало с той же скоростью и в направлении той же прямой линии, пока оно не будет остановлено или отклонено какой-либо другой причиной".

Этот принцип сохранения скорости по модулю и направлению тем более интересен у Декарта, что, по его представлению, пустоты в мире нет и всякое движение является циклическим: одна часть материи занимает место другой, эта – предыдущей и т.д. В результате вся Вселенная пронизана вихревыми движениями материи. Движение во Вселенной вечно, так же как и сама материя, и все явления в мире сводятся к движениям частиц материи. Вначале эти движения были хаотическими и беспорядочными, в результате этих движений частицы дробились и сортировались.

По Декарту, существуют три сорта частиц (три элемента): частицы земли, воздуха (неба), огня. Наиболее крупные частицы – это частицы земли. Они погружены в среду из частиц неба, в которые вкраплены также частицы огня, образующие Солнце. Вихревые движения круглых подвижных частиц "неба" увлекают в своем движении планеты, состоящие из элементов земли. Вся Вселенная разбита на такие вихревые области, которые можно рассматривать, как предшественников современных галактик. Такова космогоническая гипотеза Декарта.

В физике Декарта нет места силам, тем более силам, действующим на расстоянии через пустоту. Все явления мира сводятся к движениям и взаимодействию соприкасающихся частиц.

Картезианское воззрение сыграло огромную роль в эволюции физики и, хотя и в сильно измененной форме, сохранилось до нашего времени. Все попытки построить единую теорию поля и вещества по существу повторяют на новой основе попытку Декарта построить физическую картину мира с непрерывной материей и сохраняющимся механическим движением.

3.2. Законы Ньютона

В "Началах натуральной философии" Ньютон заложил основы классической механики – механики тел, двигающихся со скоростями, значительно меньшими со скорости света. Суть механики Ньютона – это три закона, которые изучаются повсеместно и в средней, и в высшей школе на естественных факультетах. Вот эти законы в переводе известного ученого А.Н. Крылова:

1 "Всякое тело продолжает удерживаться в своем состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку оно не понуждается приложенными силами изменить это состояние.

2 Изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе и происходит по направлению той прямой, по которой эта сила действует.

3 Действию всегда есть равное и противоположное противодействие, иначе взаимодействия двух тел друг на друга между собой равны и направлены в противоположные стороны".

3.3. Волна и частица

Механические воззрения Ньютон пытался распространить на все явления природы. Рассматривая природу света, он постоянно обсуждает две концепции – волновую и корпускулярную. Напомним, что волновой процесс – это процесс распространения колебаний в пространстве. Колебание – это периодически повторяющиеся процессы. Пример волнового процесса – это волны, распространяющиеся во все стороны от брошенного в воду камня. Волнам свойственны явления интерференции и дифракции. Дифракция – это огибание волной препятствий, захождение волны в область геометрической тени. Интерференция – это сложение согласованных волновых процессов. Интерференцию световых волн мы можем легко обнаружить в луже воды, в которую попали частицы бензина или масла. Сам Ньютон открыл знаменитые кольца, названные впоследствии его именем, но объяснял это интерференционное явление с позиций корпускулярной природы света. Волновая теория, по мнению Ньютона, не в состоянии объяснить прямолинейное распространение света. Волне присуще явление огибания препятствий (дифракции), а Ньютон не обнаружил этого явления при падении света на волос. Кроме того, Ньютон считал, что для распространения волны необходима среда. Это справедливо для механических волн, а что световая волна имеет другую, не механическую природу он еще не мог знать.

Ньютон был религиозным человеком и писал религиозные книги. Он был автором "Толкования на книгу пророка Даниила", "Апокалипсиса", "Хронологии". Он увлекался алхимией и около тридцати лет постоянно экспериментировал в своей кембриджской химической лаборатории. Ему, как и другим алхимикам, не удалось превратить металлы в золото, но, по мнению исследователя наследия Ньютона С.И. Вавилова, он смог сделать важные выводы из этих неудачных опытов, предвещающие открытия сложного строения атомов.

В 1688 г. Ньютон был избран депутатом парламента от Кембриджа. Когда правительство Вильгельма Оранского стало испытывать финансовый кризис из-за плохой чеканки золотой монеты, Ньютон в короткий срок перечекал монету, и этим способствовал оздоровлению финансов страны. В 1699 г. он был назначен директором Монетного двора и переехал в Лондон. В 1703 г. он был избран президентом Королевского общества. Он был окружен почетом и славой. Умер Ньютон в 1727 г. и был похоронен в Вестминстерском аббатстве.

4. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ КАРТИНА МИРА

4.1. Электричество и магнетизм

Механическая картина мира, которая начала разрабатываться Галилеем и получила завершение в работах Ньютона, долго использовалась для объяснения практически всех явлений природы, даже биологических. Однако ко второй половине XIX столетия на смену этой концепции постепенно приходит новая – электромагнитная. Электричество и магнетизм были известны еще в глубокой древности. Свойство янтаря, потертого о шерсть, притягивать легкие предметы или способность природных магнитов притягиваться друг к другу было известно еще в античные времена.

Вначале электрические и магнитные явления изучались независимо друг от друга. Первые научные объяснения этих явлений мы находим в книге врача английской королевы Елизаветы Уильяма Гильберта (1540 – 1603) " О магните, магнитных телах и о большом магните – Земле, новая физиология", вышедшей в 1600 г. В ней Гильберт дает правильное объяснение поведению магнитной стрелки в компасе: ее конец притягивается

полюсами земного магнита. Он показал, что при разламывании магнита всегда получаются магниты с двумя полюсами. И сейчас не удастся разделить полюсы магнита. Изучая электрические явления, он обнаружил, что кроме янтаря, свойством притягивать легкие предметы после натирания приобретают алмаз, сапфир, аметист, сера, смола и др., которые Гильберт назвал электрическими, т.е. подобными янтарю. Прочие тела он назвал неэлектрическими. Так, в науку вошел термин "электричество". Между электрическими и магнитными явлениями Гильберт не обнаружил никакого сходства, и его взгляд продержался в науке более 200 лет, пока не было открыто магнитное поле, создаваемое электрическим током.

Большой вклад в изучение электрических явлений внес один из основателей США Франклин (1706 – 1790). Он экспериментально доказал электрическую природу молнии, заявив, что молния есть ни что иное, как разряд, возникающий между двумя телами, заряженными электричеством противоположных знаков. Один из его опасных экспериментов Франклин провел в 1752 г. в грозу, когда он запустил змея, на котором было укреплено железное острие. К концу бечевки, с помощью которой был запущен змей, прикреплялся стальной ключ и шелковая лента, за которую держался Франклин. После того, как дождь смочил бечевку, заряд, извлекаемый из облаков, стекал по бечевке, и когда Франклин подносил к ключу палец, то возникала сильная искра. Эти эксперименты вызвали большой интерес. Известный русский ученый Рихман, изучая это явление, был убит молнией в грозу в июле 1753 г. Франклину принадлежит формулировка закона сохранения электрических зарядов, а также идея громоотвода.

Первый громоотвод, мало отличавшийся от современных, был установлен Франклином в 1760 г. в Филадельфии на крыше дома купца Венца. Это был железный стержень длиной три метра и диаметром 27 мм, который соединялся с землей проводами. Открытие Франклина медленно внедрялось. Только на родине ученого изобретение получило правительственную поддержку, и к 1782 г. в Филадельфии было установлено более 400 громоотводов на всех общественных зданиях, за исключением отеля французского посольства. Однако, в этом же году в это здание в грозу попала молния и убила французского офицера. Только после этого случая громоотвод был установлен на здании отеля. Для современного человека изобретение Франклина стало естественным и необходимым.

Закон взаимодействия электрических зарядов был открыт французским военным инженером Кулоном (1736 – 1806). Этот закон напоминает закон всемирного тяготения Ньютона. Сила взаимодействия электрических зарядов убывала обратно пропорционально квадрату расстояния между зарядами. Интересно отметить, что этот закон за несколько лет до Кулона был открыт Генри Кавендишем, эксцентричным английским господином, занимавшимся наукой ради интереса и не опубликовавшим результаты своих исследований. Задолго до Ома им был открыт закон постоянного тока, который переоткрывал Ом.

Открытие электрического тока принадлежит итальянскому анатому Луиджи Гальвани (1737 – 1798). Он препарировал лягушку, когда один из его помощников случайно коснулся скальпелем ее бедренных нервов. Немедленно все мышцы лягушки начали сильно сокращаться. Гальвани очень заинтересовало это явление. Проведя многочисленные опыты, отвлекаясь от второстепенных причин, Гальвани заключил, что эти опыты "возбуждают в нас подозрение об электричестве, свойственном самому животному".

Его соотечественник Вольта (1745 – 1827) повторил опыты Гальвани и пришел к выводу, что причиной сокращения мышц служит не "животное электричество", а контакт разнородных металлов. Между учеными разгорелась полемика. Каждый из них ставил опыты, чтобы доказать правильность своих взглядов, и каждый из них был прав. История отдала должное им обоим. Гальвани открыл "животное электричество", Вольта – физическое. Последний изобрел первый генератор электрического тока – Вольтов столб. С этого открытия началась эпоха электричества.

4.2. Открытие электромагнетизма

В 1820 г. датский ученый Эрстед (1777 – 1851) открыл электромагнетизм. Он находился под сильным влиянием философии Шеллинга, проповедующего идеи о целостности мира, о всеобщей связи явлений природы. Размышления Эрстеда о связи электричества и магнетизма побудили его поставить ряд опытов, которые увенчались открытием влияния электрического тока на магнитную стрелку. Говоря современным языком, Эрстед обнаружил вокруг проводника, по которому течет ток, магнитное поле. Для окончательного решения вопроса о взаимосвязи электрических и магнитных явлений необходимо было превратить магнетизм в электричество. Такую задачу поставил перед собой сын английского кузнеца Майкл Фарадей (1791 – 1867). Он не получил хорошего образования и пополнял свои знания чтением книг по естествознанию. Особенно его заинтересовали опыты Эрстеда. Фарадей изучил литературу и в 1821 г. выступил со статьей "Опыт истории электромагнетизма". Фарадей описал в ней опыты Эрстеда по вращению магнита вокруг проводника с током и ставит перед собой задачу о превращении магнетизма в электричество. Ее решение потребовало десяти лет изнурительной работы. В 1831 г. задача была решена, и Фарадей открывает явление электромагнитной индукции. Позже Максвелл выразил эту идею математической формулой:

$$E = -\frac{d\Phi}{dt},$$

где E – электродвижущая сила индукции; $\frac{d\Phi}{dt}$ – скорость изменения магнитного потока.

Таким образом, электродвижущая сила индукции возникает при всяком изменении магнитного потока.

4.3. Электромагнитное поле

Фундаментальная идея о взаимосвязи электрических и магнитных явлений у Фарадея дополнялась концепцией электромагнитного поля, распространяющегося в пространстве с конечной скоростью. Фарадея не удовлетворяла концепция действия сил на расстоянии, как в законе всемирного тяготения Ньютона и законе Кулона. Он стремился заменить эту концепцию концепцией действия сил посредством промежуточной среды, передающей действие от точки к точке. Исходя из опыта с железными опилками, дающего представление о направлении силы в различных точках магнитного поля, он создал свою теорию силовых линий, которые имели для него реальный смысл. Физическое поле у Фарадея есть то, что излучается, распространяется с конечной скоростью в пространстве, взаимодействует с веществом. Примером такого поля является излучение Солнца. "В этом случае лучи (которые представляют собой силовые линии) проходят через промежуточное пространство; но здесь мы можем оказывать на эти линии действие при помощи различных сред, расположенных на их пути... Они связаны с временем и требуют 8 минут, чтобы пройти от Солнца до Земли; таким образом, они могут существовать независимо и от своего источника и от места, в которое в конце концов приходят. Таким образом, они имеют ясно различимое физическое существование". Математически идею электромагнитного поля реализовал гениальный преемник Фарадея – Джеймс Клерк Максвелл.

В истории электромагнетизма имя Максвелла ассоциируется с созданной им теорией электромагнитного поля. В электродинамике Максвелл также велик, как Ньютон в классической механике. Если Галилей и Ньютон заложили основы механической картины мира, то Фарадей и Максвелл – электромагнитной.

4.4. Максвелл

Джеймс Клерк Максвелл родился в 1831 г. в Эдинбурге. Отец его принадлежал к знатному шотландскому роду и был образованным, культурным человеком. Он с детства развивал любовь сына к научным исследованиям. Занимался с ним астрономией, учил наблюдать небесные тела в зрительную трубу. Когда сыну исполнилось десять лет, Максвелл отдал его в Эдинбургскую академию, среднее учебное заведение. После ее окончания Джеймс поступил в Эдинбургский университет. В 1850 г. он, после трех лет учебы в этом университете, переводится в Кембриджский университет, в знаменитый Тринити-колледж, в котором учился в свое время Ньютон. Во времена Максвелла выпускники Кембриджа сдавали трудный экзамен – математический Трайпос. По результатам сдачи этого экзамена составлялся список лучших выпускников, в котором Максвелл был вторым в выпуске 1854 г. Через два года умер отец Максвелла, который был его первым учителем и другом. В 1856 г. Максвелл становится профессором Абердинского университета в Шотландии. В 1857 г. Максвелл посылает Фарадею свою работу "О фарадеевских силовых линиях". Фарадей был очень тронут. Началась переписка этих двух великих ученых. Их личная встреча произошла в Лондоне, где Максвелл получил профессию. Фарадей тогда был уже стар и болен. В Лондоне с Максвеллом произошел несчастный случай. Он упал с лошади и сильно ударился головой. Этот случай вынудил Максвелла покинуть Лондон и уехать в свое родовое имение в Гленлере. Максвелл не оставил занятия наукой и занимался. В 1871 г. Максвелла пригласили занять пост руководителя Кавендишской лаборатории, он принял приглашение и с энтузиазмом взялся за планирование и организацию будущей знаменитой лаборатории. Ввиду огромной роли Максвелла в организации и всей будущей деятельности этой лаборатории, остановимся на этом вопросе подробнее.

4.5. Создание физических лабораторий

С середины XIX столетия в организации физической науки происходят важные перемены. В это время сначала в некоторых развитых странах Европы, а затем и в США создаются физические лаборатории, где проводится обучение практической физике, и ведутся коллективные научные исследования под руководством маститых ученых.

В прошлом физик работал в одиночку. Приборы обычно покупались на собственные деньги или изготавливались самими учеными. Нередко лабораториями служили частные комнаты. Известно, что опыты по разложению белого цвета Ньютон проводил в своей кембриджской квартире. Физическим прибором ему служила призма, купленная на собственные деньги. Рихман и Ломоносов занимались исследованиями атмосферного электричества с "громовыми машинами", построенными каждым у себя на дому. Джоуль свои эксперименты по определению механического эквивалента теплоты проводил дома в Манчестере. Френель в доме матери, в селе Матье близ Канна, занимался исследованиями дифракции, используя примитивные приборы и приспособления, сделанные для него сельским слесарем. Фарадей в своих исследованиях обходился мотками проволоки, кусками железа, магнитными стрелками. И таких примеров можно привести много. Причем все эти люди не проходили какого-либо курса обучения в лабораторном практикуме. Его тогда просто не было. Преподавание велось в классическом духе, основное внимание уделялось гуманитарным и математическим наукам. Физике отводилось мало места, а обучение сводилось к чтению лекций и штудированию учебников.

Вторая половина XIX столетия отмечена бурным ростом всех видов промышленности. В это время начинает действовать трансконтинентальная связь, появляются телефон, электрическое освещение, электродвигатели, паровые турбины, двигатели внутреннего сгорания.

Все больше развивается связь физики с техникой, производством. Известен пример из истории оптической фирмы "Цейс", когда союз ученого Аббе и техника Цейса принес огромные плоды. Микроскопы, выпускаемые здесь, были тогда непревзойденными. К концу XIX в. фирма "Цейс" разрослась, и в ней уже работало много физиков и техников. Умов Н.А. писал об этой фирме: "Мы имеем перед глазами учреждение, в котором слились в неразрывное целое академия и фабрика, труд научный и труд физический".

Первый телеграф в Великобритании был детищем ученого Ч. Уитстона и предпринимателя В. Кука. Кук впервые увидел телеграф в Гейдельбергском университете. Его попытка создать подобный аппарат в Лондоне

потерпела неудачу, тогда он обратился за помощью к ученому Уитстону, и вскоре благодаря союзу ученого и предпринимателя в Великобритании заработал телеграф.

Для выполнения сложнейшей инженерной задачи – прокладки трансатлантического кабеля, связывающего Европу с Америкой, предпринимателями был приглашен профессор Уильям Томсон. И эта грандиозная техническая задача была успешно решена в 1866 г. благодаря союзу ученых и техников.

В новых условиях необходимо было предусмотреть новые формы и темпы подготовки ученых. Старые образовательные учреждения были не в состоянии выполнить это, перестройка их была необходима. Вначале важность реформы физического образования была осознана лишь немногими учеными-педагогами. Они прилагали неимоверные старания, чтобы в скромных условиях начать работу по обучению студентов физическому эксперименту. Их опыт приобретал широкое распространение в том случае, если он получал всестороннюю поддержку общества, т.е. тогда, когда созревали необходимые экономические условия.

Известный ученый Вильгельм Вебер в 1831 г. занял пост профессора физики в Гейдельбергском университете. Он не ограничился чтением лекций, а стал привлекать студентов к экспериментальным исследованиям, т.е. стал превращать физический кабинет университета, служивший лишь хранилищем физических приборов и местом для единичных исследований преподавателей кафедры, в физическую лабораторию. Вначале его деятельность получала слабую поддержку. Но в 70-х гг. XIX столетия завершилось национальное объединение Германии и началось быстрое развитие капитализма. К концу века Германия заняла одно из первых мест среди развитых капиталистических держав по производству промышленной продукции. Такой быстрый взлет не мог произойти без участия науки. Общество увидело реальные плоды науки, и опыт Вебера начал получать всестороннюю поддержку. Его лаборатория постоянно расширялась. В 1884 г. она получила отдельное помещение, а в начале прошлого века была переведена в новое великолепное здание.

В некоторых случаях государство брало под свою опеку частные профессорские лаборатории. Так, в 40-х годах XIX в. в Берлине профессор университета Генрих Густав Магнус (1802 – 1870) оборудовал несколько комнат в своем доме под физическую лабораторию. У него учились молодые исследователи не только из Германии, но и из Америки, Англии и России. В 1863 г. лабораторию переводят в здание университета, и она достигает своего расцвета при знаменитом преемнике Магнуса – Г. Гельмгольце. Кроме перечисленных нами ученых, пионерами в деле создания лабораторий были знаменитый английский физик Уильям Томсон, оборудовавший в конце 40-х гг. лабораторию в университете Глазго, известный французский ученый Анри Виктор Реньо (1810 – 1878), замечательный русский физик Федор Фомич Петрушевский (1828 – 1904), создавший в 1865 г. лабораторию при Петербургском университете, американский ученый Эдуард Чарлз Пикеринг (1846 – 1919).

Их опыт перенимался многими университетами. В 70-х гг. XIX в. новое веяние коснулось и старейшего английского университета в Кембридже. Здесь в 1868 г. к экзамену на получение степени бакалавра по математике прибавились новые разделы: теплота, свет, электричество, магнетизм. Необходимо было предусмотреть лучшие методы обучения этим предметам. И 27 февраля 1869 г. сенат университета высказался за основание кафедры экспериментальной физики с созданием физической лаборатории, снабженной всей необходимой аппаратурой. Однако идея будущей лаборатории могла потерпеть крах из-за недостатка средств. Положение исправил герцог Девоншира Вильям Кавендиш, потомок известного ученого Генри Кавендиша, выразивший готовность предоставить средства на строительство лаборатории.

4.6. Максвелл и Кавендишская лаборатория

Встал вопрос о руководителе лаборатории. На этот пост приглашали виднейших физиков – Уильяма Томсона и Германа Гельмгольца, но оба ученых по различным соображениям отказались от этого поста. Выбор пал на Максвелла, и 8 марта 1871 г. он был избран первым профессором Кавендишской лаборатории. "Во время избрания Максвелла работы его были мало известны, его слава была совсем не та, что сейчас, – вспоминал Дж. Дж. Томсон – "Трактат по электричеству и магнетизму" появился двумя годами позже, и хотя он публиковал фундаментальные идеи в научных журналах задолго до его избрания, они привлекали мало внимания. Репутация его поддерживалась, в основном, благодаря работе по кинетической теории газов".

8 октября 1871 г. первый профессор Кавендишской лаборатории прочитал свою вступительную лекцию о функциях экспериментального практикума в подготовке ученых-физиков. В ней были такие слова: "Мы должны начать в лекционном зале с курса лекций по какой-нибудь отрасли физики, пользуясь опытами как иллюстрациями, и закончить в лаборатории рядом исследовательских опытов".

Максвелл высказал важные мысли о назначении преподавателя. Главное для преподавателя – это сконцентрировать внимание студента на проблеме. Полемицируя с противниками экспериментального обучения, Максвелл заявлял, что если человек увлекается проблемой, вкладывает всю душу в ее разрешение, если он понял главную пользу математики в применении ее для объяснения природы, то не будет нанесен ущерб основной специальности, экспериментальные знания не смутят веру в формулы учебников, студент не будет чрезвычайно утомляться.

Максвелл много времени уделял вопросам строительства и организации лаборатории. Он изучал опыт создания подобных учреждений за границей и в своей стране.

16 июня 1874 г. произошло торжественное открытие лаборатории. На нем был замечательный русский ученый А.Г. Столетов (1839 – 1896), который написал отчет об этом событии в газету "Московские ведомости".

Кавендишская лаборатория – это красивое трехэтажное здание, в котором находились комнаты для экспериментов по электричеству, магнетизму, теплоте, оптике, акустике, лекционная аудитория, препаратурская и т.д. Все столы лаборатории покоились на балках, независимых от пола, что позволяло производить очень тонкие эксперименты, не боясь сотрясений. На крыше лаборатории был укреплен металлический шест, соединен-

ный проводкой со всеми комнатами. Это давало возможность в любой момент измерить потенциал атмосферного электричества. Люки в полах позволили протянуть провода между этажами, подвесить маятник Фуко и т.п. Во всех комнатах лаборатории были газ, вода, свет.

Большинство тем исследований, проведенных в максвелловское время, было подобрано главой лаборатории. Однако Максвелл предоставлял своим ученикам полную самостоятельность в выборе тем. Он говорил Шустеру: "Я никогда не пытался отговорить человека от попытки эксперимента. Если он не найдет то, что хочет, он может найти нечто другое".

Все работавшие у Максвелла, прежде чем приступить к оригинальным исследованиям, проходили небольшой общий практикум, изучали приборы, учились делать отсчеты и т.п. Этим Максвелл закладывал основы будущего общего практикума лаборатории. Сам Максвелл не предпринимал в лаборатории сколько-нибудь серьезных экспериментальных исследований ввиду болезни. 5 ноября 1879 г. Максвелл скончался.

Помимо руководства исследованиями в лаборатории Максвелл много времени отдавал редактированию трудов Генри Кавендиша, который опубликовал при жизни всего две статьи и оставил неопубликованными двадцать пачек рукописей по математике и экспериментальному электричеству. Максвелл, изучив эти работы и проделав опыты, описанные в них, выпустил в 1879 г. статью под названием "Электрические исследования Генри Кавендиша". Из нее следовало, что Кавендиш задолго до Ома установил закон, который пришлось переоткрывать Ому, сформулировал закон Кулона, ввел понятие электростатической емкости. Интересно отметить, что все эти законы Кавендиш открыл, не имея электроизмерительных приборов, которые еще не были изобретены. Электрическое действие оценивалось им по физиологическим ощущениям человеческого организма.

Максвелл точно воспроизводил опыты Кавендиша и был очень увлечен изучением его наследия. Так, Шустер вспоминал разочарование молодого американского астронома, приехавшего в Кембридж специально для того, чтобы обсудить с Максвеллом некоторые темы из астрономии, но "Максвелл говорил только о Кавендише и почти вынудил его снять пиджак и опустить руку в таз с водой, чтобы получить ощущение от серии электрических ударов".

Но главной заслугой Максвелла была теория электромагнитного поля. Максвелл развил идеи Фарадея и облек их в математическую форму. Он создал свои знаменитые уравнения, которые стали завершением теории электромагнитных явлений. Электрические и магнитные явления у Максвелла взаимосвязаны. Переменные магнитные поля порождают переменные электрические поля и наоборот. Максвелл пришел к понятию электромагнитных волн, распространяющихся в пустом пространстве со скоростью света. Он установил электромагнитную природу света. Свет у Максвелла – это поперечная электромагнитная волна, распространяющаяся в вакууме со скоростью 300 000 000 м/с. Теория Максвелла была не принята многими крупными учеными, его современниками, но после экспериментального подтверждения существования электромагнитных волн немецким ученым Генрихом Герцем (1857 – 1894) теория Максвелла стала общепризнанной и сохранила свое значение до наших дней. Триумфом теории Максвелла стало открытие радио. Главный научный труд Максвелла "Трактат по электричеству и магнетизму" вышел в 1873 г. Со времени признания теории Фарадея-Максвелла механическая концепция мира заменилась на электромагнитную.

5. ОТКРЫТИЕ КВАНТОВ. КВАНТОВАЯ ПРИРОДА СВЕТА

В 1887 г. Герц в поисках доказательства существования электромагнитных волн обнаружил явление, которое впоследствии назвали фотоэффектом. Оно заключается в испускании электрических зарядов с поверхности веществ под действием света. Русский ученый А.Г. Столетов (1839 – 1896) подробно исследовал это явление и установил ряд важных закономерностей фотоэлектрического эффекта, но объяснить фотоэффект с позиций максвелловской теории ни ему, ни другим ученым в то время не удалось. Фотоэффект был объяснен Эйнштейном в 1905 г., но уже в рамках квантовой природы света.

5.1. Макс Планк и проблема теплового излучения

Открытие кванта энергии было сделано немецким ученым Максом Планком при объяснении теплового излучения тел. Планк родился в 1858 г. в городе Киле в семье профессора юридического факультета университета. Когда Максу было девять лет, семья переехала в Мюнхен. В 1874 г. он окончил классическую гимназию, и после ее окончания начал усиленно изучать математику и физику. Три года Планк учился в Мюнхенском университете, а затем год в Берлинском. Он увлекся термодинамикой, особенно вторым законом. Это увлечение определило характер его будущей научной деятельности.

После защиты диссертации он в 1880 г. занял место доцента в Мюнхенском университете. В 1885 г. Планка пригласили в Кильский университет на должность экстраординарного профессора теоретической физики. Планк считал день, когда его пригласили на эту должность, "самым счастливым в моей жизни". Весной 1889 г., после смерти Кирхгофа, Планк стал его преемником на кафедре теоретической физики. По воспоминанию Планка, "это были годы, в течение которых я испытал, пожалуй, сильнейшее расширение всего своего научного кругозора. Это было потому, что я непосредственно общался с людьми, занимавшими тогда ведущее положение в мировых научных исследованиях". Таким человеком был, прежде всего, Гельмгольц. Вскоре научные интересы Планка в Берлине сосредоточились на исследованиях теплового излучения тел. Тепловое излучение знакомо всем людям. Они ощущают его, греясь у открытого огня или у нагретой печи. Однако, природа этого излучения оставалась долго неясной. Попытки решить эту проблему с позиций классической теории потерпели неудачу, хотя были достигнуты многие существенные успехи в решении этой задачи. Краеугольным

камнем классической теории было непрерывное излучение или поглощение энергии. Энергия могла принимать непрерывный спектр значений. Планку после трудных поисков в 1900 г. удалось решить проблему теплового излучения, но для этого ему пришлось отказаться от основ классической теории и принять гипотезу о дискретном, прерывном излучении и поглощении энергии. У Планка энергия излучалась и поглощалась конечными порциями, кратными целым значениям $h\nu$, где h – постоянная, названная именем Планка, и которую Планк назвал квантом действия; ν – частота. Сам Планк еще долгое время пытался решить проблему теплового излучения в рамках классической физики, и это требовало от него больших усилий. В конце концов, он понял, "что квант действия играет в физике гораздо большую роль, чем я вначале был склонен считать, и благодаря этому полностью осознал то, что при разработке атомистических проблем необходимы новые методы рассмотрения".

В то время, как научная карьера Планка складывалась для него удачно, в личной жизни Планк испытал много потрясений. В 1909 г. умерла его жена, и он женился вторично. Его сын от первого брака погиб в 1916 г. под Верденом. Две дочери от второго брака умерли в 1917 и 1918 гг. За участие в антигитлеровском заговоре был казнен его сын от второго брака. Во вторую мировую войну при бомбежке сгорел дом Планка, исчезла библиотека, которую он собирал всю жизнь. Сам он на несколько часов был засыпан в бомбоубежище. Умер Планк в 1947 г., не дожив немного до 90 лет.

Итак, загадка теплового излучения тел была успешно решена Планком, но для ее решения потребовались новые, квантовые представления об энергии излучения. За открытие кванта Планку в 1918 г. была присуждена Нобелевская премия.

5.2. Квантовая природа света

Гипотеза квантов распространялась на все новые и новые области. Эйнштейн применил эту гипотезу для объяснения фотоэффекта. Квант света, падая на вещество, выбивает с его поверхности электрон и сообщает ему кинетическую энергию. Формула Эйнштейна для фотоэффекта имела вид:

$$h\nu = A + \frac{mV^2}{2},$$

где $h\nu$ – квант энергии частицы света; $\frac{mV^2}{2}$ – кинетическая энергия электрона; A – работа выхода электрона с поверхности вещества.

Теория квантов успешно решила проблему фотоэффекта, в то время как электромагнитная теория Максвелла была бессильной в решении этой проблемы. Возродилась идея Ньютона о корпускулярной природе света, но уже на новой, более глубокой основе. В то же время и волновая теория Гюйгенса о природе света получила свое признание на более высоком основании, на Фарадея – Максвелловской электромагнитной теории.

Итак, современная концепция природы света имеет двойственный характер. Свет одновременно является и частицей и волной. Одни явления, такие, как дифракция, интерференция света получили объяснения в рамках волновой электромагнитной теории, другие, как фотоэффект, объяснились с позиции квантовой природы света.

6. ОТКРЫТИЕ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ

6.1. Катодные лучи

В конце XIX в. наиболее важные исследования проводились по физике газового разряда. Эти исследования привели к ряду выдающихся открытий, таких, как электрон, рентгеновские лучи. Особый прогресс стал наблюдаться в этих экспериментах после улучшения разряжения в газовых трубках.

Математик Плюккер (1801 – 1868) обнаружил в 1859 г. при достаточно сильном разряжении голубоватый пучок лучей, исходящих из катода, который достигал анода и заставлял светиться стекло трубки.

Немецкий ученый Гольдштейн (1850 – 1931) занялся изучением свойств этих лучей. В 1876 г. он назвал их катодными лучами. Через три года Крукс (1832 – 1919) доказал материальную природу катодных лучей и назвал их "лучистой материей" – веществом, находящимся в особом, четвертом состоянии.

6.2. Рентген и открытие рентгеновских лучей

Опыты Крукса привлекли внимание многих естествоиспытателей. Среди них был Конрад Рентген. Однажды, в конце 1895 г., Рентген, закрыв трубку Крукса чехлом из черного картона, выключил свет, но не выключил еще редуктор, питающий трубку, и увидел свечение экрана, покрытого флюоресцирующим составом и находящегося вблизи трубки. Он был поражен этим обстоятельством и начал ставить многочисленные эксперименты. В своей первой публикации "О новом роде лучей", датированной 28 декабря 1895 г., он написал об этих опытах:

"Кусок бумаги, покрытый платиносинеродистым барием, при приближении трубки, закрытой достаточно плотно прилегающим к ней чехлом из тонкого черного картона, при каждом разряде вспыхивает ярким светом: начинает флюоресцировать... Флюоресценция заметна еще на расстоянии двух метров от трубки".

Рентген исследовал проникающую способность "X – лучей", как он их называл, и обнаружил, что лучи свободно проходят через бумагу, дерево, эбонит, тонкие слои металла, но сильно поглощаются свинцом. Он написал и такой опыт: "Если держать между разрядной трубкой и экраном руку, то видны темные тени костей...". Это было первое рентгеноскопическое исследование человеческого тела. Эти эксперименты оказались

сенсационными. Лаборатории физиков, работающих с "X – лучами", были наводнены врачами, приводившими пациентов, подозревающих, что они имеют иголки в разных частях тела.

Открытие Рентгена широко проникло почти во все отрасли естественных наук. Они используются и в лабораториях физиков, химиков, биологов, геологов, врачей и хорошо известны современному человеку. За открытие рентгеновских лучей Рентгену была присуждена Нобелевская премия в 1901 г.

7. ОТКРЫТИЕ РАДИОАКТИВНОСТИ

7.1. Анри Беккерель и его открытие

В январе 1896 г. французский ученый Анри Пуанкаре (1854 – 1912) на заседании Парижской Академии наук рассказал об открытии Рентгена и высказал предположение, что рентгеновское излучение связано с флюоресценцией, и для его получения не нужна катодная трубка. На заседании присутствовал Анри Беккерель (1878 – 1953). Он решил проверить гипотезу Пуанкаре. В качестве флюоресцирующего материала Беккерель решил взять соли урана из коллекции своего отца. Завернув фотопластинку черной бумагой, он положил на нее металлическую пластинку, покрытую слоем урановой соли, и выставил все это на яркий солнечный свет на несколько часов. После проявления фотопластинки на ней четко проявились контуры металлической пластинки. Повторив эти эксперименты, он получил подобный результат. В конце февраля он подготовил новую металлическую пластинку в виде креста, которую также покрыл слоем урановой соли. Случайно тот день оказался пасмурным, Беккерель решил отложить опыт до солнечной погоды и положил свою новую пластинку на фотопластинку, тщательно обернутую темной бумагой, и все это устройство он положил в темный шкаф. Первого марта установилась солнечная погода, и Беккерель решил продолжить опыт. Но перед тем как выставить свою установку на солнечный свет, он решил проявить фотопластинку. К своему удивлению, после проявки он увидел на фотопластинке четкое изображение креста. Беккерель понял, что излучение действовало в темноте, т.е. для получения фотографического эффекта не было необходимости подвергать соли урана действию солнечного света. Более того, повторив этот опыт с другим флюоресцирующим веществом, но не солью урана, он не обнаружил подобного эффекта. Проведя еще опыты с другими солями урана, не обладающими флюоресцирующими свойствами, Беккерель снова обнаружил отчетливый фотоэффект. Итак, этими экспериментами Беккерель опроверг гипотезу Пуанкаре и пришел к выводу, что все соли урана, и фосфоресцирующие, и не фосфоресцирующие, испускают излучение одной и той же природы, интенсивность которого зависела от количества урана, содержащегося в соли. Таким образом, это излучение явилось свойством, присущим самому элементу урану.

7.2. Радиоактивность

Открытие Беккереля сразу привлекло внимание многих ученых. Мария Склодовская Кюри (1867 – 1934) занялась изучением беккерелевых лучей и сразу нашла, что торий и его соединения обладают свойством испускать подобное излучение. Эти вещества она назвала радиоактивными. Так в июле 1898 г. появился термин "радиоактивность". К исследованиям Марии Кюри примкнул ее муж Пьер Кюри (1859 – 1906). В сарае школы промышленной физики и химии они оборудовали лабораторию, и началась гигантская работа по изучению радиоактивности. Ими были получены новые радиоактивные вещества, среди них был полоний, активность которого была в 400 раз выше активности урана, затем радий. За исследования радиоактивности Беккерель, Пьер и Мария Кюри были награждены Нобелевской премией. Изучая радиоактивность, ученые узнали и о пагубном действии этого излучения на живые организмы. Мария Склодовская-Кюри из-за длительного действия радиоактивного излучения на ее организм тяжело заболела, и эта болезнь привела ее к преждевременной смерти.

Открытие радиоактивности разрушило представление ученых об атомах, как неизменных и неразрушимых кирпичиках мироздания. Уже в первых публикациях Мария Склодовская-Кюри писала: "Радиоактивность урановых и ториевых соединений представляется атомными свойствами...". В 1899 г. Резерфорд показал, что излучение урана имеет сложный состав. В нем "...присутствует по крайней мере два излучения различного типа", – писал Резерфорд, "одно очень сильно поглощается, назовем его для удобства α -излучением, а другое имеет большую проникающую способность, назовем его β -излучением". В 1900 г. французский ученый Поль Виллард (1860 – 1934) открыл третий тип излучения – сильно проникающее слабое излучение, которое он назвал γ -лучи. Резерфорд в феврале 1903 года показал, что α -лучи отклоняются в сильном магнитном и электрическом полях в противоположную сторону, чем β -лучи. О β -лучах Резерфорд говорит, как о потоке электронов, следовательно, α -лучи несут положительный заряд.

В статье о причине и природе радиоактивности, вышедшей в 1902 г., Резерфорд и Содди делают вывод: "радиоактивность – есть атомное явление, одновременно сопровождаемое химическими изменениями, в результате которых появляются новые вещества, причем эти изменения должны протекать внутри атома, а радиоактивные элементы должны испытывать спонтанные превращения". Из своих открытий Резерфорд и Содди делают важные выводы о существовании новых радиоактивных элементов, которые могут быть опознаны по их радиоактивности, даже если они имеются в ничтожно малых количествах. Это предвидение оправдалось. Методы радиохимии, созданные Пьером и Марией Кюри, Резерфордом и Содди стали мощным средством в открытии новых элементов. С помощью радиохимии был открыт 101 элемент таблицы Менделеева – менделевий. Итак, открытие радиоактивности стало мощным средством изучения природы.

8. ДЖОЗЕФ ДЖОН ТОМСОН И ОТКРЫТИЕ ЭЛЕКТРОНА

8.1. Джозеф Джон Томсон

Электрон был открыт в 1897 г. Джозефом Джоном Томсоном в стенах Кавендишской лаборатории в Кембридже.

Томсон родился 18 декабря 1856 г. в Четхеме, предместье Манчестера.

Курс средней школы и предварительный университетский курс Томсон прошел в своем родном городе Манчестере.

Вспоминая о годах учения в школе, Томсон рассказывал, что он любил уроки латинского, математики, английского. На этих уроках многое приходилось учить наизусть, и Томсон считал это очень полезным. Сам он, уже будучи преподавателем, неоднократно применял метод заучивания наизусть для некоторых своих студентов, которые по каким-либо причинам имели слабую школьную подготовку по математике и физике. По-видимому, заучивание развивало их память, помогало уяснить непонятные положения, и в результате эти студенты успешно выдерживали трудный выпускной экзамен в университете – математический Трайпос. В школьные годы Томсон полюбил ботанику и устроил около своего дома маленький садик, где проводил бесчисленные ботанические опыты. Особенно его интересовала жизнь цветов. Томсон много читал о жизни цветов и выписывал на свои сбережения садоводческую газету. Вообще он думал, что станет ботаником. Однако жизнь распорядилась иначе.

Ко времени окончания Томсоном школы стала престижной профессия инженера, и его отец, продавец книг, мечтая об этой профессии для своего сына, собирался устроить мальчика учеником фирмы, делающей локомотивы. Но вакансии ученика фирмы надо было дожидаться неопределенное время, и родители решили отдать Джозефа в манчестерский Оуэн – колледж. В момент поступления в колледж Томсону исполнилось 14 лет, а в колледже принимали с 16-ти летнего возраста, поэтому семье Томсона пришлось изрядно поволноваться, пока руководство колледжа решало вопрос о его зачислении.

8.2. Кембриджский университет

В колледже Томсон, как лучший ученик, получал стипендию. Учителя пробудили в нем интерес к физике, математике, к научным исследованиям, и после пяти лет учебы, по совету математика Баркера, он держит экзамен на право получения стипендии в знаменитый Тринити – колледж. Славу этому колледжу создали его выдающиеся питомцы – Ньютон и Максвелл. Первая попытка поступить в Тринити – колледж кончилась для Томсона неудачно. Только на следующий год он получил наименьшую из назначаемых стипендий в 75 фунтов в год, а вместе с ней и возможность обучения в Тринити – колледже.

Тринити – колледж, как и 16 других колледжей, существовавших в то время, составлял основу Кембриджского университета. С Кембриджским университетом Томсон был связан большую часть своей жизни. Здесь он завершил работы, начатые еще в Оуэн – колледже, здесь он создал все то, что обеспечило ему славу первоклассного ученого и прекрасного педагога, поэтому скажем несколько слов об истории этого университета.

Кембриджский университет был организован в XIII в. по образцу одного из старейших университетов – Парижского. Вначале был создан Оксфордский университет. Ядро его составили студенты, закончившие Парижский университет. Слава Оксфорда постепенно росла, и в начале XIII-го столетия он стал соперничать с известными университетами Европы. По-видимому, ряд выпускников Оксфордского университета обосновался в Кембридже, положив тем самым начало Кембриджскому университету. Университет не получал от правительства никаких дотаций и существовал на деньги от сдачи в аренду недвижимого имущества, от взносов членов колледжей, от платы за экзамены, ученые степени и на деньги от случайных пожертвований. Законодательным органом Кембриджского университета являлся сенат, во главе которого стоял канцлер, по существу, не принимавший участия в обычной жизни университета, а служивший представителем университета во внешних сношениях. Фактически дела университета вел вице-канцлер, который избирался из числа директоров колледжей на два года. Важнейшие вопросы университетской жизни рассматривал совет, состоявший из 16 постоянно менявшихся представителей. Первоначально преподавание велось в монастырях и церквях, затем стали создаваться колледжи, где жили и учились студенты университета. Колледжи Кембриджа были построены в различное время на средства меценатов. Первый колледж св. Петра получил официальное признание в 1284 г. Он был построен на средства эльского епископа. Колледж св. Троицы – Тринити-колледж – был основан в 1546 г. на средства короля Генриха VIII.

Обучение в Кембридже сводилось к подготовке студентов с помощью наставников (тьюторов) к выпускным экзаменам – математическому трайпосу. Выпускной экзамен – математический Трайпос – был, по воспоминаниям Томсона, "трудным, тревожным и очень неудобным испытанием". Он проходил в январе 1880 г. и делился на два этапа. На первом этапе студенты три дня экзаменовались по элементарной математике, статике, динамике, гидростатике и ньютоновской оптике. Один день отводился экзамену по физике – теплоте, электричеству и магнетизму. Затем был перерыв в десять дней, когда подводились итоги экзаменов первого этапа. Только отличники первого этапа допускались до следующего цикла математического Трайпоса, который продолжался еще пять дней и требовал более углубленного знания предметов, предлагаемых на первом этапе. Томсон блестяще выдержал все этапы этого тяжелейшего испытания, получил степень бакалавра и остался в Кембридже для подготовки диссертации, необходимой для избрания в члены колледжа.

Тема его диссертации касалась проблемы сведения различных видов энергий к одной – кинетической. Этим вопросом он начал заниматься еще в Манчестере, в Оуэн – колледже. Кроме подготовки диссертации, Томсон держал еще экзамены по математике и философии Канта. Он успешно справился с новым испытанием и был выбран членом колледжа.

С этого времени началась его самостоятельная научно-педагогическая деятельность. Начало ее совпало с бурными событиями, потрясшими Кембридж. Студенты протестовали против некоторых порядков, введенных в университете, в частности против обязанностей сдачи экзамена по греческому языку соискателями ученой степени, против дискриминации женщин, обучающихся в двух женских колледжах Кембриджа, и против запрета на женитьбу членов колледжа. Томсону пришлось сдавать греческий язык, и он считал время, ушедшее на подготовку к этому экзамену, потраченным зря. Его также волновало бесправное положение студентов и преподавательниц женских колледжей, не могло не возмущать и средневековое правило, запрещающее брак членов колледжа.

Борьба студентов за улучшение порядков была длительной. Она то угасала, то вспыхивала с новой силой. В 1882 г. было наконец отменено правило, запрещавшее членам колледжа вступать в брак до получения звания профессора. В 1919 г. был упразднен экзамен по греческому языку для соискателей ученой степени, а еще через два года улучшилось положение женщин в университете – теперь они могли назначаться лекторами, экзаменаторами, получили право голоса в выборах представителей университета в парламент.

Через два года после избрания Томсона членом колледжа он стал ассистентом кафедры математики в Тринити-колледже. Педагогические обязанности его заключались в чтении лекций по математике и индивидуальных занятий со студентами. Томсон прекрасно справлялся с педагогической работой и подготовил ряд отличников – выпускников Кембриджа.

Научно-педагогическая деятельность Томсона неразрывно связана с Кавендишской лабораторией, в которую он пришел работать сразу после получения научной степени в 1880 г. Свои первые исследования в Кавендишской лаборатории он провел под руководством доктора Рэлея. Они относились, в основном, к области электромагнетизма. В них Томсон выступает как последователь и продолжатель дела Фарадея-Максвелла. За свои научные достижения он уже весной 1884 г. был выбран членом Лондонского Королевского общества, а в конце года, после ухода Рэлея с поста главы Кавендишской лаборатории, руководителем этой знаменитой лаборатории. Томсон превращает ее в крупный научный центр. Для него самого годы, проведенный в Кавендишской лаборатории, были вершиной его научных и педагогических достижений. В 1896 г. его классические исследования электропроводности газов были удостоены Нобелевской премии.

Многие ученики Томсона стали крупными учеными, а пять из них – Ч. Баркла, Г. Брэгг, Ч. Вильсон, Э. Резерфорд, О. Ричардсон – нобелевскими лауреатами. Томсон избирался президентом Лондонского Королевского общества, президентом Британской ассоциации содействия прогрессу наук, был награжден правительственными орденами и медалями различных научных обществ (орден "За заслуги", медали Копли, Юза, Ходкинса, и др.). Он являлся членом многих Академий наук, в том числе Академии наук СССР.

Почет и слава, которыми он стал окружен в своей стране, нисколько не изменили черты его характера, и он всегда оставался простым и скромным человеком. Томсон любил людей, его воспоминания наполнены восторженными страницами о многих его сверстниках – великих и простых. Макс Борн писал: "Когда я был в Кембридже, он (Томсон) был глубоко взволнован судьбой жены и дочерей Генриха Герца, которые должны были покинуть Германию. Он сделал для них – и для очень многих других – все, что мог". Томсон был притягательным центром для многих. Его сын писал, что "вряд ли существовал человек, с которым Томсон не сумел бы найти общего языка, или темы, по которой бы он не высказывал новые или хотя бы своеобразные взгляды".

Томсон был безгранично предан науке. Когда в 1825 г. его ученик Макс Борн приехал навестить учителя в Кембридж, то сын "Джи Джи" (так называли Томсона близкие люди) повел Борна к отцу. И первыми словами ученого были: "Здравствуй! Посмотрите, вот этот спектр..."

Всем сердцем Томсон был привязан к Кембриджу. Лишь несколько раз он выезжал за границу. В качестве президента Британской ассоциации он в 1909 г. посетил Канаду, через год, как представитель Кембриджского университета, он выезжал в Берлин на празднование столетнего юбилея Берлинского университета, трижды был в Америке (1896, 1903, 1923 гг.), где читал курсы лекций. Его лекции в Америке вызвали большой интерес и были опубликованы. Когда разразилась первая мировая война, Томсон вошел в состав правительственной комиссии, занимавшейся организацией научных исследований, важных для морского флота. В частности, ученые Кембриджа решали задачу обнаружения подводных лодок.

В 1918 г. Томсон получил высокий пост президента Тринити-колледжа. Через год он передал руководство Кавендишской лабораторией своему выдающемуся ученику Э. Резерфорду, но с лабораторией не порывал до конца жизни. Он оставил здесь небольшую комнату, где работал со своими учениками.

Томсон умер 30 августа 1940 г. Он был похоронен в Вестминстерском аббатстве, там же, где его великие соотечественники – Ньютон, Кельвин, Дарвин.

8.3. Открытие электрона

Обратимся к главному научному достижению Томсона – открытию электрона.

В 1894 г. Томсон приступил к экспериментам с катодными лучами. До Томсона подобными исследованиями занимались Гиторф, Крукс, Гольдштейн и др., открывшие многие важные свойства этих лучей, но еще не был решен главный вопрос – о природе этих лучей. Гольдштейн, как и большинство немецких физиков, придерживался мнения, что катодные лучи – это волны в эфире. Английские ученые Варлей (1871) а также Крукс (1879) отождествляли эти лучи с заряженными частицами, вырывающимися с катода под прямым углом к его поверхности и движущимися с большой скоростью. Эту точку зрения поддерживали и многие другие английские физики. Противниками и сторонниками этих двух теорий ставились многочисленные эксперименты с целью опровергнуть одну и подтвердить другую точку зрения.

Вначале он установил, что катодные лучи несут отрицательный заряд. Следующий шаг Томсона – это эксперименты по отклонению катодных лучей электрическим полем. Установка представляла собой разрядную

трубку, внутри которой были укреплены две металлические пластинки, соединенные с полюсами батареи. Пучок лучей пропускаться между этими пластинками и наблюдался на экране трубки. Вначале Томсон не мог получить отклонение лучей в электрическом поле. Он наблюдал только слабое колебание луча в момент подачи разности потенциалов между пластинками. Томсон объяснил это явление действием катодных лучей на остаточный газ. Если в разрядной трубке оставался газ, то катодные лучи ионизировали его, и положительно заряженная пластинка притягивала отрицательные ионы, а отрицательно заряженная – положительно. Таким образом, заряд пластинки нейтрализовался ионизацией остаточного газа. Значит, для получения знаменитого эффекта отклонения лучей в электрическом поле необходимо было позаботиться о лучшем вакууме. Получение хорошего вакуума было трудным делом, насосы были несовершенны. Установка Томсона работала, не выключаясь, несколько дней. Был получен достаточно хороший вакуум, и отклонение катодных лучей стало хорошо заметным. Направление их отклонения подтвердило, что катодные лучи представляют собой отрицательно заряженные частицы.

Затем Томсон приступает к определению скорости и удельного заряда этих частиц. Он обобщает опыты Шустера, определявшего e/m по отклонению катодных частиц в магнитном поле, используя для определения этого отношения как магнитное, так и электрическое поля.

Данные экспериментов Томсона показали, что значения e/m для различных газов, в пределах экспериментальных ошибок, одинаково. Томсон писал, что "постоянство значения e/m для ионов, составляющих катодные лучи, есть поразительный контраст изменчивости соответствующих величин для ионов, которые несут ток в электролитах... Если мы сравним значение $e/m = 7,7 \cdot 10^6$ для ионов в катодных лучах с соответствующими величинами для ионов, которые несут ток в электролитах, мы придем к очень интересному значению: наибольшее значение e/m в случае электролиза будет при водородном ионе, в этом случае $e/m = 10^4$.

Когда мы рассматриваем электрический заряд, несомый ионом в катодных лучах, мы, принимая, что он равен по модулю заряду, несомому водородным ионом при электролизе, заключаем, что масса водородного иона должна быть в 770 раз больше массы иона в катодных лучах; следовательно, носитель отрицательного электричества в этих лучах должен быть очень малым по сравнению с массой водородного атома".

Этот результат ошеломил Томсона, и он предпринимает его тщательное изучение, улучшает методику эксперимента с целью получения более точных значений e/m , определяет это значение для отрицательных частиц, испускаемых металлами под действием ультрафиолетового света, для частиц, испускаемых нагретыми металлами, и находит его таким же, как и для катодных частиц. После долгих размышлений Томсон приходит к следующим заключениям:

1. "...атомы неделимы, отрицательно заряженные частицы могут вылетать из них под действием электрических сил, удара быстро движущихся атомов, ультрафиолетового света или тепла";
2. "...все эти частицы одинаковой массы несут одинаковый заряд отрицательного электричества от любого рода атомов, и они являются составной частью всех атомов";
3. "...масса этих частиц меньше одной тысячной массы атома водорода".

Томсон назвал эти частицы корпускулами. Однако это название не удержалось в науке. По предложению ирландского физика Дж. Стонея частицу, несущую элементарное количество электричества, стали называть электроном.

9. АТОМ

Со времен Демокрита атом понимался большинством ученых как неделимая частица – первооснова всего существующего в мире. Однако, по мере развития науки, взгляд на атом постепенно менялся. Так, английский ученый Вильям Праут (1785 – 1850) в 1815 г. высказал гипотезу, что атомы всех элементов построены из атомов водорода. Француз Жан Батист Андре Дюма (1800 – 1884) считал, что все элементы состоят не из водородного атома, а атома, в четыре раза меньшего. Открытие периодического закона выдающимся русским химиком Дмитрием Ивановичем Менделеевым (1834 – 1907) подтверждало мысль о сложном строении атома, указывало на общие свойства различных элементов.

Некоторые ученые пытались раскрыть физическое содержание периодического закона, исходя из гипотез о структуре атома. Русский ученый, профессор Московского университета Борис Николаевич Чичерин (1828 – 1904), анализируя свойства химических элементов, также пришел к идее о сложном строении атома.

Ирландский ученый Джордж Джонстон Стоней (1826 – 1911), исходя из электромагнитной теории Максвелла и идеи дискретности заряда, в 1898 г. объяснял причину спектров орбитальным движением электронов в атоме.

Однако, идеи этих ученых о сложном строении атома были всего лишь гипотезами, смутными догадками, не опирающимися на экспериментальные доказательства. Открытие радиоактивности и электрона были как раз теми фактами, которые прямо говорили, что атом имеет сложное строение. Эти открытия дали новый толчок в разработке моделей атома.

9.1. Модель атома Д.Д. Томсона

Первой научной гипотезой о строении атома, опирающейся на новые открытия, была модель, предложенная Томсоном. Обращение к построению атома было вызвано открытием электрона, являющегося составной частью всех атомов. Кроме того, явление радиоактивности говорило о том, что оно зависит от "изменений, происходящих в атомах радиоактивных веществ". В своей модели Томсон развивает теорию строения атома, предложенную в 1902 г. Уильямом Томсоном в статье "Эпинус атомизированный". У Томсона атом представляет со-

бой сферу, равномерно заряженную положительным электричеством, в центре которой помещен электрон. Томсон опирается на эту модель и предлагает свою.

Модель Томсона представляла собой равномерно заряженную положительным зарядом сферу, в которой вращались или покоились электроны (корпускулы, как их называл Томсон). Поскольку атом в целом нейтрален, то общий заряд электронов равен положительному заряду сферы. Объем сферы гораздо больше объема корпускулы. Электроны вращаются по круговым орбитам, расположенным на различных расстояниях от центра сферы, зависящих от скорости электронов. При некоторой скорости корпускулы достигают поверхности сферы, а дальнейшее увеличение скорости заставляет их покидать сферу. Это означает, что атом распался. Томсон заключает, что атом устойчив тогда, когда кинетическая энергия корпускул не превышает некоторой предельной величины.

Модель Томсона не была свободна от недостатков. Главным из них был вопрос о распределении положительного заряда в атоме, размерах положительно заряженной сферы. Томсон знал об этом слабом месте своей модели.

В книге "Корпускулярная модель вещества" он писал: "В каком виде положительное электричество пребывает в атоме – это вопрос, относительно которого мы в настоящее время осведомлены весьма мало..." За отсутствием определенных сведений о том, в каком виде положительное электричество находится в атоме, мы рассмотрим такое распределение положительного электричества, которое представляет собой случай, наиболее доступный для математического вычисления, именно когда это электричество представляет собой шар постоянной плотности..." Для простоты Томсон предполагал, что электроны в его модели размещаются в одной плоскости. Эти слабости его модели проявились при объяснении различных физических и химических явлений. Так, томсоновская модель атома позволяла объяснить линейчатый спектр атомов, однако закономерности в спектрах не удалось объяснить. Не удалось полностью объяснить и периодическую систему, хотя, безусловно, модель Томсона обнаруживала сходство с законом Менделеева.

Модели атома Томсона был нанесен удар исследованиями Резерфорда и его учеников по рассеянию α -частиц. Суть этих исследований заключалась в следующем. Поток α -частиц, испускаемых радием, пропускаться через маленькое отверстие в трубку с откаченным из нее воздухом. На небольшом расстоянии от отверстия находился сернистоцинковый экран. При ударе о него α -частиц получалось изображение светлого пятна. При закрывании отверстия тонкой металлической пластинкой изображение светлого пятна на экране несколько размывалось, т.е. α -частицы рассеивались веществом металлической пластинки. Изучение рассеяния показало, что небольшое число α -частиц (примерно 1/8000) отклонялось на угол больше 90° . Модель Томсона не допускала таких больших отклонений. Математический расчет показывал, что такие большие отклонения могут происходить, если α -частицы попадают под влияние сильных электрических полей, существующих вокруг зарядов, сконцентрированных в очень малом объеме. Электрическое поле, создаваемое положительно заряженной, размытой по всему объему атома сферой, не могло оказывать такого сильного влияния на α -частицу, и ее столкновение с электроном не могло повлиять на траекторию движения, поскольку масса α -частицы почти в 8000 раз больше массы электрона. Поэтому Резерфорд приходил к выводу, что почти вся масса атома сосредоточена в положительно заряженном ядре. Вокруг него, как планеты вокруг Солнца, вращаются электроны.

Модель атома Резерфорда – новый этап в развитии физики атома.

9.2. Резерфорд и планетарная модель атома

Эрнест Резерфорд родился в 1871 г. в деревне Брайтуотер в Новой Зеландии. Отец его, небогатый фермер, имел большую семью из 12 детей. Эрнест был четвертым ребенком. Отец не мог дать всем детям хорошего образования, и поэтому Резерфорд со школы учился так, что добивался всегда стипендий для продолжения образования. Он окончил небольшой Кентерберийский университет с отличием, получил степень магистра по физике и математике в 1894 г. Кроме того он получил премию, которую присуждали наиболее талантливым выпускникам провинциальных университетов для прохождения стажировки в лучших университетах Англии. В Кембриджском университете по инициативе Томсона с 1895 г. допускались молодые талантливые исследователи из других стран мира. До этого здесь могли учиться только англичане. Среди первых иностранцев, приехавших в Кембридж в Кавендишскую лабораторию был Резерфорд. До приезда в Кембридж Резерфорд не встречался с Томсоном. Он, конечно, хорошо знал научные труды Томсона и представлял его важным и старомодным человеком, но первая же встреча с руководителем Кавендишской лаборатории поразила Резерфорда своей теплотой и сердечностью. О своем впечатлении от этой встречи Резерфорд написал своей невесте: "Томсон очень приятен в разговоре и отнюдь не допотопный ученый... Я очень доволен, что приехал в Кембридж... Томсон восхитителен".

Резерфорд приехал в лабораторию со своей темой по вопросам телеграфии без проводов, начатой еще в Новой Зеландии. Томсон в это время занимался исследованием электропроводности газов под действием недавно открытых рентгеновских лучей.

В 1896 г. на собрании Британской ассоциации Резерфорд познакомился с результатами исследований итальянского ученого Гульельмо Маркони (1874 – 1937), которому удалось уловить электрические сигналы на расстоянии, вдвое превышавшем расстояние, на котором принимал сигналы Резерфорд. Узнав об исследованиях Маркони, Резерфорд прекратил дальнейшие эксперименты со своим детектором. Его заинтересовали исследования Томсона. Томсон предложил Резерфорду провести совместное исследование по изучению явления ионизации газов под действием рентгеновских лучей. Это было в марте 1896 г., а уже в ноябре появилась статья, в которой приводились важные результаты совместных исследований Томсона и Резерфорда.

В 1899 г. Резерфорд опубликовал работу, содержащую результаты экспериментов по изучению излучения урана и его соединений. Эти исследования стали одними из основных в его жизни, начатые в Кавендишской лаборатории, они были продолжены в Монреале, а затем в Манчестере.

В 1898 г. Резерфорд получил приглашение в Монреальский университет в Канаде на должность профессора кафедры теоретической физики. Рекомендую Резерфорда на эту должность, Томсон писал: "У меня никогда не было молодого ученого с такими... способностями к оригинальным исследованиям, как господин Резерфорд, и я уверен, что если он будет избран, он создаст выдающуюся школу физики... Я считал бы счастливым то учреждение, которое закрепило бы за собой Резерфорда в качестве профессора физики". Научная деятельность Резерфорда в Монреале ознаменовалась рядом замечательных открытий. Здесь он открыл эманацию тория. Эманация тория – это испускание радиоактивного газа наряду с α -излучением. Позднее эманацию тория назвали торонем, подобно тому, как был назван радоном радиоактивный газ, испускаемый радием. Резерфорд привлек к своим исследованиям в Монреале Содди, и они в 1903 г. доказали, что радиоактивность – это есть самопроизвольный процесс перехода одних элементов в другие, который сейчас называется радиоактивным распадом. В этом же году Резерфорд в возрасте 32 лет был выбран членом Лондонского Королевского общества.

В 1907 г. он был приглашен в университет города Манчестер. Сюда Резерфорд приглашает талантливых молодых исследователей из многих стран мира. Среди них были Ганс Гейгер (1882 – 1945) – изобретатель счетчика элементарных частиц, Генри Мозли (1887 – 1915), сделавший важное открытие в изучении рентгеновских спектров, Нильс Бор – создатель квантовой модели атома. В Манчестере Резерфордом и его учениками сделан ряд выдающихся открытий. Среди них – создание планетарной модели атома. В 1908 г. Резерфорд получает Нобелевскую премию по химии. В 1919 г. он, после ухода в отставку Томсона, занимает место руководителя Кавендишской лаборатории. Международная школа физики, организованная Томсоном в стенах Кавендишской лаборатории, получила дальнейшее развитие при его преемнике. Его русский ученик П.Л. Капица сравнил своего учителя с Фарадеем: "Резерфорд был экспериментатором, и в этом отношении напоминал Фарадея. Он мало пользовался формулами и мало прибегал к математике. Иной раз, пытаясь вывести при своих докладах формулу, он путался и тогда просто писал результат, замечая: "Если все вывести правильно, то так и получится". Но экспериментом он владел исключительно. Можно сказать, что он "видел" явление, над которым работал, хотя оно происходило в неизмеримо малом ядре атома". Резерфорд был членом многих зарубежных академий, в том числе и нашей. Он умер в 1937 г.

Вернемся к одному из выдающихся открытий Резерфорда – планетарной модели атома. В Манчестере Резерфорд предложил своим ученикам Марсдену (1889 – 1970) и Гейгеру заняться изучением рассеяния α -лучей. Суть таких опытов заключалась в следующем. Пучок α -лучей, испускаемый радиоактивным веществом пропускаться через щель и попадал на сернистоцинковый экран. На нем получалось изображение щели. Затем между щелью и экраном помещалась металлическая пластинка. В этом случае изображение щели размывалось, что показывало, что α -лучи рассеивались веществом пластинки. Изучая углы рассеяния, ученые заметили, что некоторые частицы, примерно одна из тысячи отклонялась на угол, больший, чем 90° . Когда Резерфорд узнал об этом, он сказал: "Это невозможно. Это так же невозможно, как для пули отскочить от бумаги". В это время, когда проводились эти эксперименты, (1909 г.), Резерфорд и Ройдс доказали, что α -частицы являются дважды ионизированными атомами гелия. Дважды ионизированный атом – это атом, лишившийся двух электронов, и несущий двойной положительный заряд. Столкновение таких тяжелых, по сравнению с электроном, частиц не могло привести к заметным отклонениям, если принимать во внимание модель атома Томсона, в которой положительный заряд атома размыт по сфере. Причем не следует понимать под столкновением α -частиц чисто механическое столкновение упругих шариков. Здесь при взаимодействии заряженных α -частицы с соответствующим зарядом атома вещества пластинки возникают электрические силы отталкивания. Резерфорд делает подсчет углов рассеяния α -частиц, исходя из модели атома Томсона, и приходит к заключению, что даже при многократных столкновениях α -частиц такие большие отклонения их невозможны. В 1911 г. Резерфорд делает доклад, в котором говорит о своей модели атома. Он говорит:

"Рассеяние заряженных частиц может быть объяснено, если предположить такой атом, который состоит из центрального электрического заряда, сосредоточенного в точке и окруженного однородным сферическим распределением противоположного электричества равной величины". При такой модели атома, когда положительный заряд сосредоточен в одной точке и, по существу, вся масса атома также сосредоточена в этой точке, такие отклонения становятся возможными, хотя их вероятность небольшая. Электроны в этой модели вращались по окружностям вокруг положительного ядра, как планеты вращаются вокруг Солнца, так как если бы они покоились, то упали бы на ядро под действием электрического притяжения. Из модели атома Резерфорда следовало, что заряд ядра пропорционален атомному весу.

9.3. Трудности модели атома Резерфорда

Планетарная модель атома Резерфорда успешно объяснила эксперименты Гейгера и Марсдена по рассеянию α -лучей и заменила модель атома Томсона, для которой эти опыты не имели объяснения. В то же время ядерная модель атома Резерфорда также столкнулась с рядом сложностей. Одна из них заключалась в следующем. Электроны у Резерфорда вращались вокруг ядра по криволинейной траектории, а любое криволинейное движение является ускоренным, следовательно, они должны излучать свет и при этом терять энергию, и в конечном счете должны упасть на ядро. Но этого не происходит, так как атомы, в основном, стабильны. Вторая трудность, которую эта модель не могла преодолеть, это объяснение линейчатых спектров атомов.

Изучением спектров занимался еще Ньютон. Он и заложил основы научной спектроскопии. По мере развития этой области знания было выяснено, что нагретые твердые тела, жидкости и плотные газы испускают свечение с непрерывным спектром. Разряженные газы могут также испускать свечение, если их нагреть или приложить к трубке с газом высокое напряжение. При этом полученный спектр будет не сплошным, а прерывистым, линейчатым. Любое вещество имеет свой спектр испускания, позволяющий идентифицировать это вещество. Свечение с непрерывным спектром объяснялось колебаниями атомов и молекул, которые зависели от взаимодействия атомов или молекул между собой. В разряженном газе атомы находятся на значительных расстояниях друг от друга, поэтому свет испускают изолированные атомы. Поэтому изучение линейчатых спектров помогает в решении проблемы строения атома.

В 1885 г. швейцарский ученый Иоганн Бальмер (1825 – 1898) обнаружил в спектре разряженного водорода серию линий, длины волн которых отвечали простой формуле:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right),$$

где λ – длина волны; R – постоянная Ридберга, названная в честь ученого, обобщившего формулу Бальмера на другие элементы; n – целые числа 3, 4, 5,

Модель атома Резерфорда не смогла объяснить такие закономерности в спектре водорода. Из нее вышло, что атомы должны испускать непрерывный спектр, в действительности излучение разряженных газов имело линейчатый спектр. Теория атома Резерфорда нуждалась в усовершенствовании. Необходимые видоизменения ядерной модели сделал датский ученый Нильс Бор.

9.4. Бор и квантовая модель атома

Манчестерская школа Резерфорда привлекала таланты из многих стран. В 1912 г. в Манчестер приехал Бор. До приезда в Манчестер Бор работал у автора первой модели атома – Томсона. В Манчестере он увлеченно работает над проблемами ядерной модели Резерфорда. И в 1913 г. появилась его публикация "О строении атомов и молекул", в которой Бор излагает свою модель атома. Он принимает планетарную модель атома Резерфорда и усовершенствует ее, применив к ней квантовые идеи теории теплового излучения Планка. В модели Бора электроны движутся по круговым орбитам, среди которых разрешенными являются только определенные орбиты. Он называет их стационарными. Вращаясь по этим орбитам, электрон не излучает и не поглощает энергию. Это его первый постулат, который находится в противоречии с классической электродинамикой. Излучение или поглощение энергии происходит при переходе электрона с одной орбиты на другую. Квант энергии, испускаемый или поглощаемый при этих переходах, равен разностям энергий, которыми обладал электрон в стационарных состояниях. Это второй постулат Бора. Причем испускание кванта энергии происходит при перескакивании электрона с верхней орбиты на нижнюю, а поглощение – при переходе с нижней орбиты на верхнюю. Для подсчета энергий электрона на разрешенных орбитах и радиусов таких орбит он вводит условие квантования, которое не имело прочного теоретического обоснования, но оно позволяло объяснить сериальные закономерности в спектрах атома водорода. Для атома водорода радиус первой разрешенной орбиты равнялся $0,529 \times 10^{-10}$ м. Остальные радиусы возрастали как n^2 , где $n = 1, 2, 3, \dots$. Например, радиус второй боровской орбиты равнялся четырем радиусам первой боровской орбиты. В модели Бора квантовалась и энергия. Наименьшее значение энергии в атоме водорода имеет электрон, находящийся на первой орбите, и эта энергия равнялась – 13,6 эв. На других, более высоких орбитах, энергия увеличивалась обратно пропорционально квадрату номера орбиты. Низший энергетический уровень называется основным состоянием, более высокие – возбужденным состоянием. При комнатной температуре почти все атомы водорода находятся в основном состоянии. При более высоких температурах электрон переходит в возбужденное состояние, а из возбужденного состояния он может перейти в более низкое состояние, испуская при этом фотон. Такими переходами обусловлены спектры испускания. Так для серии Бальмера переходу с третьей орбиты на вторую соответствует красная линия (656 нм.), а переходу с четвертой орбиты на вторую соответствует сине-зеленая линия (486 нм.) Модель Бора позволила объяснить линейчатые спектры. Она решила вопрос о стабильности атомов. Несмотря на эти блестящие результаты теории Бора, она имела также существенные недостатки. Теория Бора представляла собой смесь классических и квантовых представлений. Условие квантования в этой теории не имело логического обоснования. В то время, как теория Бора успешно решила задачу водородного атома, имеющего всего один электрон, она встала в тупик при решении задач многоэлектронных атомов, например, атома гелия. Бор сам признавал недостатки своей теории. Он писал: "Однако едва ли нужно подчеркивать, что теория в значительной степени находится еще в начальной стадии своего развития и что существует еще много фундаментальных вопросов, ожидающих своего решения".

9.5. Принцип соответствия

В 1918 г. продолжая развивать свою теорию, Бор сформулировал принцип соответствия, который утверждал, что квантовая теория должна приводить к тем же результатам, которые предсказывает классическая теория, когда она имеет отношение к макромиру, когда квантовые числа имеют большую величину.

Например, в случае атома водорода, размеры орбит и значения энергий сильно различаются для квантовых чисел равных 1 и 2, а для квантовых чисел, равных 100 000 и 100 001, различие в размерах орбит и значений

энергий несущественны, и квантовая теория приводит к тем же результатам, какие следуют из классической теории. Принцип соответствия сыграл важную роль в дальнейших открытиях Бора и его учеников. Используя этот принцип и свою теорию атома, Бор развил представления об образовании электронных конфигураций в атоме при возрастании атомного номера, дает обоснование периодической системе элементов, предсказывает существование 72 химического элемента, который был открыт Хевеши и Костером в его же институте в 1922 г.

9.6. Нильс Бор

Приведем биографические сведения об этом выдающемся ученом. Нильс Бор родился 7 октября 1885 г. в семье профессора физиологии Копенгагенского университета. Окончив школу в 1903 г., Нильс Бор поступил в Копенгагенский университет на естественный факультет. Экспериментальная физика в университете преподавалась на недостаточно высоком уровне, лабораторий, таких, какие создавались во многих европейских странах, здесь не было, и Бор много времени проводил в лаборатории отца, в которой проводились физико-физиологические эксперименты. Такие занятия привили интерес к такой тематике, что впоследствии нашло отражение в его творчестве. В университете его работа о поверхностном натяжении была выставлена на конкурс и получила золотую медаль Датского Королевского общества. Весной 1911 г. Бор защитил докторскую диссертацию на тему " Анализ электронной теории металлов" и отправился на годичную стажировку в Кавендишскую лабораторию, которой руководил Томсон.

Бор был привлечен репутацией известного ученого. Кроме того, его интересовало мнение Томсона, одного из авторов электронной теории проводимости, о своей диссертации. Но Томсон был так загружен, что так и не прочитал диссертации Бора. Томсон дал Бору тему экспериментальной работы по электропроводности в газах. Установку приходилось монтировать самому. Бор учился стеклодувному мастерству, но в итоге оказалось, что из эксперимента ничего не получилось. Осенью Бор в Манчестере познакомился с Резерфордом и попросился поработать в его лаборатории. Резерфорд согласился при условии, что Бор отпросится у Томсона. Получив согласие Томсона, Бор перебирается к Резерфорду. Здесь он увлекся проблемами, волновавшими Резерфорда и его сотрудников – проблемами атома. Это стало делом его жизни. За четыре месяца, проведенные в Манчестере, Бор подружился с Резерфордом, и эта дружба продолжалась до кончины Резерфорда.

Осенью Бор возвращается в Копенгагенский университет, где получает должность приват-доцента. Так началась его педагогическая деятельность. В 1916 г. Бор занимает должность профессора кафедры теоретической физики. В 1920 г. он организует институт теоретической физики при Копенгагенском университете. Этот институт становится крупным международным центром теоретической физики, который сейчас носит имя его основателя. В 1922 г. Бор был удостоен Нобелевской премии. В 1943 г. Бор был вынужден покинуть оккупированную Данию. Он уезжает в Швецию, затем его на самолете вывозят в Англию, а затем в США, где он работал над проектом атомной бомбы. После войны, в августе 1945 г., Бор вернулся в Данию, где и умер в 1962 г.

10. ВОЛНЫ ДЕ БРОЙЛЯ. КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА

10.1. Гипотеза де Бройля

Вернемся к модели атома Бора. Мы уже отмечали, что эта модель столкнулась с трудностями при объяснении многоэлектронных атомов. Требовали логического обоснования некоторые гипотезы Бора. В 1923 г. французский ученый Луи де Бройль (1892 – 1987) выдвинул идею о том, что материальные частицы, например, такие, как электрон, обладают волновыми свойствами. Эта идея была им выдвинута из соображений симметрии в природе. Если свет обладает как волновыми, так и корпускулярными свойствами, то и частицы должны обладать волновыми свойствами. Длина волны λ для частиц массой m , движущихся со скоростью v , определялась по формуле:

$$\lambda = \frac{h}{mv},$$

где mv – импульс частицы.

Длина волны частиц λ очень мала, и для обычных тел экспериментально доказать волновую природу невозможно, так как волновые свойства, такие как дифракция, проявляются тогда, когда размеры щелей соизмеримы с длиной волны. Но таких малых щелей мы не знаем. Однако, для электронов, крошечных частиц, движущихся, к примеру, со скоростью на два порядка ниже скорости света, дебройлевская длина волны равняется приблизительно 10^{-10} м. Такой размер совпадает с межатомными расстояниями в кристаллах. Следовательно, кристаллы могли служить в качестве дифракционной решетки, и волновой эффект электронов мог бы быть обнаружен. Такой эксперимент провели в 1927 г. американские ученые Дэвиссон (1881 – 1958), Джермер (1896 – 1971) и, независимо от них, английский ученый, сын Дж.Дж. Томсона, Дж.П. Томсон (1892 – 1975). Они обнаружили дифракцию электронов, подтвердив экспериментально волновую природу электронов и, следовательно, гипотезу де Бройля. У де Бройля электронам соответствовали круговые стоячие волны, и число их должно равняться целым числам. В противном случае они, вследствие интерференции, быстро затухали. Так как длина окружности равняется $2\pi R$, и на ней укладывается целое число длин волн $n\lambda$, где $n = 1, 2, 3, \dots$, то, подставив вместо λ формулу де Бройля, получим: $2\pi R = n \frac{h}{mv}$. Или $mVR = \frac{nh}{2\pi}$. Эта формула и является условием квантования,

приводимая Бором в его атомной теории в качестве допущения. У де Бройля условие квантования Бора обосновано логически. Квантование у де Бройля вытекает из самой волновой природы электронов. За открытие волновой природы электронов де Бройль был удостоен Нобелевской премии в 1929 г.

10.2. Квантовая механика

Идеи де Бройля получили развитие в трудах австрийского ученого Эрвина Шредингера (1887 – 1961) и немецкого ученого Вернера Гейзенберга (1901 – 1976), разработавшими независимо новую теорию, получившую название квантовой механики. Квантовая механика, развиваясь, стала фундаментальной теорией, успешно объяснявшей явления микромира, но и в макромире квантовая теория приводит к тем же результатам, к которым приводит классическая механика. Она полностью удовлетворяет принципу соответствия. Но это не означает, что квантовая механика заменила механику Ньютона. Ньютонская механика находит свое применение для макротел. Законы классической механики проще и дают достаточно точные результаты при описании движения обычных тел. Так космические корабли летают по законам механики Ньютона. Но в микромире, в мире атомов и молекул, на смену законам классической механики приходят законы квантовой механики.

Шредингер получил основное уравнение квантовой механики в 1926 г. В его уравнение входила волновая функция ψ (пси), интерпретация которой представляла тогда трудную задачу. Шредингер пытался представить ее как группу волн ("волновой пакет"), которая и представляет движущуюся микрочастицу, но для двух частиц такая наглядная интерпретация становилась невозможной. В том же году немецкий физик Макс Борн (1882 – 1970) дал иную интерпретацию волновой функции. Смысл имеет не сама функция, а квадрат модуля ψ . Квадрат модуля этой функции определяет плотность вероятности нахождения частицы в данной точке пространства.

10.3. Принцип неопределенности Гейзенберга

В 1927 г. Вернер Гейзенберг выдвинул принцип неопределенности, носящий сейчас его имя. Этот принцип утверждал, что нельзя одновременно абсолютно точно измерить положение (координату) и импульс (mv) частицы. Если мы попытаемся точно измерить импульс объекта, то тем самым мы внесем неопределенность в измерение положения объекта. Это не означает, что мы не сможем точно определить или положение или импульс частицы. Чем точнее мы определяем положение частицы, ее координату, тем самым мы вносим большую неопределенность в измерении ее импульса. Следовательно, хотя положение частицы в какой-то момент времени определено точно, мы не можем предсказать ее положение в другой промежуток времени, так как неизвестен ее импульс. Математически принцип Гейзенберга выглядел так:

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{2\pi}.$$

Этот принцип утверждает, что в мире атомных явлений неприемлемы представления классической механики. Электрон обладает волновыми свойствами. Поэтому его нельзя считать материальной точкой, точно локализованной во времени и пространстве. Так как постоянная Планка мала, то неопределенности Гейзенберга в макромасштабах оказываются пренебрежимо малыми, но в мире микрочастиц эти неопределенности становятся существенными. Принцип неопределенности отчетливо выражает вероятностную природу квантовой механики. Причем вероятность в квантовой механике отличается от вероятности, которую используют в молекулярно-кинетической теории и термодинамике. В этих дисциплинах введение вероятности обусловлено описанием поведения больших ансамблей частиц (молекул, атомов), что не дает возможности проследить за поведением отдельной частицы. В квантовой механике вероятность присуща самой природе.

10.4. Принцип дополнительности

Вероятностный подход в интерпретации квантовой механики получил название копенгагенского по имени города, в котором работал Бор и его ученики. Бор высоко оценил принцип Гейзенберга и выдвинул принцип дополнительности. Согласно этому принципу понимание природы материи требует учета как волновых, так и квантовых свойств частиц материи, т.е. электрон можно описать как с помощью корпускулярных, так и с помощью волновых представлений. "Удивительно, – писал Луи де Бройль, – каким образом два столь различных описания, можно сказать, столь противоречащих друг другу, можно использовать одновременно. Он (С.К. Бор) показал, что это можно сделать потому, что соотношение неопределенности как следствие существования кванта действия не позволяет вступить этим двум образам в прямое противоречие. Чем более стремятся уточнить в процессе наблюдения одну картину, тем более смутной становится другая. Когда длина волны электрона такова, что существенную роль может играть явление интерференции, его нельзя больше считать локализованным и использовать корпускулярные представления. Наоборот, когда электрон строго локализован, его нельзя больше описывать с волновой точки зрения. Волновые и корпускулярные свойства никогда не вступают в конфликт, ибо они никогда не существуют одновременно... Понятие электрон, так же как и другие элементарные физические понятия, имеет, таким образом, два противоречивых аспекта, к которым, однако, нужно обращаться по очереди, чтобы объяснить все его свойства..." Эти два аспекта Бор и назвал *дополнительными*, понимая под этим, что они с одной стороны, противоречат друг другу, с другой – друг друга дополняют.

Не все большие ученые приняли принцип неопределенности так, как Бор. Эйнштейн, как писал Бор, "выразил глубокую тревогу по поводу того, что в квантовой механике так далеко отошли от причинного описания в пространстве и времени". Шредингер считает, что единственной реальностью в мире является волна, и критикует корпускулярные представления Гейзенберга. Несмотря на разногласие среди ученых, принцип неопределенности и законы квантовой механики являются фундаментальными законами природы.

Итак, квантовая механика – это новый взгляд на природу. Классическая механика, механика Ньютона, оперирует наглядными и доступными представлениями. Мир в этой механике строго детерминирован. Если

нам известно положение и скорость частицы в какой-то момент времени, то мы абсолютно точно можем предсказать положение этой частицы в любой другой момент времени. В квантовой механике действует принцип неопределенности, и мы не можем точно знать одновременно положение и скорость частицы в какой-то момент времени, а тем более говорить о положении и скорости ее в последующие времена. Мы можем говорить о вероятности нахождения частицы в той или другой точке пространства. В классической механике тела имеют строго определенную форму и размеры. В квантовой механике нельзя говорить об определенных размерах и формах частиц, так как они имеют волновую природу. Так, электрон нельзя представлять, как шарик. Такие наглядные модели не годятся в квантовой механике. Электрон "размазан" в пространстве подобно "облаку" отрицательного электричества. Квантовая механика позволяет найти форму и размеры такого облака. Квантовая механика утверждает, что в атоме нет пустого пространства, следовательно, его нет и во Вселенной. По существу, возрождает Аристотелевский взгляд на Вселенную, не имеющую пустоты, но только на качественно новом уровне. Квантовая механика не только успешно решила задачу атома водорода, но и многоэлектронных атомов. В теории атома Бора было одно главное квантовое число n , ответственное за полную энергию атома. В квантовой механике в дополнение к главному квантовому числу добавляются еще три квантовых числа. Орбитальное квантовое число l , магнитное квантовое число m и спиновое квантовое число m_s , которое могло принимать два значения ($+\frac{1}{2}$ и $-\frac{1}{2}$). Для объяснения возможных конфигураций электронов в многоэлектронных атомах Вольфганг Паули (1900 – 1958) сформулировал принцип, который сейчас носит его имя. Согласно этому принципу в атоме не могут находиться два электрона в одном состоянии, т.е. два электрона в одном квантовом состоянии не могут иметь одинаковый набор квантовых чисел. Открытие принципа Паули дало ключ к пониманию периодической системы элементов Менделеева.

11. АТОМНОЕ ЯДРО

11.1. Открытие масс-спектропии

Томсон, автор открытия электрона, элементарной отрицательно заряженной частицы, в 1906 г. обратился к экспериментам с положительно заряженными частицами. Объектом его исследований стали лучи, открытые в 1885 г. Гольдштейном. Катодные лучи, представляющие собой поток электронов, двигаются от катода к аноду газоразрядной трубки. Гольдштейн, используя катод с высверленным в нем каналом, обнаружил лучи, устремлявшиеся от анода через этот канал за катод. Он назвал эти лучи канальными. Томсон считал это название неудачным, и предложил называть их лучами положительного электричества, так как они были положительно заряженными. Установка, с которой Томсон начал исследования положительного электричества, представляла собой газоразрядную трубку с плоским экраном. Узкий пучок этих лучей пропускался между двумя латунными пластинками. В пространстве между ними создавались электрическое и магнитное поля, перпендикулярные пластинкам. На экране трубки Томсон наблюдал следы лучей в виде частей парабол, поэтому его метод изучения этих лучей называли методом парабол. Вскоре Томсон нашел, что удобнее исследовать параболы на фотографических пластинках. На фотопластинках Томсон смог увидеть параболы, соответствующие различным газам. Этот метод давал возможность определить состав газов, находящихся в разрядной трубке, и стал мощным средством химического анализа. Изучая фотографии парабол некоторых газов, Томсон, наряду с другими параболом, увидел яркую параболу неона с атомной массой 20. Рядом с этой параболой всегда обнаруживалась параболом с атомной массой 22. Так как ни один из известных элементов не имел такую атомную массу, то Томсон заключил: "...мы имеем дело с новым элементом". Он еще не предполагал, что химический элемент может иметь изотопы. Возможность существования изотопов у атомов была предсказана Содди в 1913 г. Ученик Томсона Френсис Астон (1877 – 1945) попытался отделить этот "новый" элемент от неона, но безуспешно. В 1919 г. Астон вернулся к этим попыткам и в результате изобрел новый прибор – масс-спектрограф, и открыл еще изотопы некоторых других элементов. Открытие изотопов, более раннее открытие радиоактивности говорило о сложном строении ядра атома.

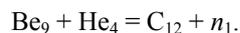
11.2 Искусственная ядерная реакция

В 1919 г. Резерфорд в Кавендишской лаборатории открывает искусственное расщепление ядра. Он бомбардировал α -частицами атомы азота. В результате он наблюдал, что из бомбардируемого вещества вылетали лучи с очень длинным пробегом, гораздо более длинным, чем пробег бомбардирующих α -лучей. Резерфорд выяснил, что в результате бомбардировки атомы азота распадаются. Это первая искусственная ядерная реакция. Резерфорд высказал также предположение, что ядра водорода представляют собой составную часть ядер атомов. Впоследствии Резерфорд предложил термин "протон" для этой составной части ядер. На основании своих экспериментов по расщеплению ядра азота и на основании гипотезы Марии Склодовской-Кюри о том, что в состав атомного ядра входят электроны, Резерфорд высказывает гипотезу о существовании нейтрона и тяжелого изотопа водорода.

11.3. Открытие нейтрона

Нейтрон, тяжелая частица с массой, равной примерно массе протона, и не имеющая заряда, была открыта английским ученым Чэдвиком (1891 – 1974). В 1932 г. он изучал излучение бериллия, подвергаемого бомбардировке α -лучами. Объясняя это излучение на основе законов сохранения, Чэдвик заключил, что "излучаемая

бериллием частица должна иметь крайне малый заряд по сравнению с зарядом протона. Естественнее всего принять, что она вообще не несет никакого заряда. Все свойства излучения бериллия могут быть легко объяснены с помощью такой гипотезы: *это излучение состоит из частиц с массой 1 и зарядом 0, т.е. из нейтронов*". Механизм образования нейтронов у Чэдвика заключался в следующем. При соударении α -частицы с ядром бериллия она захватывается его ядром, в результате образуется новое ядро, которое испускает нейтрон. Такая ядерная реакция выглядит так:



Нейтрон в этой реакции обозначен n_1 . Открытие Чэдвика получило в дальнейшем экспериментальное подтверждение. За это открытие он был удостоен Нобелевской премии в 1935 г. Так была подтверждена первая гипотеза Резерфорда о том, что в состав ядра должны входить нейтроны. Вторая гипотеза Резерфорда о существовании изотопа водорода с массой 2 была экспериментально подтверждена профессором химии Колумбийского университета Геральдом Юри, который опубликовал результаты своего открытия в 1932 г.

11.4. Протонно-нейтронная модель ядра атома

Открытие нейтрона сразу привело к изменению представления о строении ядра атома. Существовавшая до открытия нейтрона гипотеза о том, что в состав ядра входят протоны и электроны, не находила поддержки большинства ученых. В 1932 г., удивительно плодотворно на выдающиеся открытия, русский ученый Дмитрий Дмитриевич Иваненко выдвинул гипотезу о протонно-нейтронной модели ядра, электроны в его модели не входили в состав ядра. Несколько позже подобную модель ядра высказал и Гейзенберг. Надо сказать, что эта модель была принята скептически многими учеными. Она, как им казалось, противоречила испусканию электронов при β -распаде. Гейзенберг вспоминал, что "его сильно критиковали самые крупные физики". Иваненко много сил потратил и на убеждение ученых в правоте своего открытия и на отстаивание своего приоритета. Вскоре протонно-нейтронная модель ядра была признана и стала общепринятой, хотя до сих пор ядро атома содержит еще много тайн. Скажем несколько слов о частицах, составляющих ядро атома. (Следует вспомнить, что и протоны и нейтроны, согласно квантовой механике, обладают и волновыми свойствами).

ПРОТОН – это ядро атома водорода, заряд его равен заряду электрона по величине и противоположен по знаку ($+e = 1,6 \times 10^{-19}$ Кл.), а масса ($m_p = 1,6726485 \pm 0,0000086$) $\times 10^{-27}$ кг.

НЕЙТРОН имеет заряд, равный нулю, и массу, практически равную массе протона ($m_n = 1,674954 \pm 0,000009$) $\times 10^{-27}$ кг.

Нейтроны и протоны получили общее название *нуклонов*. Общее число нуклонов в ядре, т.е. число протонов и нейтронов в ядре, получило название *массового числа* и обозначается буквой A . Число протонов в ядре обозначается Z . Оно называется *атомным номером* и равно также числу электронов на внешней оболочке атома. Число нейтронов в ядре $N = A - Z$.

*Химические элементы по предложению супругов Жюлио-Кюри обозначают с двумя индексами слева от обозначения элемента: Верхний индекс обозначал массовое число, нижний – число протонов, например, ${}^{27}_{13}\text{Al}$, ${}^1_1\text{H}$. В ядрах одного и того же химического элемента число нейтронов может быть различно, а число протонов – одно и то же. Такие ядра, имеющие одинаковое число протонов, но различное число нейтронов, называются **изотопами**. Некоторые изотопы не встречаются в природе, но могут быть получены в лабораториях ученых в результате ядерных реакций.*

11.5. Энергия связи ядра

Общая масса ядра оказалась меньшей, чем сумма масс, составляющих ядро нуклонов. *Разность масс нуклонов и массы ядра называется полной энергией связи ядра или дефектом масс*. Связь массы с энергией выдвинул еще Эйнштейн. Его знаменитая формула, выражающая такую связь, имеет вид:

$$E = mc^2,$$

где m – масса; c – скорость света; E – энергия. Энергия связи ядра равна работе, которую надо затратить, чтобы разделить нуклоны в ядре. Эта энергия очень большая. Если сравнить ее с энергией связи электрона в атоме водорода, то она превосходит ее в 10^6 раз. Уместен вопрос, как же удерживаются нуклоны в ядре? Протоны несут положительный заряд, и между ними действуют электрические силы отталкивания, нейтроны не имеют заряда. Следовательно, в ядре действуют еще какие-то силы, которые значительно превосходят электрические силы. Эти силы получили название *сильного взаимодействия*. Эти силы короткодействующие. Они действуют только на очень малых расстояниях, меньших, примерно, 10^{-6} м. Выше этого расстояния они практически спадают до нуля. Вот эти ядерные силы и удерживают нуклоны в ядре. Ядерное взаимодействие не зависит от зарядов. Оно одинаково между двумя протонами, протоном и нейтроном, между двумя нейтронами. Это свойство называется зарядовой независимостью ядерных сил. Точные размеры ядра неизвестны из-за корпускулярно-волнового дуализма, но примерные расчеты показывают, что объем ядра пропорционален числу нуклонов ($V \propto A$).

Еще один из типов взаимодействий, существующих в природе, называется *слабым взаимодействием*. Оно проявляется при β -распаде.

Итак, в природе существуют четыре типа взаимодействий: 1) гравитационное; 2) электромагнитное; 3) сильное взаимодействие; 4) слабое взаимодействие.

Ядра могут быть стабильными и нестабильными. Стабильные ядра существуют сколь угодно долго, нестабильные превращаются в результате радиоактивного распада в другие ядра. В стабильных ядрах число протонов примерно равно числу нейтронов. Такое равенство наблюдается примерно до сорокового элемента таблицы Менделеева. При более высоких порядковых номерах элементов число нейтронов превосходит число протонов. Это отражает тот факт, что при увеличении порядкового номера химического элемента увеличиваются кулоновские силы отталкивания, и для поддержания стабильности ядра требуются больше нейтронов, у которых нет электрических взаимодействий, а имеется только ядерное взаимодействие, что позволяет компенсировать увеличивающиеся кулоновские силы. С 82 элемента стабильных ядер нет.

11.6. Открытие позитрона

В 1932 г. было получено сообщение об обнаружении в составе космических лучей новой элементарной частицы – позитрона. Космические лучи были открыты австрийским ученым Виктором Гессом (1883 – 1964). Он поднялся с электрометром на воздушном шаре и зафиксировал наличие в мировом пространстве излучения "большой проникающей способности". За это открытие ему в 1936 г. была присуждена Нобелевская премия. Американский физик Карл Андерсон сумел получить фотографии треков космических частиц, отклоняемых сильным магнитным полем. Эти фотографии убедительно доказали, что космические лучи представляют собой поток электронов и частиц, отклонявшихся магнитным полем в противоположную сторону, которые он назвал позитронами. Они имели массу, равную массе электрона, и положительный заряд, равный заряду электрона. Позитрон – это античастица электрона.

11.7. Деление ядра

В начале 1939 г. немецкие ученые Отто Ган (1879 – 1968) и Фриц Штрассман (1902 – 1980) обнаружили, что при бомбардировке урана нейтронами иногда возникают ядра примерно вдвое более легкие, чем исходное ядро урана. Австрийский радиохимик Лизе Мейтнер (1878 – 1968) и ее племянник, физик Отто Фриш дали интерпретацию опытов Гана и Штрассмана. Согласно ей ядро урана, поглотив нейтрон, распалось на две примерно равные части. Это явление было названо делением ядра из-за сходства с делением клетки в биологии. Кстати термин "деление" был подсказан Фришу американским биологом Арнольдом. Итак, в разгадке деления тяжелых ядер участвовали ученые различных областей естественных наук – химики, физики, биологи. Это дает нам убедительный пример взаимосвязи естественных наук. Процесс деления наглядно можно изобразить, представив ядро урана в виде капли жидкости. Согласно этой модели, ядро урана, точнее изотопа урана ($^{235}_{92}\text{U}$), поглотив нейтрон, приобретает дополнительную энергию. Образуется промежуточное состояние, или составное ядро ($^{236}_{92}\text{U}$). Избыточная энергия этого возбужденного ядра приводит к более интенсивному движению нуклонов. В результате ядро приобретает удлинненную форму. Расстояние между нуклонами увеличивается и несколько убывает ядерное взаимодействие, а электрическое увеличивается. В результате ядро расщепляется на два приблизительно равных ядра. При этом испускаются два или три нейтрона. Промежуточное ядро ($^{236}_{92}\text{U}$) существует очень недолго, порядка 10^{-12} с. Поэтому, реакция деления происходит быстро. Одна из реакций деления записывается так: $^1_0\text{n} + ^{235}_{92}\text{U} \rightarrow ^{141}_{56}\text{Ba} + ^{92}_{36}\text{Kr} + 3^1_0\text{n}$. Эта модель ядра, как жидкой капли была опубликована летом 1940 г. Бором и Уиллером.

11.8. Цепная реакция

Теперь встал вопрос о цепной реакции деления. Было ясно, что в одном акте деления высвобождается большое количество энергии, так как масса осколков деления значительно меньше массы исходного ядра. Многие ученые поняли, что и эту энергию можно значительно увеличить, если нейтроны, образующиеся в одном акте деления, использовать для дальнейших актов деления, т.е. осуществить цепную реакцию. В 1942 г. Ферми со своими сотрудниками в университете Чикаго осуществили цепную реакцию, создав первый атомный реактор. В 1945 г. было создано атомное оружие.

11.9. Ядерный синтез

После решения проблемы цепной реакции ученые взялись за осуществление реакции синтеза ядер. В ядре атома гелия (^4_2He) содержатся два протона и два нейтрона. Если попытаться соединить эти частицы, то в результате получится ядро гелия. Причем масса ядра гелия будет меньше массы двух протонов и двух нейтронов. Так что в результате слияния частиц должно выделяться огромное количество энергии. Подобные реакции слияния составных частиц ядер или слияния легких ядер назвали *ядерным синтезом*. В природе реакции синтеза происходят в недрах звезд, в частности Солнца. При таких реакциях выделяется гораздо больше энергии, чем при цепной реакции. Однако решить проблему ядерного синтеза в лабораторных условиях пока не удастся. Чтобы сблизить легкие ядра до тех расстояний, при которых могло произойти слияние, их надо нагревать до очень высоких температур. Поэтому реакции такого типа еще называют *термоядерными*. На Солнце температура поверхности составляет миллионы градусов по шкале Кельвина, так что там легкие ядра разгоняются до огромных скоростей и происходит их слияние. На Земле нет материалов, которые могли бы выдерживать столь

большие температуры. Впервые человечество осуществило ядерный синтез в термоядерной бомбе, в которой в качестве "запала" служит атомная бомба, температура при взрыве которой достигает 10^8 К. Но процессы в термоядерной бомбе не управляемы и могут служить только для уничтожения всего живого. Создать управляемую термоядерную реакцию, неисчерпаемый источник энергии для человечества – это задача нынешнего времени.

12. ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ

В предыдущих главах мы познакомились с некоторыми элементарными частицами, открытыми к нашему времени. Одной из первых элементарных частиц, открытых в 1897 г., был *электрон*, затем были открыты *протон* и *нейтрон*. Из этих трех видов частиц состояли атомы всех элементов. В 1932 г. в составе космических лучей был открыт *позитрон*. Позитрон – это частица, которая имела массу электрона и заряд, по величине равный заряду электрона, но противоположный по знаку. Электрон – отрицательно заряженная частица, а позитрон – положительно заряженная частица. Позитрон – это античастица электрона. К середине 30-х гг. XX столетия было известно шесть элементарных частиц. К четырем упомянутым нами частицам добавились еще *фотон* и *нейтрино*. Сейчас известно порядка 350 элементарных частиц. Термин "элементарная частица" условен. Многие из них, по-видимому, имеют сложное строение. Термин "элементарный" понимается не как неделимый, а как частицы, из которых состоят ядра атомов или сами атомы, кроме протона, который является ядром атома водорода. Для изучения элементарных частиц был создан раздел физики – *физика элементарных частиц*. Начало физике элементарных частиц положил японский ученый Хидеки Юкава (1907 – 1981). В 1935 г. он предсказал существование новой элементарной частицы, которая могла быть обнаружена. Суть его идеи заключалась в следующем. Мы уже знаем, что свет имеет двойственную природу – это частица (фотон) и электромагнитная волна. Электромагнитное взаимодействие между заряженными частицами осуществляется посредством электромагнитного поля или посредством обмена фотонами между взаимодействующими частицами. Юкава предполагает аналогию между электромагнитными взаимодействиями заряженных частиц и фотонов (световых квантов) и ядерными взаимодействиями нуклонов и частиц (квантов ядерного поля). Юкава предположил, что новая частица, осуществляющая ядерный обмен, должна иметь промежуточную массу между массой электрона и массой протона и поэтому получила название *мезон*, что означало "промежуточный". По его оценке масса мезона должна быть в 250 раз больше массы электрона. В 1937 г. в космических лучах были обнаружены частицы с массой в 207 раз больше массы электрона, что, примерно, совпало с предсказанной Юкавой массой, и их назвали *μ-мезонами*. Но оказалось, что эта частица не принимала участие в ядерном взаимодействии и не могла быть частицей, предсказанной Юкавой. Такую частицу обнаружил Пауэлл в космических лучах в 1947 г. Ее назвали *π-мезоном*. Позже она была обнаружена в лабораторных условиях, на ускорителе заряженных частиц. Современные ускорители заряженных частиц – это сложные, дорогостоящие сооружения. Так, ускоритель в Европейском центре ядерных исследований в Женеве имеет диаметр кольца 2,2 км. Частицы разгоняются в нем до энергии, равной 500 ГэВ. Построен этот ускоритель благодаря усилиям многих ведущих европейских государств.

Все рассмотренные нами частицы принимают участие в электромагнитном и ядерном взаимодействии или, как его называют, *сильном взаимодействии*. В природе известно четыре вида взаимодействий: *электромагнитное, сильное, слабое и гравитационное*. Возникает естественный вопрос, не существуют ли частицы, осуществляющие слабое и гравитационное взаимодействие? В 1983 г. Карло Руббиа на ускорителе в Женеве, о котором мы упоминали, открыл частицу, ответственную за слабое взаимодействие. Ее назвали *W-частица*. Квант гравитационного поля, который назвали *гравитон*, пока не обнаружен.

В 1955 г. был открыт *антипротон* Э. Сегре и О. Чемберленом на мощном ускорителе заряженных частиц в Калифорнии в Беркли. За это открытие ученым в 1959 г. была присуждена Нобелевская премия. Вскоре был открыт *антинейтрон*. Оказалось, что большинство частиц имеют свои античастицы, они рождаются в ядерных реакциях, в веществе время их жизни очень недолгое. Частицы и античастицы аннигилируют друг с другом, при этом испускают гамма кванты или другие частицы

При изучении взаимодействия элементарных частиц важную роль играют законы сохранения: *закон сохранения энергии, импульса, момента импульса, заряда*. Эти законы хорошо известны в физике и строго выполняются. Изучение элементарных частиц привело к открытию новых законов сохранения, в частности, законов сохранения *барионного и лептонного зарядов*. Эти новые законы помогают объяснить, почему не проходят реакции некоторого типа, хотя они отвечают всем старым законам сохранения. В случае с законом сохранения барионного заряда было сделано предположение, что все нуклоны имеют барионный заряд, равный +1, а все антинуклоны имеют заряд –1. Во всех реакциях сумма барионных зарядов должна сохраняться. Например реакция такого типа отвечает закону сохранения барионного заряда:

$$p + n = p + \bar{n} + p + \bar{p} .$$

В левой и правой части этого уравнения сумма барионного заряда равна 2. А реакция такого типа не может произойти ($p + n = p + \bar{n} + p$). Здесь барионный заряд в левой части уравнения равен 2, а в правой части равен 1. В этих уравнениях мы обозначали p – протон; \bar{p} – антипротон; n – нейтрон.

Открытие сотен элементарных частиц потребовало их классификации. Большинство наблюдаемых сейчас частиц относятся к одному из двух семейств, к *адронам* или *лептонам*.

Различие между ними заключается в том, что адроны участвуют в сильном взаимодействии, а лептоны не участвуют. Также известно к настоящему времени шесть видов лептонов, а адронов сотни. Теоретики считают, что лептоны являются истинно элементарными частицами, а адроны имеют сложное строение. Гелл-Манн и

Цвейг независимо друг от друга выдвинули гипотезу, что адроны состоят из элементарных частиц – *кварков*. Они имеют дробный заряд $\frac{1}{3}$, $\frac{2}{3}$ заряда электрона. Попытки выделить кварки в свободном состоянии не удались и продолжают и в наше время. Все известные к нашему времени адроны были объяснены комбинациями трех кварков или парой кварк и антикварк. Так, π -мезон состоит из пары кварк и антикварк, нейтрон; антипротон состояли из трех кварков. В 1974 г. был открыт ψ -мезон. Его масса значительно превышала массы известных к этому времени мезонов. Этот новый мезон не укладывался в трехкварковую модель, и теоретики предположили существование четвертого кварка – *очарованного кварка*. Позже были введены еще два вида кварков. Теоретики в силу симметрии предполагают, что число лептонов и число кварков должно быть одинаковым. Они также считают лептоны и кварки истинно элементарными частицами.

Усилия современных теоретиков направлены на создание единой теории, объединяющей все типы взаимодействий. В начале 60-х гг. XX в. Вайнберг, Глэшоу, Салам разработали теорию, объединяющую слабое и электромагнитное взаимодействие – *электрослабую теорию*. Эта теория предсказала существование W^+ частиц, переносчиков слабого взаимодействия. Это предсказание получило экспериментальную проверку в 1983 г. Затем последовали попытки создать теорию, объединяющую три вида взаимодействий – слабое, электромагнитное и сильное взаимодействие. Такая теория получила название – *теория Великого объединения*. В одном из ее вариантов существует только один класс частиц – *лептоны и кварки*. Они свободно могли превращаться друг в друга. Такое объединение могло происходить в масштабах, меньших, чем 10^{-31} м. Если две частицы, лептоны или кварки, сближаются до расстояний, меньших, чем 10^{-31} м, то они становятся неразличимыми, и лептон или кварк могут легко превращаться друг в друга, а слабое, сильное и электромагнитное взаимодействия сливаются в единое взаимодействие. Из теории Великого объединения вытекала космологическая гипотеза, согласно которой в первые 10^{-40} с после Большого взрыва, в результате которого возникла Вселенная, температуры были такими большими, что частицы обладали энергиями, сравнимыми с масштабами объединения. В наше время делаются попытки построить теорию, объединяющую все четыре вида взаимодействий.

13. ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ЭЙНШТЕЙНА

Ньютоновские представления об абсолютном пространстве, вместившие всех тел и времени, текущем равномерно, само по себе, оставались незыблемыми почти два века. Пространство Ньютона было трехмерным, плоским евклидовым пространством. В середине XIX в. математики отошли от обычного евклидова пространства, и пришли к многомерному искривленному пространству. Наступило время критики основных положений Ньютона о пространстве и времени. Наиболее резко ньютоновские концепции пространства и времени подверглись критике со стороны физика и философа из Австрии Эрнста Маха (1838 – 1916). Время у Ньютона отделено от мира, оно существует независимо от вещей, у Маха оно неразрывно связано с вещами. Приводя высказывания Ньютона об абсолютном и относительном пространстве, абсолютном и относительном движении, Мах писал: "Об абсолютном пространстве и абсолютном движении никто ничего сказать не может; это чисто абстрактные вещи, которые на опыте обнаружены быть не могут. Все наши основные принципы механики представляют собой... данные опыта об относительных положениях и движениях тел". Маху не удалось построить новую механику, отличную от ньютоновской, но своими идеями он сыграл определенную роль в формировании взглядов создателя теории относительности Альберта Эйнштейна.

Альберт Эйнштейн родился 14 марта 1879 г. в Германии, в городе Ульме, в семье мелкого коммерсанта. Альберт не получил законченного среднего образования, и в 16 лет пытался поступить в Высшую техническую школу в Цюрихе, но провалился на вступительных экзаменах. Тогда он поступает в кантональную среднюю школу в швейцарском кантоне Аарау. После окончания этой школы он снова держит вступительные экзамены в высшую техническую школу в Цюрихе и поступает на педагогический факультет. Это было в 1896 г., а в 1900 г. он получил диплом об окончании этого учебного заведения. Материальное положение Эйнштейна тогда было трудным. Он пробовал преподавать, потом занимался репетиторством. В 1902 г. он получил постоянную работу технического инспектора в Швейцарском патентном бюро в Берне. Эту должность Эйнштейн занимал до октября 1909 г. За это время Эйнштейн из скромного служащего превратился в знаменитого ученого. Одна из первых работ Эйнштейна была посвящена молекулярной физике и термодинамике. В ходе этих исследований он создал теорию броуновского движения. Первая из статей по этому вопросу появилась в 1905 г. В этом же году Эйнштейн публикует статью о квантовых свойствах света. Работа, посвященная основам специальной теории относительности, появилась в том же, 1905 г., под названием "К электродинамике движущихся сред". Любимой из этих его работ было бы достаточно, чтобы прославить имя ученого.

В 1906 г. Эйнштейн защищает докторскую диссертацию "Новое определение размеров молекул" – это работа включает первую из его статей по броуновскому движению. В 1908 г. он был выбран приват-доцентом Бернского университета, а в 1909 г. – экстраординарным профессором Цюрихского университета. Тогда он ушел из патентного бюро. В апреле 1911 г. Эйнштейн переезжает в Прагу, где становится профессором кафедры теоретической физики пражского университета. Через год он снова возвращается в Цюрих и занимает должность профессора Высшей технической школы, в которую он когда-то провалил вступительные экзамены. В 1914 г. Эйнштейн был избран членом Прусской Академии наук в Берлине и переезжает в Берлин, где создает общую теорию относительности. В 1922 г. он получил Нобелевскую премию по физике. После прихода к власти нацистов Эйнштейн принимает приглашение Принстонского института высших исследований США и с 1933 г. становится членом этого института. Умер Эйнштейн 18 апреля 1955 г.

Чтобы понять теорию Эйнштейна, обратимся к принципу относительности, сформулированному Галилеем. Согласно его принципу все механические законы одинаковы для всех движущихся систем отсчета, при условии, что они движутся равномерно и прямолинейно по отношению к неподвижным звездам. Или иначе – в движущемся равномерно и прямолинейно корабле, с зашторенными окнами (как в примере Галилея), никакими мыслимыми опытами невозможно установить, движется ли корабль, или покоится. Корабль, движущийся равномерно и прямолинейно – это пример движущейся системы отсчета, которая называется инерциальной. Галилей в своем принципе относительности ограничился только механическими движениями и только инерциальными системами отсчета. Эйнштейн обобщает принцип относительности Галилея, распространив его и на электромагнитные явления и, вообще, на все физические явления. В общей теории относительности Эйнштейн расширяет принцип относительности Галилея и на системы отсчета, движущиеся любым образом, а не только равномерно и прямолинейно. Но это обобщение вело к коренной ломке обычных представлений о мире и сложившихся научных воззрений. Обратимся к процессу распространения света. Как мы знаем из предыдущего материала, свет есть электромагнитное явление, это поперечная электромагнитная волна. К середине XIX столетия была найдена величина скорости света и установлена ее конечность. Встал вопрос о влиянии движения тел на процессы распространения света. Незадолго до своей смерти Максвелл написал письмо астроному Тодду, в котором говорил о принципиальной возможности обнаружения движения Земли относительно эфира, гипотетической среды, в которой распространяется свет, но при этом оговаривался, что чувствительность прибора для обнаружения такого эффекта должна быть очень высока, порядка 10^{-8} , и Максвелл считал ее недостижимой в то время. Однако, в 1881 г. молодой американский ученый Альберт Майкельсон (1852 – 1931) сконструировал прибор, обладающей такой чувствительностью – знаменитый интерферометр Майкельсона, и попытался проделать этот эксперимент в лаборатории немецкого ученого Г. Гельмгольца в Берлине. Однако, вибрации здания лаборатории не позволили ему осуществить этот тонкий эксперимент, и Майкельсон переезжает в Потсдам, где установил свой прибор на прочном фундаменте для большого телескопа. Результат его опыта был отрицательным. Никакого движения Земли относительно эфира он не обнаружил. Более поздние опыты с усовершенствованным прибором и в сотрудничестве с другими учеными дали также отрицательные результаты. Это противоречило всем теориям, существующим в то время, за исключением теории Герца, который предположил, что эфир, находящийся в движущихся телах, полностью увлекается ими. Но теория полного увлечения эфира противоречила, в свою очередь, другим фактам, в частности, явлению абберации. Явление абберации было открыто английским астрономом Брадлеем (1693 – 1762). Наблюдая за неподвижными звездами, он заметил, что на самом деле эти звезды в течение года описывают замкнутые траектории. Этот факт Брайлей объяснил движением Земли относительно неподвижных звезд, т.е. этот факт говорил о неподвижности эфира. Для выхода из этого противоречия Г. Лоренц (1853 – 1928), автор теории неподвижного эфира, выдвигает гипотезу сокращения продольных размеров тел, движущихся относительно неподвижного эфира, при этом поперечные размеры тела остаются неизменными. Этим он объяснил отрицательный результат опыта Майкельсона. Так, появилось знаменитое сокращение Лоренца, вошедшее в специальную теорию относительности. В ней формула сокращения масштабов движущихся тел имеет вид: $l = l_0 \times \sqrt{1 - \beta^2}$, где $\beta = \frac{v}{c}$ – скорость движения тела; c – скорость света; l – длина тела в движущейся системе отсчета; l_0 – длина тела в покоящейся системе отсчета. Независимо от Лоренца к такому же выводу пришел ирландский ученый Фитцджеральд (1851 – 1901).

Нельзя сказать, что эта гипотеза сокращения Лоренца–Фитцджеральда удовлетворила ученых. Экспериментаторы ставили новые эксперименты по обнаружению движения Земли через эфир. Теоретики уточняли теорию электромагнитных явлений в движущихся телах. Пуанкаре и Лоренцу удалось получить удовлетворительную теорию, описывающую это явление ценой введения специальных преобразований координат и времени при переходе от неподвижных систем координат к движущимся.

В 1905 г., вскоре после работ Лоренца и Пуанкаре, появилась работа Эйнштейна "К электродинамике движущихся сред", значение которой далеко выходило за рамки этой специальной темы. Эйнштейн поставил вопрос принципиально: а почему, собственно, опыт Майкельсона должен удался? Разве Галилей не решил вопроса в том смысле, что не существует физики земной, корабельной, и т.д., что физика одна для всех инерциальных систем. Законы физики, как и механики, так и электродинамики, не зависят от скорости движения системы отсчета, при условии, что эта скорость не меняется. Поэтому опыт Майкельсона не может удался, это противоречило бы фундаментальному научному принципу – принципу относительности.

Но что показывает опыт Майкельсона? То, что скорость света в движущейся системе такая же, что и в покоящейся. Распространение света не зависит от движения системы. Эйнштейн считает, что так и должно быть, это фундаментальный закон природы. Попробуем понять этот принцип Эйнштейна. Допустим, что скорость света зависит от движения системы, или от движения источника света. К чему бы это привело? Представим себе, что скорость света уменьшилась и стала сравнима с земными скоростями. Могли ли мы видеть тогда устойчивую картину явлений, если бы для каждого движущегося предмета была бы своя скорость света? Конечно нет. В мире с малой скоростью света, меняющейся хаотически от предмета к предмету, было бы невозможно ориентироваться. Но мир таков, что скорость света очень велика. По Эйнштейну она достигает максимальной величины скорости любых материальных процессов, является предельной скоростью и *совершенно не зависит от скорости движения как источника, так и наблюдателя – она абсолютный инвариант*. И именно это обстоятельство обеспечивает возможность ориентировки в мире и возможность его познания. Всякое другое положение дел невероятно усложнило бы жизнь человека в мире. Эйнштейн сделал важный вывод из факта постоянства скорости света. Он показал, что благодаря этому обстоятельству для каждой системы отсчета может быть установлено единообразное время. Как мы знаем, Ньютон допускал существование единого абсолютного

времени для всей Вселенной, текущего само по себе, безотносительно к каким-либо процессам. Эйнштейн показал, что такое время является фикцией. Все, что мы знаем о времени, связано с наблюдением реальных процессов: вращение Земли, движение небесных светил, биение пульса, качание маятника, световые колебания и т.д. Каждый такой процесс может быть назван *часами*. Для того, чтобы часы могли служить надежным измерителем времени, они должны обладать постоянством хода, т.е. строгой периодичностью. Допустим, что мы имеем такие идеальные часы. Разумеется, об их постоянстве хода мы можем судить, сравнивая их с другими часами. Все, что мы можем сделать для установления единообразного времени для нашей системы, это выбрать эталонные часы и проверять по ним другие часы. До последнего времени эталонные часы давала астрономия, она же определяла и единицу времени. Астрономическая служба времени в эпоху Ньютона следит за ходом эталонных часов. И в наше время мы по радио или телевидению следим за сигналами точного времени и сверяем по ним любые часы. Вот эта повседневная практика установления единообразного времени и лежит в основе Эйнштейновского определения времени. Время в различных точках отсчета считается одинаковым, когда радиосигналы или световые сигналы приходят в один и тот же момент в пункты, расположенные на одинаковом расстоянии от источника сигнала, в каком бы направлении от этого источника не лежали приемные пункты. Ясно, что в этом определении синхронности часов использован факт независимости скорости света от движения системы. В противном случае в определении единого времени для данной системы встретились бы огромные трудности. Итак, благодаря факту постоянства скорости света, возможно физически точным способом установить единое время в любой данной системе (с тем ограничением, что эта система инерциальная). Но это будет единое время только для этой системы. В другой инерциальной системе оно уже не будет казаться единым. События одновременности в исходной системе будут неодновременными для системы отсчета, движущейся с произвольной скоростью относительно исходной системы. Часы, идущие с определенной скоростью в исходной системе, будут казаться идущими замедленно для системы, движущейся относительно исходной. Единое время может быть установлено не для всей Вселенной, как полагал Ньютон, а только для данной системы отсчета, и каждая система отсчета будет иметь свое время. Причем часы, находящиеся в движущейся системе отсчета, идут медленнее, чем часы в неподвижной системе.

Не только время различно в разных системах отсчета, но и пространственные интервалы также различны в разных системах отсчета. *Длина тела в движущейся системе, в направлении движения, укорачивается.* В теории относительности это сокращение, полученное ранее Лоренцом-Фитцджеральдом при объяснении движения Земли относительно неподвижного эфира, является необходимым следствием ее основных постулатов и является объективным свойством пространства: *пространственные масштабы не являются инвариантами, так же, как и временные, при переходе от одной системы отсчета к другой.*

Наиболее важным следствием постулатов теории относительности является *связь массы и энергии*. Эйнштейн приходит к формуле: $E = mc^2$. Если частица покоится, то связь массы и энергии выражается формулой: $E_0 = m_0c^2$. Здесь E_0 – энергия покоя тела; m_0 – масса покоя тела; c – скорость света. Из этих формул следует, что масса может превращаться в энергию и наоборот. Из связи массы и энергии следует еще один важный вывод. Допустим, что мы имеем некоторую покоящуюся массу m_0 . Сообщим ей некоторую скорость. Для этого надо затратить некоторую энергию. В результате энергия, а значит и масса движущегося тела возрастет. Представим себе шарик определенной массы. Если мы будем его разгонять, то его масса будет расти, вдоль направления движения размеры его будут укорачиваться. Шарик будет сплющиваться. Но он не может сплющиваться до бесконечно тонкого диска, так как его масса растет с приближением к скорости света до бесконечности. Тело, обладающее конечной массой покоя, не может достигнуть скорости света. Частицы, движущиеся со скоростью света, должны обладать нулевой массой покоя, например фотон. Таковы выводы специальной теории относительности. Следует отметить, что взаимное превращение массы в энергию наблюдаются на опыте в ядерной физике и физике элементарных частиц.

Теория относительности не создавалась на пустом месте. У Эйнштейна, как и у Ньютона в механике, были предшественники. Ближе других ученых к созданию теории относительности подходил французский ученый Анри Пуанкаре (1854 – 1912). За три года до выхода статьи Эйнштейна он сформулировал *принцип относительности* как всеобщий закон природы. Однако Пуанкаре считал возможным отказ от этого принципа при получении новых экспериментальных фактов, опровергающих этот принцип. Эйнштейн считал принцип относительности таким же абсолютным законом, как и закон сохранения энергии. Этот принцип относительности и принцип *постоянства скорости света в вакууме* являются основными в его теории.

Отметим, что теория относительности не исключила механику Ньютона – классическую механику. При движении тел со скоростями, значительно меньшими скорости света, формулы теории относительности переходят в классические. Требование, чтобы более общая теория, в данном случае специальная теория относительности, приводила к тем же результатам, к которым приводит более узкая теория, механика Ньютона, при скоростях, значительно меньших скорости света, называется *принципом соответствия*. *Две теории должны соответствовать друг другу, когда их области применимости перекрываются.*

Эйнштейн в 1916 г. сделал следующий шаг в развитии научного взгляда на мир. Он предпринял попытку построить теорию, в которой законы природы были инвариантными для любых, а не только инерциальных, систем отсчета. Эта теория известна под названием *общей теории относительности*.

В основе ее лежит факт, установленный Галилеем – независимость ускорения силы тяжести от массы тела, или, как это было выяснено Ньютоном, равенство инертной массы и массы тяготения. Из этого факта следует *принцип эквивалентности Эйнштейна*, согласно которому *ускоренное движение системы отсчета эквивалентно некоторому полю тяготения*. Опираясь на этот принцип, Эйнштейн исследует влияние гравитации на часы и распространение света. Он находит, что часы идут быстрее там, где гравитационный потенциал больше.

Световой луч искривляется гравитационным полем. Общая теория относительности использует идеи неевклидовой геометрии. Математический аппарат общей теории относительности очень сложен, и мы ограничились лишь некоторыми общими замечаниями. В заключение отметим, что общая теория стала основополагающей в современных космологических моделях Вселенной.

14. ВСЕЛЕННАЯ

В темную августовскую ночь, посмотрев на небо, мы увидим бесчисленное количество ярких и тусклых звезд, разбросанных по всему небу. Картина, поражающая нас своей безмерностью и бескрайностью. Нам кажется, что все эти многочисленные звезды находятся от нас на одинаковых расстояниях. В действительности это не так. Истинное расстояние до некоторых небесных светил настолько велико, что мы не в состоянии его представить. Звезды перемещаются, но мы этого не видим из-за огромности расстояний их от нас. Фотографии звездного неба, сделанные в разные времена, показывают небольшие перемещения звезд.

Сравнительно просто определить расстояние до ближайших к нам небесных светил методом радиолокации. Так, от Луны луч радара возвращается на Землю через 2,6 с, т.е. до Луны электромагнитная волна, посланная радаром, добиралась 1,3 с. Так как электромагнитная волна распространяется со скоростью света (3×10^8 м/с), то расстояние до Луны легко определяется. Достаточно перемножить время движения сигнала до Луны на скорость его распространения. Примерно получается, что расстояние от Земли до Луны равно 400 000 км. До Солнца сигнал распространяется немногим более 8 мин, и расстояние от Земли до Солнца равняется примерно 150 000 000 км. Звезды от нас находятся на несравнимо больших расстояниях, и сигнал с радара достиг бы объекта спустя несколько десятков лет. Можно в таком случае определять расстояния по яркости звезд. Если принять гипотезу, что на одинаковых расстояниях от Земли звезды светятся одинаково ярко, то по яркости их свечения можно определять расстояния их до Земли. Так, если сравнить яркость Солнца и Сириуса, мы увидим, что Солнце гораздо ярче светит, чем Сириус. Следовательно, Сириус значительно дальше отстоит от Земли, чем Солнце. Известно, что если из двух одинаково ярких тел одно располагается на расстоянии в n раз больше, чем другое, то интенсивность более близкого тела нам представляется в n^2 большим. Сравнивая яркости Сириуса и Солнца, мы находим, что интенсивность Солнца в 10^{12} степени больше интенсивности Сириуса. Следовательно, Сириус находится от нас на расстоянии в 10^6 дальше. Световой волне радара пришлось бы пройти это расстояние за десять лет. Возможно ли другим методом измерить расстояние от Земли до Сириуса и проверить справедливость нашей гипотезы, если результаты измерений по этим методам совпадут? Такой способ был найден. Расстояние от Земли до Сириуса измеряли по кажущемуся смещению звезды, если наблюдать за ней из различных точек. Орбита Земли составляет в диаметре 300 миллионов километров. Если наблюдать за Сириусом зимой, то эта точка наблюдения будет отстоять от летней точки наблюдения на 300 миллионов километров, а, следовательно, и звезда кажется смещенной на 300 миллионов километров. Измеряя угол, под которым виден диаметр земной орбиты со звезды, мы сможем определить расстояние до звезды. Такие измерения были сделаны и расчеты совпали с измерениями расстояний до звезды по яркости их свечения. Прямыми измерениями смещений звезд можно измерить наиболее яркие звезды, отстоящие от Земли на расстояния не более 50 световых лет. На больших расстояниях мы не сможем наблюдать смещения этих звезд. Но ученые научились измерять расстояния до более далеких звезд некоторыми другими методами. Один из них основан на способности строго определенного класса звезд пульсировать совершенно правильным образом. Они не светятся одинаково ярко, а их свечение пульсирующее. Их яркость то усиливается, то ослабевает. Период их пульсаций находится в определенной зависимости с силой света звезды. Измерить период пульсаций не составляет больших трудностей, а измерив период, мы сможем определить силу света. Зная силу света звезды и ее видимый блеск, мы сможем определить расстояние до нее. Такая методика измерения расстояний до звезд позволила определить размеры нашей Галактики. Наша Галактика – это скопление звезд, разбросанных по всему небосводу. В Галактику входят также газы и пыль. Небесные тела нашей Галактики распределены по небу неравномерно и образуют диск, диаметром 10^5 световых лет и толщиной 10^4 световых лет. Солнце, Земля и другие планеты солнечной системы, входящие в нашу Галактику – это лишь крупинки миллиардной колонии звезд нашей Галактики. Используя мощные телескопы, ученые обнаружили множество других Галактик, скопления Галактик. Одна из них, туманность Андромеды, представляла собой скопление слабо светящихся звезд в виде диска, как и наша Галактика. Наша Галактика оказалась не единственной. Во Вселенной существует множество Галактик, отстоящих от нашей на миллионы световых лет. Туманность Андромеды отстоит от нашей Галактики на расстоянии более чем 2 миллиона световых лет. В астрономии расстояние до небесных тел определяется световыми годами. Это означает, что свет проходит расстояние от Земли до Андромеды за 2 миллиона лет. Кроме того, мы увидим эту Галактику такой, какой она была 2 миллиона лет назад. Современная техника позволяет увидеть Галактики, расположенных от нас на расстояниях порядка 10 миллиардов световых лет.

14.1. Расширяющаяся вселенная

Есть ли предел открытия новых Галактик? Оказалось, что такой предел есть. Современная наука говорит нам о том, что мы не сможем бесконечно открывать новые Галактики. Оказалось, что небесные тела, в том числе и Галактики, движутся. Это было выяснено при изучении спектров, испускаемых далекими небесными объектами. Оказалось, что в их спектрах наблюдались темные линии. Эти темные линии возникают из-за поглощения газом, находящимся на поверхности небесного объекта. Это спектры поглощения. Спектры поглощения наблюдаются и от отдельных Галактик. Но было удивительно, что эти линии в спектрах далеких Галактик были смещены, причем смещены в область длинных волн, в красную область спектра. В физике известен эффект

Допплера (1803 – 1953), который говорил об изменении частоты или длины волны звуковых и световых колебаний при движении источника этих колебаний. Причем, если источник приближается к наблюдателю, то длина испущенной световой волны смещается в область коротких длин, и если источник удаляется, то длина испущенной волны смещается в сторону красной области спектра. Таким образом, смещение темных линий в сторону длинных волн служило доказательством удаления источника этих волн, доказательством расширения Галактик. Эффект красного смещения длин волн в спектрах отдаленных галактик был открыт американским ученым Хабблом в 1929 г. По величине смещения можно было определить скорость наблюдаемого объекта. Хаббл, исследовавший множество Галактик, установил, что скорость разбегания Галактик увеличивалась с увеличением расстояния Галактики от наблюдателя. Чем дальше находятся Галактики от нас, тем быстрее они движутся. В конце концов, очень далекие Галактики могут двигаться со скоростью, приближающейся к скорости света. А скорость света является предельно возможной скоростью. Следовательно, мы не сможем увидеть Галактики, двигающиеся со скоростью света. Свет, излучаемый этими Галактиками, до нас не дойдет. Хаббл подсчитал удаление Галактик, двигающихся с этой предельной скоростью, и нашел его превышающим 10 миллиардов световых лет. Поэтому существует конечное число Галактик, свет которых дойдет до нас, и, следовательно, в этом смысле Вселенная для нас конечна.

14.2. Космологические модели вселенной

Вопрос о том, как образовалась Вселенная, как образовалась солнечная система, отдельные планеты, бесконечна или конечна Вселенная, поднимали многие известные ученые. Вряд ли сейчас существует точный окончательный ответ на эти вопросы, но с развитием науки, экспериментальной и теоретической базы мы полнее и точнее сможем ответить на них.

Аристотель, как и его учитель Платон, считали центром мироздания Землю. Вселенная у него ограничена в пространстве и неизменна. В сочинении "О небе" он писал: " В протяжении всего прошедшего времени, согласно летописям, завещаемым потомкам от поколения к поколению, мы не находим следы изменений ни во всем удаленном небе в целом, ни в одной из подходящих частей неба". Планеты совершают вокруг Земли круговые движения. Небесные тела у Аристотеля созданы из неуничтожимой материи – эфира. Великий Ньютон считал, что Вселенная существует вечно и бесконечна.

Первой *релятивистской моделью Вселенной* стала модель, предложенная создателем теории относительности Альбертом Эйнштейном. В 1917 г. в своей работе "Вопросы космологии и общая теория относительности" Эйнштейн написал космологическое релятивистское уравнение и дал его решение, соответствующее постоянной положительной кривизне Вселенной (стационарное решение). Эта модель Эйнштейна интерпретировалась многими учеными как стационарная, сферическая модель конечной Вселенной. Русский ученый А.А. Фридман (1888 – 1925) возразил Эйнштейну и показал, что существуют и нестационарные решения. Фридман пришел к космологической модели расширяющейся или сжимающейся Вселенной – *однородной и изотропной*. *Изотропность и однородность* Вселенной составляют так называемый *космологический принцип*. Изотропность предполагает одинаковость свойств Вселенной во всех направлениях. Казалось, что это не так. Взглянув на небо, мы увидим неоднородности в расположении небесных тел нашей Галактики. Но мы видим только ближние объекты Вселенной. Для далеких объектов, на уровне Галактик, однородность Вселенной сейчас подтверждена астрономическими исследованиями. Приблизительно это означает, что в сфере диаметром 300 миллионов световых лет содержится одинаковое число Галактик. Модель Фридмана получила экспериментальное подтверждение в исследованиях Хаббла.

В 1964 г. астрономы Р. Пензиас и А. Вильсон открыли *реликтовое излучение*. За это открытие им была присуждена в 1978 г. Нобелевская премия. Суть этого открытия заключается в следующем. Они исследовали фоновое радиоизлучение нашей Галактики. Неожиданно в коротковолновом диапазоне они уловили некоторые слабые радишумы, интенсивность которых не зависела от времени и направления антенны. Интенсивность этого излучения соответствовала, для данной длины волны, интенсивности излучения абсолютно черного тела с температурой около трех градусов по шкале Кельвина. Работы теоретиков предсказывали, что вся Вселенная на ранней стадии своего существования была заполнена равновесным излучением с очень высокой температурой. По мере расширения Вселенной, температура понижалась, и к настоящему времени ее излучение соответствует температуре 2,74 градуса по шкале Кельвина. Вот это излучение, оставшееся от ранней стадии горячей Вселенной обнаружили Пензиас и Вильсон. Реликтовое излучение оказалось изотропным и однородным.

14.3. Гипотеза большого взрыва

Открытия расширения Вселенной и реликтового излучения дали экспериментальную основу для выдвижения гипотез эволюции Вселенной. Одной из наиболее популярных гипотез такой эволюции явилась гипотеза *Большого Взрыва*. Согласно ей в начале расширения, более 15 миллиардов лет назад, вещество Вселенной размещалось в микроскопическом шаре примерно равной величины ядра атома (радиуса $\sim 10^{-15}$ м.) невероятно большой плотности и температуры. Произошел *Большой Взрыв*, первую секунду после которого теоретики описывают достаточно убедительно. В начале первой секунды взрыва образовались частицы кварки и антикварки, при этом происходило излучение фотонов высоких энергий. Из этих частиц в течение этой же первой секунды образовались протоны, антипротоны и нейтроны. Частицы сталкивались между собой, происходили реакции аннигиляции, сопровождавшиеся также излучением фотонов. К концу первой секунды в результате расширения Вселенной ее температура понизилась до 10 миллиардов градусов. В это время образовались электроны и позитроны. К концу третьей минуты из четверти всех протонов и нейтронов образовались ядра гелия.

Через сотни тысяч лет Вселенная настолько остыла, что ядра гелия и протоны смогли удерживать возле себя электроны. Так образовались атомы гелия и водорода. В некоторых местах стали образовываться небольшие сгущения вещества Вселенной. Под воздействием сил тяготения эти области росли и становились центрами образования Галактик. Исходным веществом таких Галактик стали атомы водорода и гелия.

15. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ И ПРЕВРАЩЕНИЯ ЭНЕРГИИ

Открытие закона сохранения и превращения энергии, одного из великих законов естествознания, произошло в середине XIX в. Авторами этого открытия стали Роберт Майер, Джеймс Джоуль и Герман Гельмгольц.

Юлиус Роберт Майер (1814 – 1878), врач по профессии, в 1840 г. отправился в годичное плавание на остров Ява в качестве корабельного врача. На рейде в Батавии у некоторых членов экипажа обнаружилось заболевание легких. Больным Майер производил кровопускание и увидел, что "...кровь, выпускаемая из ручной вены, отличалась такой необыкновенной краснотой, что, судя по цвету, – писал Майер, – я мог бы думать, что я попал на артерию". Из своих наблюдений Майер заключает, что "...температурная разница между собственным теплом организма и теплом окружающей среды должна находиться в количественном соотношении с разницей в цвете обоих видов крови, т.е. артериальной крови и венозной. Чем больше эта температурная разница..., тем значительней должна быть разница в цвете, и чем меньше разница в температуре, тем меньше будет разница в цвете. Эта разница в цвете является выражением размера потребления кислорода или силы процесса сгорания, происходящего в организме".

Своими наблюдениями Майер показал, что организм управляется естественными физико-химическими законами, и, прежде всего, законом сохранения и превращения энергии. Отметим, что во времена Майера было распространено учение о жизненной силе организма (витализм), и физико-химические законы исключались при рассмотрении физиологических процессов. Возвратившись из путешествия, Майер пишет статью, в которой, в частности, рассматривает неупругое столкновение тел одинаковой массы, движущихся навстречу друг другу с одинаковыми скоростями. После соударения движение тел прекращается, и Майер делает вывод, что механическое движение не исчезло, а превратилось в другую форму. Этой формой Майер считает теплоту. Он пишет: "...Движение, теплота, и как мы намерены показать в дальнейшем, электричество представляют собой явления, которые могут быть сведены к одной силе, (под силой Майер понимает энергию С.К.), которые измеряются друг другом и переходят друг в друга по определенным законам". Эта, по существу, ясная формулировка закона сохранения и превращения энергии. Свою статью Майер послал в известный научный журнал "Annalen der Physik", редактором которого был известный ученый Поггендорф, но он не опубликовал статью. Второй вариант статьи был опубликован в химическом журнале. В этой статье Майер оперирует понятиями, которые мы сейчас называем потенциальной энергией тела в поле тяжести и понятием живой силы, которые мы сейчас называем кинетической энергией $E = \frac{mv^2}{2}$ (у Майера ошибочно мерой живой силы считалось mv^2). Майер в работе находит эквивалент перехода кинетической или потенциальной энергий в теплоту.

В брошюре 1845 г. Майер касается вопросов жизни на Земле, идей фотосинтеза. Растения Земли аккумулируют солнечную энергию, и используя ее "...порождают непрерывно возобновляющуюся сумму химических различий".

Манчестерский пивовар Джеймс Прескотт Джоуль (1818 – 1889) провел, не зная работ Майера, тщательные эксперименты по определению теплового действия электрического тока, которые привели его к открытию закона, носящего его имя. Чтобы прояснить причину теплоты, выделявшейся при прохождении через проводник электрического тока, Джоуль ставит эксперимент, в котором вращение электромагнита индукционной машины осуществлялось с помощью падающего груза. При вращении электромагнита появлялся индукционный ток, который нагревал проводники. Джоуль нашел соотношение между работой падающего груза и теплотой, выделявшейся в цепи. Этот механический эквивалент тепла равнялся у него $460 \frac{\text{кгс} \times \text{м}}{\text{ккал}}$. Джоуль приходит к выводу, что энергия природы неразрушима.

Во всех случаях, когда затрачивается механическая энергия, получается эквивалентное количество теплоты. Позже Джоуль получил более точное значение механического эквивалента теплоты, который стал равен $424 \frac{\text{кгс} \times \text{м}}{\text{ккал}}$.

Третьим автором великого закона стал выдающийся ученый Герман Гельмгольц (1821 – 1894). Он получил медицинское образование и защитил в 1843 г. диссертацию, посвященную строению нервной системы, где впервые доказал существование целостных структурных элементов нервной ткани, получивших впоследствии название нейронов. Так же, как и Майер, Гельмгольц подошел к закону сохранения энергии из физиологии. Правда, о работах Майера он не знал. Так же, как Майер, он послал свою работу по этому вопросу Поггендорфу и получил отказ в публикации. В 1847 г. он опубликовал свою работу отдельной брошюрой "О сохранении силы". В 1849 г. Гельмгольц был приглашен в Кенигсберг профессором по кафедре физиологии. В Кенигсберге Гельмгольцу удалось сконструировать зеркало, позволяющее исследовать глазное дно, играющее до настоящего времени важную роль в офтальмологии. В 1855 г. Гельмгольц становится профессором анатомии в Бонне. Через три года он переезжает в Гейдельберг, а в 1871 г. он занимает должность профессора Берлинского университета, где организует физический институт, создает одну из первых школ физики, сыгравшую большую

роль для развития русской физики. У Гельмгольца учились замечательные русские физики Н.Н. Шиллер, П.А. Зильов, Р.А. Колли, А.П. Соколов, В.А. Михельсон и др. Ученик Гельмгольца Генрих Герц доказал справедливость электромагнитной теории Максвелла.

В 1888 г. Гельмголец становится президентом физико-технического института – центра метрологии. В этой должности он пробыл до своей смерти в сентябре 1894 г.

Вернемся к одному из главных открытий Гельмгольца – открытию закона сохранения и превращения энергии. Гельмголец связывает закон сохранения энергии с принципом невозможности вечного двигателя. Вспомним, что еще в XVIII в. Парижская Академия наук не принимала к рассмотрению проекты вечного двигателя. У Гельмгольца мир – это совокупность материальных точек, взаимодействующих друг с другом с центральными силами. Эти силы консервативны, т.е. работа этих сил не зависит от формы пути, а зависит только от начального и конечного положения. Во главу Гельмголец ставит принцип сохранения живой силы. Этот принцип требует, чтобы "количество работы, которое получается, когда тела системы переходят из начального положения во второе, и количество работы, которое затрачивается, когда они переходят из второго положения в первое, всегда было одно и то же, каков бы ни был способ перехода, путь перехода или его скорость". При этом

мерой произведенной работы Гельмголец считает $\frac{mv^2}{2}$ – половину величины живой силы. Сейчас эта величина

носит название кинетической энергии. Рассматривая движение точки под действием центральной силы, Гельмголец формулирует закон сохранения энергии, эта формулировка в современном виде гласит: приращение кинетической энергии точки при ее движении под действием центральной силы равно убыли потенциальной энергии. Для системы точек его закон сохранения в общей форме гласит: сумма кинетических и потенциальных энергий, существующих в системе, постоянна. Гельмголец рассматривает применение этого принципа к различным частным случаям – движение в поле тяготения, к гальванизму, к термоэлектрическим явлениям. Так, пусть в поле тяготения Земли поднята гири. Она падает на Землю и после удара не отскакивает от нее. Произошло неупругое столкновение. Энергия гири стала равна нулю. Куда же делась энергия, которой обладала гири? Оказывается, что она не исчезла, а перешла в другой вид энергии – в тепловую энергию. Точные эксперименты показали эквивалентность исчезнувшей и появившейся тепловой энергии. Гельмголец применяет закон сохранения энергии к растительному и животному миру. Так, в процессе производства спирта из некоторой сахаристой жидкости, процессе брожения, сахар распадается на алкоголь и углекислый газ с выделением определенного количества тепла. Процесс брожения есть результат деятельности дрожжевого грибка. Грибок питается сахаром, выделяет спирт и углекислоту. При этом он размножается с огромной быстротой. Когда грибок исчерпает основное количество сахара он создаст столько спирта, что погибает, и брожение останавливается. Сахар может быть превращен в спирт и углекислоту и чисто химическим путем. Если подсчитать теплоту, выделяемую при химических превращениях и при брожении, то окажется, что это количество одинаковое. Это показывает, что и живые организмы подчиняются общим законам природы.

В начале Гельмголец не пользовался термином "энергия". Этот термин ввел в 1853 г. профессор технической механики в университете Глазго Уильям Ранкин (1820 – 1872). Но "живая сила" Гельмгольца ($\frac{mv^2}{2}$) – это

то, что мы сейчас называем кинетической энергией, а его "сумма напряженных сил" – это то, что мы называем потенциальной энергией. Энергия у Гельмгольца участвует во всех физических явлениях. Она невесома, неуничтожима и может переходить из одной формы в другую. Идеи Гельмгольца подхватили некоторые ученые. Среди них Ранкин, Тиндаль. Они основали школу "энергетиков", главной задачей которой являлось распространение энергетического подхода к объяснению явлений природы, отказ от механической концепции мира. Известный ученый Вильям Томсон – лорд Кельвин надеялся построить физику на основе понятия энергии. Все явления природы, по его мнению, можно объяснить на основании превращений энергии, а материальные тела можно рассматривать как проявление энергии.

Современное естествознание широко применяет энергетические представления, но не умаляет роль материальных частиц, носителей энергии.

16. ТЕРМОДИНАМИКА

Начало термодинамике положили исследования французского военного инженера Сади Карно (1796 – 1832). Он считал, что усовершенствование парового двигателя послужит усилению политического и экономического положения его страны. Он поставил своей задачей разработку теоретических основ теплового двигателя. Главный труд Карно "Размышления о движущей силе огня" вышел в 1824 г. Он видит быстрое развитие тепловых машин и предсказывает им большое будущее. Его предвидение оправдалось – тепловые двигатели играют огромную роль в современной жизни. Автомобили, авиация, пароходы, ракеты, паровые турбины – все это примеры тепловых двигателей. Современная жизнь немыслима без них. Во времена Карно тепловые двигатели были малоэкономичны, и не было теоретических основ их работы. Работа Карно явилась началом теории работы тепловых двигателей, началом термодинамики. Карно придерживается в своей работе теории теплорода. Согласно этой теории теплота представляла собой невесомую жидкость. Карно представлял работу тепловой машины аналогичной работе водяной мельницы. Теплород у него перетекал от тела с высокой температурой (нагреватель) к телу с низкой температурой (холодильник), при этом совершалась работа. Коэффициент полезного действия теплового двигателя у Карно не зависел от рабочего вещества (вода, спирт и т.д.), а зависел от температуры нагревателя и холодильника. Карно рассматривал идеальный обратимый двигатель. Обратимый

двигатель – это такой двигатель, в котором происходят настолько медленные процессы, что их можно рассматривать как переходы от одного равновесного состояния к другому.

В двигателе Карно обязательно наличие нагревателя и холодильника. Карно ошибочно полагал, что теплота сохраняется в процессе работы тепловой машины. Эту его ошибку удалось исправить Рудольфу Клаузиусу (1822 – 1888) и Вильяму Томсону (1824 – 1907), открывшим второе начало термодинамики.

Рудольф Клаузиус (настоящее имя Рудольф Готтлиб, а Клаузиус – это латинское имя) родился в Кеслине в 1822 г. После окончания Берлинского университета он преподавал в Артиллерийской школе, с 1855 г. стал профессором в Высшей политехнической школе в Цюрихе. В 1869 г. он переехал в Бонн, где прожил до своей смерти в 1888 г.

Первая его работа "О движущей силе теплоты" вышла в 1850 г. В ней он проанализировал работу Сади Карно. Клаузиус считает, что у Карно надо сохранить основное положение его работы, что теплота (у Карно теплород) передается от тела с более высокой температуры к телу с более низкой температурой в виде нового принципа – *второго начала термодинамики*. Этот принцип Клаузиус формулирует так: "Теплота в естественных условиях переходит от горячего тела к холодному; в то время как от холодного тела к горячему теплота сама по себе не переходит". Таким образом, второе начало термодинамики говорит о направлении процесса теплопередачи. Оно устанавливает наличие асимметрии – однонаправленности всех происходящих в природе самопроизвольных процессов.

Эта формулировка Клаузиуса встретила много возражений, и в защиту этого принципа выступил Вильям Томсон, впоследствии ставший лордом и взявший имя Кельвин (по названию речки Кельвин, протекавшей вблизи университета Глазго, где учился Томсон). Кельвин дает более общую формулировку второго начала: "Невозможно при помощи неодушевленного материального деятеля получить от какой-либо массы вещества механическую работу путем охлаждения ее ниже температуры самого холодного из окружающих предметов". Это Кельвинская формулировка второго начала, которому он делает примечание: "Если бы мы не признали эту аксиому действительной при всех температурах, нам пришлось бы допустить, что можно ввести в действие автоматическую машину и получить путем охлаждения моря или земли механическую работу в любом количестве, вплоть до исчерпания всей теплоты суши и моря или в конце концов всего материального мира". Эту автоматическую машину Кельвина назвали "перпетуум мобиле второго рода" и принцип Кельвина стали кратко называть, как принцип невозможности перпетуум мобиле второго рода. Свой принцип Томсон сформулировал в статье "О динамической теории теплоты", вышедшей в 1851 г. Уже название работы говорит о новом взгляде Томсона на природу теплоты. Это не теплород, а динамическая форма механического эффекта. Кельвин дает выражение для коэффициента полезного действия цикла Карно. В современных обозначениях оно имеет вид:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1},$$

где T_1 – температура нагревателя; T_2 – температура холодильника. Он также ввел понятие абсолютной температуры, не зависящей от термометрического тела.

Отметим, что формулировки Клаузиуса и Кельвина второго начала термодинамики эквивалентны друг другу.

16.1. Первое начало термодинамики

Исторически первое начало появилось позже второго. Клаузиус в работе 1854 г. дает формулировку первого начала термодинамики. В современных обозначениях она имеет вид:

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

где Q – количество теплоты, сообщенное системе, ΔU – изменение внутренней энергии; A – работа системы над внешними телами. Если над системой совершается работа, то работа будет отрицательна. Это уравнение называется первым началом термодинамики. Это закон сохранения энергии для тепловых процессов. Внутренняя энергия – это общая сумма энергий всех молекул системы. Изменение внутренней энергии можно определить из уравнения (1)

$$Q = \Delta U - A. \quad (2)$$

Количество теплоты, сообщенное системе, и работа системы зависят от типа процесса, но разность $Q - A$ постоянна для всех процессов, поэтому U не зависит от процессов перехода системы из одного состояния в другое. Клаузиус ввел понятие внутренней энергии. Эта энергия компенсировала потери тепла при совершении системой работы. У Карно теплота сохранялась постоянной. Итак Клаузиус исправляет Карно, говоря в первом начале, что сохраняется энергия, а не теплота, как у Карно. Теплота перераспределяется. Часть ее идет на совершение системой работы, а часть на изменение внутренней энергии.

16.2. Энтропия

Более общая формулировка второго начала термодинамики может быть дана с помощью физической величины, введенной Клаузиусом в 1865 г., которую он назвал *энтропией* (от греческого слова "тропэ" – превращение). КПД цикла Карно можно записать в следующем виде:

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1},$$

где Q_1 – количество теплоты, отданное нагревателем; Q_2 – количество теплоты, полученное холодильником. Перепишем это выражение по-другому:

$$\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}.$$

Причем количество теплоты, отданное холодильнику, берется со знаком минус, а количество теплоты нагревателя с плюсом. Тогда последнее выражение можно записать:

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0.$$

Это выражение для идеального обратимого цикла Карно. Если взять произвольный замкнутый цикл, то его можно представить как сумму циклов Карно:

$$\sum \frac{Q}{T} = 0.$$

К этому выражению пришли независимо и Кельвин и Клаузиус. Величину $\frac{Q}{T}$ Клаузиус и назвал энтропией и обозначил латинской буквой S . Клаузиус считал ее мерой способности теплоты к превращению. Изменение энтропии не зависело от пути, и для обратимых процессов имело вид:

$$\Delta S = 0.$$

Последнее выражение представляет собой запись второго начала термодинамики для обратимых процессов.

Реальные процессы являются необратимыми. Невозможно представить себе случай, когда старый человек превращается в младенца. В реальных естественных процессах энтропия системы возрастает. Это утверждение справедливо для замкнутых систем. Для нас такой замкнутой системой является Вселенная. Для замкнутой системы изменение энтропии необратимых процессов возрастает:

$$\Delta S > 0.$$

Это запись второго начала термодинамики через понятие энтропии для необратимых процессов, или по-другому это есть принцип возрастания энтропии.

16.3. Механическая теория теплоты. Атомистика

Механическая теория теплоты, т.е. представление о теплоте как форме движения мельчайших частиц вещества – атомов и молекул, похоронила идею теплорода в середине XIX в.

В 1857 г. появилась статья Клаузиуса "О роде движения, который мы называем теплотой". Позже эта статья вошла в его третий том "Механической теории тепла", к ней Клаузиус сделал дополнение, в котором упомянул ряд своих предшественников по этому вопросу.

Клаузиус подчеркнул в этой работе, что его термодинамические исследования не связаны с какими-либо представлениями о природе теплоты. Все сделанные им выводы в первой части "Механической теории тепла", основывались на общих законах. Это делает термодинамику мощным средством исследований во всех областях физической науки. Вместе с тем Клаузиус говорит, что молекулярно-кинетические представления помогли ему выработать основные понятия и принципы термодинамики.

В статье Клаузиус излагает основные представления молекулярно-кинетической теории. Он рассматривает теплоту как движение атомов и молекул. В твердом теле молекулы движутся вокруг определенных положений равновесия, а в жидкостях молекулы могут двигаться поступательно, оставаясь при этом в пределах определенного объема. В газах молекулы движутся во все стороны поступательно, сталкиваясь между собой. В газах они могут совершать и вращательные движения. Клаузиус рассматривает идеальный газ – газ, молекулы которого настолько малы, что их объемом можно пренебречь по сравнению с объемом всего газа. Также в его идеальном газе молекулы взаимодействуют между собой, только находясь в непосредственной близости друг от друга. Клаузиус делает также предположение, что молекулы газа движутся во всевозможных направлениях и любое из этих направлений движения имеет одинаковую вероятность. *Это гипотеза молекулярного хаоса.* Он подсчитывает величину давления идеального газа на стенки сосуда, считая, что соударение молекулы со стенкой сосуда происходит по законам упругого удара, по законам классической механики.

Итак, Клаузиус строит кинетическую теорию газов на основе классической механики, привлекая молекулярные представления и статистику. Он вычисляет среднюю длину свободного пробега молекул и среднее число столкновений, оперируя понятиями теории вероятностей.

Следующий шаг в развитии кинетической теории сделал Максвелл. В работе "Пояснение к динамической теории газов", вышедшей в 1860 г., он выводит закон *распределения скоростей молекул газа*. Газ представляет собой колоссальное число молекул, которые движутся хаотически. Поэтому определить скорость отдельной

молекулы не представляется возможным. Можно, согласно Максвеллу подсчитать среднее число молекул, которые имеют вполне определенную скорость в данный момент времени. Полученный Максвеллом закон распределения молекул по скоростям является важным законом статистической физики.

16.4. Статистическая интерпретация второго начала термодинамики

Австрийский ученый Людвиг Больцман (1844 – 1906) обобщил закон распределения Максвелла, заложил основы статистической механики и сумел с помощью нее обосновать второе начало термодинамики. Молекулярно-кинетическая теория опиралась на законы классической механики. Уравнения классической механики являются обратимыми. Поэтому попытки обосновать второе начало термодинамики и необратимых процессов с помощью механики столкнулось с трудностями, которые были преодолены Больцманом.

Людвиг Больцман родился в 1844 г. в Вене. Учился в университетах Вены, Гейдельберга и Берлина. В 1869 г. избирается профессором физики в Граце в возрасте 25 лет. Здесь он руководит кафедрой экспериментальной физики. В Граце он проработал с небольшим перерывом до 1869 г. Здесь он выполнил свои знаменитые работы по статистической физике и обосновал второе начало термодинамики. С 1889 по 1894 гг. Больцман избирается профессором Мюнхенского университета. Затем он перебирается в Вену. В Вене Больцман покончил жизнь самоубийством в 1906 г.

Важнейшим результатом исследований Больцмана было обоснование второго начала термодинамики. Полученная Больцманом формула, выражающая связь энтропии и вероятности, выгравирована на могиле Больцмана.

16.5. Микросостояние системы. Макросостояние

Больцман четко разделяет понятие микросостояния и макросостояния системы. Микросостояние определено, если заданы положения и скорости каждой отдельной молекулы.

Макросостояние определено, если заданы макроскопические свойства системы, такие как давление, объем, температура и т.д.

В действительности мы можем определять макросостояние системы. Скорости, координаты каждой отдельной молекулы мы определить не можем, так как система состоит из огромного числа молекул, двигающихся хаотически. Но мы можем понять, что огромное число микросостояний системы может соответствовать одному и тому же макросостоянию. Рассмотрим пример. Пусть у нас имеется четыре плоских диска каждая сторона которых окрашены в белый и черный цвет. Вы их встряхиваете в руках и бросаете. Число выпавших после бросания белых и черных дисков определяют макросостояние системы. Выпавший белый или черный цвет для каждого диска определяет микросостояние этой системы. Например, выпадут четыре белых диска. Это макросостояние системы. Это состояние может осуществиться единственным микросостоянием. Пусть выпадет один черный диск и три белых. Это макросостояние может осуществиться четырьмя различными микросостояниями. Схематично обозначим данное макросостояние заглавными буквами: ЧБББ; БЧББ; ББЧБ; БББЧ. Мы видим, что данное макросостояние осуществляется четырьмя микросостояниями. Наибольшее число микросостояний, соответствующих макросостоянию, в котором выпадает два белых и два черных диска, соответствует шесть различным микросостояниям ББЧЧ; ЧЧББ; ЧБЧБ; БЧБЧ; ЧББЧ; БЧЧБ. По мере увеличения подобных дисков число микросостояний, которыми может реализоваться макросостояние, резко увеличивается. Так, для 100 дисков число микросостояний, характеризующих макросостояние, при котором выпадает 100 белых дисков, равно 1, а для макросостояния при котором выпадает 50 белых и 50 черных дисков характеризуется колоссальным числом микросостояний 1×10^{29} . Число микросостояний, которыми осуществляется данное макросостояние, называется статистическим весом или термодинамической вероятностью W .

Из данного примера мы видим, что по мере увеличения числа дисков, вероятность реализации упорядоченного состояния, при котором выпадает только белые или только черные диски, чрезвычайно мала, а вероятность выпадения половины белых и половины черных шаров, наименее упорядоченного состояния, наибольшая.

Больцман показал, что энтропия системы S в данном макросостоянии может быть представлена формулой:

$$S = k \log W,$$

где k – постоянная, носящая сейчас имя Больцмана. Эта формула и выбита на надгробии великого теоретика.

Формула Больцмана показывает, что энтропия связана с вероятностью, а вероятность напрямую связана с беспорядком. Например, вероятность того, что молекулы газа распределятся по всему объему комнаты и будут двигаться хаотично, гораздо большая, чем если молекулы газа соберутся в углу комнаты и будут двигаться с одинаковыми скоростями. Чем выше энтропия, тем выше беспорядок, и энтропия является вероятностной величиной.

Итак, второе начало термодинамики, говорящее об увеличении энтропии в необратимых процессах, в рамках статистической механики сводится к утверждению, что во Вселенной происходят лишь те процессы, которые наиболее вероятны и хаотичны. Кроме того, второе начало в интерпретации вероятностной теории не запрещает процессы, в которых энтропия уменьшается, но говорит о том, что эти процессы маловероятны.

17. ТЕОРИЯ ТЕПЛОЙ СМЕРТИ ВСЕЛЕННОЙ

В 1852 г. Томсон в статье "О проявляющейся в природе общей тенденции к рассеянию механической энергии" пришел к следующим пессимистическим выводам:

1 В материальном мире существует в настоящее время общая тенденция к расточению механической энергии.

2 Восстановление механической энергии в ее прежнем количестве без рассеяния ее в более чем эквивалентном количестве не может быть осуществлено при помощи каких бы то ни было процессов с неодушевленными предметами и, вероятно, также никогда не осуществляется при помощи организованной материи, как надежденной растительной жизнью, так и подчиненной воле одушевленного существа.

3 В прошлом, отстоящем на конечный промежуток времени от настоящего момента, Земля находилась и спустя конечный промежуток времени снова очутится в состоянии, непригодном для обитания человека; если только в прошлом не были проведены и в будущем не будут предприняты такие меры, которые являются неосуществимыми при наличии законов, ныне регулирующих известные процессы, протекающие ныне в материальном мире".

Такова концепция тепловой смерти Вселенной. Через двадцать лет к идее тепловой смерти Вселенной приходит и Клаузиус, формулируя второе начало в виде положения: "Энтропия Вселенной стремится к максимуму".

Концепция тепловой смерти вызвала бурную дискуссию среди физиков и философов, которая еще не завершена и в наше время. Среди главных возражений крупных ученых этой концепции было возражение о неправомочности распространения второго начала на всю Вселенную. Статистическая интерпретация второго начала термодинамики Больцмана избавляет Вселенную от тепловой смерти. Второе начало носит у Больцмана не абсолютный характер, а является статистическим законом природы. В природе возможны процессы, происходящие с убыванием энтропии, хотя и маловероятные, которые избавляют Вселенную от тепловой смерти. Интерпретация Больцмана второго начала термодинамики подвергалась жестокой критике, и это послужило толчком к его самоубийству.

Порядок и беспорядок.

Наш пример с дисками показывает, что вероятность напрямую связана с *беспорядком*. Мы видели, что, когда выпадает одинаковое число белых и черных дисков, когда состояние системы наименее упорядочено, тогда вероятность становится наибольшей, в то же время, вероятность наименьшая, когда система наиболее упорядочена, когда выпадают только белые или только черные диски. Что же такое порядок и беспорядок?

В общих чертах мы представляем, что такое порядок или структура. Возьмем кристаллическое тело. Оно представляет собой собрание атомных или молекулярных ячеек, образующих правильную решетку. Эти ячейки, повторяющиеся по всему пространству кристалла, называются *элементарными ячейками кристаллической решетки*. В любой элементарной ячейке существует полный набор атомов, регулярно расположенных в определенном порядке. К кристаллическим телам относятся многие твердые тела, но есть твердые тела, которые не имеют упорядоченного строения. Такие вещества называются *аморфными*. Примером аморфного тела является сажа.

Жидкости имеют некоторую упорядоченность, простирающуюся на расстояние нескольких атомов или молекул – *ближний порядок*.

В газах расположение частиц совершенно неупорядоченно.

Можно сказать, что частицы, составляющие кристаллические тела, располагаются упорядоченно. Синонимом упорядоченности является понятие *структуры*, т.е. *твердое кристаллическое тело обладает структурой*. *Газы и аморфные тела не имеют структуры*.

Жидкости занимают промежуточное положение между твердыми кристаллическими телами и газами. Они имеют ближний порядок или обладают *локальной структурой и не имеют глобальной структуры*. Различные жидкости обладают большей или меньшей степенью упорядоченности. Существуют жидкие кристаллы, которые имеют дальний порядок в некоторых направлениях, по другим направлениям упорядоченность у них полностью отсутствует. Их можно считать твердыми телами в одних направлениях, а по другим они являются жидкостями. Такие необычные свойства жидких кристаллов позволяют широко их использовать в электронике.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ВОЗНИКНОВЕНИЕ НАУК	4
1.1. Пифагор	5
1.2. Возникновение атомистики	6
1.3. Аристотель	6
1.4. Архимед	8
2. ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ СРЕДНЕВЕКОВЬЯ	9
2.1. Естествознание в XI – XVII вв.	9
2.2. Гелиоцентрическая система мира. Коперник	10
2.3. Галилей	11
2.4. Ньютон	13

2.5. Близкодействие. Дальнодействие	13
3. ВОЗНИКНОВЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО И МАТЕМАТИЧЕСКОГО МЕТОДОВ	15
3.1. Новая методология и новая организация науки. Бэкон и декарт	15
3.2. Законы Ньютона	22
3.3. Волна и частица	23
4. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ КАРТИНА МИРА	24
4.1. Электричество и магнетизм	24
4.2. Открытие электромагнетизма	26
4.3. Электромагнитное поле	26
4.4. Максвелл	27
4.5. Создание физических лабораторий	28
4.6. Максвелл и Кавендишская лаборатория	30
5. ОТКРЫТИЕ КВАНТОВ. КВАНТОВАЯ ПРИРОДА СВЕТА	32
5.1. Макс Планк и проблема теплового излучения	32
5.2. Квантовая природа света	34
6. ОТКРЫТИЕ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ	34
6.1. Катодные лучи	34
6.2. Рентген и открытие рентгеновских лучей	35
7. ОТКРЫТИЕ РАДИОАКТИВНОСТИ	35
7.1. Анри Беккерель и его открытие	35
7.2. Радиоактивность	36
8. ДЖОЗЕФ ДЖОН ТОМСОН И ОТКРЫТИЕ ЭЛЕКТРОНА	37
8.1. Джозеф Джон Томсон	37
8.2. Кембриджский университет	38
8.3. Открытие электрона	41
9. АТОМ	43
9.1. Модель атома Д.Д. Томсона	44
9.2. Резерфорд и планетарная модель атома	45
9.3. Трудности модели атома Резерфорда	48
9.4. Бор и квантовая модель атома	49
9.5. Принцип соответствия	50
9.6. Нильс Бор	51
10. ВОЛНЫ ДЕ БРОЙЛЯ. КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА	52
10.1. Гипотеза де Бройля	52
10.2. Квантовая механика	53
10.3. Принцип неопределенности Гейзенберга	53
10.4. Принцип дополнительности	54
11. АТОМНОЕ ЯДРО	56
11.1. Открытие масс-спектропии	56
11.2. Искусственная ядерная реакция	56
11.3. Открытие нейтрона	57
11.4. Протонно-нейтронная модель ядра атома	57
11.5. Энергия связи ядра	58
11.6. Открытие позитрона	59
11.7. Деление ядра	60
11.8. Цепная реакция	60
11.9. Ядерный синтез	61
12. ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ ЧАСТИЦЫ	61
13. ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ЭЙНШТЕЙНА	64
14. ВСЕЛЕННАЯ	70
14.1. Расширяющаяся вселенная	72
14.2. Космологические модели вселенной	73
14.3. Гипотеза большого взрыва	74
15. ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ И ПРЕВРАЩЕНИЯ ЭНЕРГИИ	75
16. ТЕРМОДИНАМИКА	78
16.1. Первое начало термодинамики	80
16.2. Энтропия	81
16.3. Механическая теория теплоты. Атомистика	82
16.4. Статистическая интерпретация второго начала термодинамики	83
16.5. Микросостояние системы. Макросостояние	83
17. ТЕОРИЯ ТЕПЛОЙ СМЕРТИ ВСЕЛЕННОЙ	85