

Концепции физики

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ	1
ВВЕДЕНИЕ	3
1. ЗАРОЖДЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ	4
2. ФИЗИЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ ЭПОХИ АНТИЧНОСТИ	5
2.1. Специфика первых систем теоретического физического знания	5
2.2. Концепция атомистики	5
2.3. Физическое учение Платона	6
2.4. Аристотельская физика	6
2.5. Статика и гидростатика Архимеда (III- II в. до н.э.)	7
2.6. Оптика Евклида и Птолемея	8
2.7. Роль физических концепций античности в развитии физики	9
3. ФИЗИЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ СРЕДНЕВЕКОВЬЯ	10
3.1. Социокультурные особенности развития науки в эпоху средневековья	10
3.2. Основные физические цели средневековья	10
4. ФИЗИЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ ЭПОХИ ВОЗРОЖДЕНИЯ	13
4.1. Влияние потребностей практики и инженерии на развитие физики	13
4.2. Экспериментальные физические исследования Леонардо да Винчи	13
4.3. Влияние гелиоцентрической концепции Н.Коперника на развитие физики	14
5. ФИЗИЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ XII - XVIII ВВ.	16
5.1. Особенности периода начала Нового времени	16
5.2. Механика Г.Галилея и начало критики аристотелевской физики	17
5.3. Антиперипатетический характер экспериментальных физических концепций Нового времени	19
5.4. Особенности картезианской физики	20
5.5. Разработка основ классической физики	21
5.5.1. Физическая концепция И. Ньютона как итог развития опытного естествознания	21
5.5.2. Законы классической механики	23
5.5.3. Ньютоновская концепция пространства и времени	25
5.5.4. Закон всемирного тяготения	26
5.6. Формирование механической картины мира	27
5.7. Корпускулярная и волновая концепции света	27
5.8. Принципы минимального времени П.Ферма и наименьшего действия П.Мопертюи	28
5.9. Особенности физических концепций XVIII века	29
5.10. Теория теплорода и механическая концепция теплоты	29
5.11. Концепция единого универсального взаимодействия частиц вещества Р.Бошковица	30
6. ОСНОВНЫЕ КОНЦЕПЦИИ КЛАССИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ XIX ВЕКА	32
6.1. Становление классического естествознания	32
6.2. Волновая концепция света О.Френеля	33
6.3. Концепции классической электродинамики	33
6.4. Электромагнитное поле Максвелла и эфир	34
6.5. Молекулярно-кинетическая концепция тепловых процессов	36
6.6. Концепции классической термодинамики	37
6.6.1. Возникновение термодинамики	37
6.6.2. Первое начало термодинамики	38
6.6.3. Второе начало термодинамики	39
6.6.4. Третье начало термодинамики	41
6.7. Возникновение предпосылок атомной и ядерной физики	42
7. ОСНОВНЫЕ КОНЦЕПЦИИ ФИЗИКИ XX ВЕКА	44
7.1. Революция в физике	44
7.2. Теория относительности	45
7.2.1. Кризис классических представлений о пространстве и времени	45
7.2.2. Специальная теория относительности	47
7.2.3. Общая теория относительности	49
7.3. Квантовая теория	50
7.3.1. Предпосылки квантовой теории	50
7.3.2. Принцип соответствия	52
7.3.3. Волновая механика	53
7.3.4. Квантовая (матричная) механика. Принцип неопределенности	53
7.3.5. Интерпретации квантовой теории. Принцип дополнительности	54
7.3.6. Квантовая статистика	57
7.3.7. Квантовая теория поля	58
7.4. Концепции физики атомных и ядерных процессов	59

7.4.1. Модели атома.....	59
7.4.2. Структура атомного ядра	61
7.4.3. Процессы ядерного превращения	61
7.5. Концепции физики элементарных частиц	62
7.5.1. Современный статус понятия Элементарной частицы.....	62
7.5.2. Современные представления о характере фундаментальных физических взаимодействий и типах элементарных частиц	64
7.5.3. Связь принципов симметрии физической системы и законов сохранения (теорема Э.Нетер).....	65
7.6. Концепции объединения физики.....	66
Заключение.....	69

ВВЕДЕНИЕ

Физика - наука о природе, изучающая простейшие и вместе с тем наиболее общие закономерности природы, строение и законы движения материи. Физику относят к точным наукам. Ее понятия и законы составляют основу естествознания. Границы, разделяющие физику и другие естественные науки, исторически условны. Принято считать, что в своей основе физика является наукой экспериментальной, поскольку открытые ею законы основаны на установленных опытным путем данных. Физические законы представляются в виде количественных соотношений, выраженных на языке математики. В целом физика разделяется на экспериментальную, имеющую дело с проведением экспериментов с целью установления новых фактов и проверки гипотез и известных физических законов, и теоретическую, ориентированную на формулировку физических законов, объяснение на основе этих законов природных явлений и предсказание новых явлений.

Структура физики сложна. В нее включаются различные дисциплины или разделы. В зависимости от изучаемых объектов выделяют физику элементарных частиц, физику ядра, физику атомов и молекул, физику газов и жидкостей, физику плазмы, физику твердого тела. В зависимости от изучаемых процессов или форм движения материи выделяют механику материальных точек и твердых тел, механику сплошных сред (включая акустику), термодинамику и статистическую механику, электродинамику (включая оптику), теорию тяготения, квантовую механику и квантовую теорию поля. В зависимости от ориентированности на потребителя получаемого знания выделяют фундаментальную и прикладную физику. Принято выделять также учение о колебаниях и волнах, рассматривающее механические, акустические, электрические и оптические колебания и волны под единым углом зрения. В основе физики лежат фундаментальные физические принципы и теории, которые охватывают все разделы физики и наиболее полно отражают суть физических явлений и процессов действительности.

1. ЗАРОЖДЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ

От ранних цивилизаций, возникших на берегах Тигра, Евфрата и Нила (Вавилон, Ассирия, Египет), не осталось никаких свидетельств о достижениях в области физических знаний, за исключением овеществленных в архитектурных сооружениях, бытовых и т.п. изделиях знаний. Возводя различного рода сооружения и изготавливая предметы быта, оружия и т.д., люди использовали определенные результаты многочисленных физических наблюдений, технических опытов, их обобщений. Можно сказать, что существовали определенные эмпирические физические знания, но не было системы физических знаний.

Физические представления в Древнем Китае появились также на основе различного рода технической деятельности, в процессе которой вырабатывались разнообразные технологические рецепты. Естественно, что прежде всего вырабатывались механические представления. Так, китайцы имели представления о силе (то, что заставляет двигаться), противодействии, (то, что останавливает движение), рычаге, блоке, сравнении весов (сопоставлении с эталоном). В области оптики китайцы имели представление об образовании обратного изображения в "camera obscura". Уже в шестом веке до н.э. они знали явления магнетизма - притяжения железа магнитом, на основе чего был создан компас. В области акустики им были известны законы гармонии, явления резонанса. Но это были еще эмпирические представления, не имевшие теоретического объяснения.

В Древней Индии основу натурфилософских представлений составляют учение о пяти элементах - земле, воде, огне, воздухе и эфире. Существовала также догадка об атомном строении вещества. Были разработаны своеобразные представления о таких свойствах материи, как тяжесть, текучесть, вязкость, упругость и т.д., о движении и вызывающих его причинах. К VI в. до н.э. эмпирические физические представления в некоторых областях обнаруживают тенденцию перехода в своеобразные теоретические построения (в оптике, акустике).

2. ФИЗИЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ ЭПОХИ АНТИЧНОСТИ

2.1. Специфика первых систем теоретического физического знания

В свете современных историко-научных исследований считается, что основы теоретического физического знания закладывались в эпоху античности в Древней Греции и других странах Средиземноморья. Государственное устройство типа рабовладельческой демократии, относительная терпимость к выбору религиозных верований позволяли обсуждать проблемы естествознания и осуществлять разграничение науки и религии при решении этих проблем. Это способствовало появлению сначала различных натурфилософских концепций на основе наблюдений и экспериментов, затем разработке теоретических физических концепций. В силу низкого уровня развития техники, существовавшей недооценки количественных расчетов и отстраненности потребностей рабовладельческого производства от достижений науки, эксперимент в эпоху античности не стал ни методом систематической проверки получаемых знаний, ни основным источником эмпирических знаний. Но постепенно на смену мифологическим объяснениям явлений действительности стали приходить попытки их научного обоснования.

Основной вопрос, занимавший мыслителей в это время был вопрос о соотношении единого и многого (иначе говоря, из какого начала образовалось окружающее нас множество вещей).

Фалес, высказавший мысль о том, что все вещи произошли из воды, по сути произвел революционный переворот в мировоззрении, означавший отказ от мифологического объяснения явлений действительности в пользу представлений о них как превращении веществ. Значение этого переворота в культуре общества трудно переоценить, ибо по сути своей современные представления о действительности укладываются в эту парадигму (разумеется в конкретизированном виде). Вслед за Фалесом по этому пути пошли Гераклит, высказавший идею об огне, как первооснове всего существующего, Анаксимандр - апейроне, Анаксагор - гомеомериях, Анаксимен - воздухе. Эмпедокл - четырех стихиях (огне, воздухе, воде и земле). Таким образом, ионийские натурфилософские концепции утверждали идею о действительности как непрерывном процессе преобразования материальных элементов (газообразных, жидких, твердых).

Картина мира, построенная на основе данных концепций, не нуждалась в божественном вмешательстве, но ее слабостью был чисто описательный характер, не допускавший количественных изменений. Данная картина была дополнена Пифагором, внесшим идею объяснения явлений реальности на основе математической закономерности. Но в области физических явлений опытное познание подменялось мистикой чисел. Идеалом познания пифагорийцев было пассивное созерцание, а не активный эксперимент. Вместе с тем для развития физических концепций была важна установленная пифагорейцами возможность операций с физическими величинами сведением их к мере и числу, что расширяло возможности человека в преобразовании природы. Таким образом, несомненно укреплялась идея о естественном характере развития действительности, которая приобретала все более конкретные очертания и вылилась в атомистическую концепцию, сыгравшую огромную роль в развитии науки.

2.2. Концепция атомистики

Предшествующие концепции не допускали существования пустоты. А раз в мире все заполнено, то движение невозможно - данный принцип утверждался Парменидом и обосновывался Законом Элейским (5 в. до н.э.). Атомистическая концепция, начало которой было положено Левкиппом и Демокритом, исходила из признания пустоты и движущихся в ней атомов - бесчисленных неделимых частиц (отличающихся друг от друга величиной и формой), различные сочетания которых образуют множество окружающих вещей. Кроме признания пустоты для атомистической концепции характерно также признание принципов сохранения материи (ничто не может возникнуть из ничего) и сохранения форм материи (природа все разлагает на тела и в ничто ничего не переводит, т.е. в природе повторяются постоянно одни и те же формы материи). Наличие пустоты (вакуума) было необходимо для существования движения, ибо в заполненном мире вещам двигаться некуда. Эпикур, в отличие от Демокрита, исходившего из господства необходимости в

мире атомов, привнес в атомистику идею случайного отклонения атомов от закономерных траекторий, благодаря чему они могут сталкиваться и образовывать тела. Поскольку в объяснениях Демокрита и Эпикура отсутствуют представления о взаимном притяжении атомов, то соединение их в целостность при образовании вещей обуславливалось наличием у атомов крючочков. Лукреций Кар (1 в до н.э.) избирательность атомов при объединении в тела объяснялось на основе принципа "подобный стремится к подобному". В поэме "О природе вещей" Лукреций в поэтической форме изложил основные положения атомистической концепции. Важной является идея об обмене тел своими "истечениями" - своеобразном прообразе дальнедействующих сил притяжения. Идея атомистики оказалась столь плодотворной, что просуществовала до настоящего времени.

Концепция атомистики в период античности не могла опираться на экспериментальное доказательство существования атомов. Она опиралась на факты наблюдения типа "ступени дворцов постепенно стираются", "запахи переносятся", "вблизи моря одежда увлажняется" и т.д., что позволило предположить существование невидимых частиц, из которых состоит все многообразие вещей.

2.3. Физическое учение Платона

Своеобразное физическое учение изложено Платоном в диалоге "Тимей". Заимствовав у своих предшественников представление о четырех видах материи (земле, воде, воздухе и огне), он изображает их взаимопревращаемыми. Эти виды материи являются проявлением первичной материи. Частицы (своего рода молекулы) разных видов материи различаются геометрической фигурой и размерами. Платон, опираясь на разработанную Теэтетом геометрию правильных многогранников, объяснял свойство видов материи - твердость, плавкость, воздухообразность, огнеобразность - геометрией многогранников. Из пяти видов правильных многогранников только у тетраэдра, октаэдра и икосаэдра все грани одинаковые - они представляют собой равносторонние треугольники, каждый из которых может быть разбит на шесть прямоугольных равнобедренных треугольников. У додекаэдра пятиугольные грани на одинаковые треугольники не разделяются. Куб и додекаэдр не могут превращаться в такие фигуры, в том числе и друг в друга. Поскольку из существующих видов материи самым устойчивым и наименьше подвижным является Земля, то ей соответствует четырехугольная плоскость куба как наиболее обеспечивающая эту устойчивость. Свойство других видов материи обеспечиваются соответствующими многогранниками.

2.4. Аристотельская физика

Физическое учение Аристотеля отличалось от соответствующих Демокрита и Платона своей "антиатомистичностью". Считая опыт источником знаний, Аристотель выступал в своей "Физике" против истолкования чувственно воспринимаемых тел на основе недоступных наблюдению атомов. Отвергает он и существование пустоты. Опыт свидетельствует о том, что чем плотнее среда, тем больше она оказывает сопротивление движению. В бесконечно разреженном пространстве сопротивления движению нет, поэтому движение тел было бы в нем бесконечным, что невозможно. Физический мир Аристотеля базируется на принципе естественности: каждое тело знает свое место. Естественное движение возникает тогда, когда тело стремится занять свое естественное место (падающий камень стремится вниз, к земле, искры летят вверх, к небесным огням и т.д.). Т.е. все тела в силу тяжести или легкости стремятся к центру мира либо от него. Так, в воздухе дерево стремится к центру, а в воде - от него. В остальных случаях, когда нет естественных причин движения, оно может осуществляться лишь насильственно, т.е. под действием внешних сил. Таким образом, естественное движение возможно под действием тяжести, во всех остальных случаях - под действием силы. Живые существа в своем движении реализуют свое естественное предназначение (птицы летают, рыбы плавают и т.д.).

Для объяснения всего существующего Аристотель использовал четыре типа начал (причин): материальную причину (материю - то, из чего что-либо возникает); формальную причину (форму - то, что в пассивной материи существует как возможность, превращает в действительность), движущую причину (действие - то, что движет), целевую причину (цель - то, ради чего что-либо

осуществляется). Материальная причина была выделена представителями милетской школы (Фалесом, Гераклитом и др.), Формальная причина - Платоном, движущей причиной занимались Анаксагор и Эмпедокл (у первого действие вызывалось Нусом, у второго - враждой и дружбой). Родоначальником целевой причины Аристотель считал себя. По словам Д.Бернала, "эта теория была бичом для науки в силу того, что она обеспечивала легкий способ объяснения любого явления с помощью постулирования соответствующей цели для него, не стараясь выявить то, как оно действует".¹

Источником всякого движения Аристотель считал неподвижный перводвигатель (бога) или первоформу (являющуюся, по сути, планом мира). Движение понималось Аристотелем как переход чего-либо из возможности в действительность, при этом он различал такие роды движения, как качественное (изменение), количественное (увеличение и уменьшение), перемещение (движение в пространстве), возникновение и уничтожение. Для Аристотеля окружающий мир состоял из чувственно воспринимаемых взаимопревращающихся элементарных качеств - теплое, холодное, влажное и сухое, которые образуют основные элементы мира: землю (холодную и сухую), воду (холодную и влажную), воздух (теплый и влажный), огонь (теплый и сухой). Подобное объяснение не свидетельствовало о сущностном понимании законов движения неодушевленной материи, т.е. не вносило в познание мира собственно физического содержания. Поэтому физическую концепцию Аристотеля часто называют феноменологической. Отказавшись от атомистической концепции, Аристотель не мог объективно способствовать прогрессу в развитии этой плодотворной физической идеи. Но его несомненной заслугой было создание рациональной, всеобъемлющей, целостной, упорядоченной на основе его логики системы знаний, оказавшей огромное влияние на развитие арабской и европейской средневековой мысли.

2.5. Статика и гидростатика Архимеда (III- II в. до н.э.)

Эпоха эллинизма характеризовалась наибольшим вкладом в развитие физики со стороны механики. Потребности в создании различного рода технических устройств (строительных, военных и т.д.) выдвигали на первый план вопросы статики. Архимед, создав теорию рычага, заложил основы статики. Строительная и военная техника основывалась на рычаге, позволявшем перемещать в пространстве тела большого веса при относительно небольших усилиях. Проблема рычага явилась обобщением эмпирически освоенных приемов его использования в разных областях деятельности. В своих трудах "О равновесии плоских тел и центрах тяжести плоских фигур" и не дошедшим до нас "О весах" Архимед изложил основные постулаты теории рычага:

-Равные тяжести на равных длинах уравниваются, на неравных же длинах не уравниваются, но перевешивает тяжесть на большей длине.

-Если при равновесии тяжестей на каких-нибудь длинах к одной из тяжестей будет что-то прибавлено, то они не будут уравниваться, но перевесит та тяжесть, к которой было прибавлено.

-Точно так же, если от одной из тяжестей будет отнято что-нибудь, то они не будут уравниваться, но перевесит та тяжесть, от которой не было отнято.

-Если две величины уравниваются на каких-нибудь длинах, то на тех же самых длинах будут уравниваться и равные им.

Исходя из этих, многократно проверенных на практике, постулатов, Архимед формулирует закон рычага в виде следующих теорем:

- Соизмеримые величины уравниваются на длинах, обратно пропорциональныхтяжестям.

- Если величины несоизмеримы, то они точно так же уравниваются на рычагах, которые обратно пропорциональны этим величинам.

Дав определение центру тяжести тела как расположенной внутри его точки, при подвешивании за которую оно останется в покое и сохранит первоначальное положение, Архимед определил центры тяжести треугольника, параллелограмма, трапеции и других фигур.

¹ Бернал Дж. Наука в истории общества. М., 1956. С.119.

Архимед явился также основоположником и гидростатики, законов плавающих тел. Этому был посвящен его труд "О плавающих телах". Гидростатика использовалась при определении плотности тел путем взвешивания их в воде и при определении грузоподъемности корабля. Логическая схема обоснования законов гидростатики отличалась от схемы обоснования закона рычага. Вначале Архимед формулирует предположение о внутренней структуре жидкости, а затем формулирует ряд теоретических следствий, вытекающих из данного предположения. Архимед исходит из того, что поверхность всякой неподвижно установившейся жидкости будет иметь форму шара, центр которого совпадает с центром Земли, и что жидкость по своей природе такова, что из ее частиц, расположенных на одинаковом уровне и прилежащих друг к другу, менее сдавленные выталкиваются более сдавленными и что каждая из ее частиц сдавливается жидкостью, находящейся над ней по отвесу, если только жидкость не заключена в каком-нибудь сосуде и не сдавливается еще чем-то другим. Следствия из этой гипотезы, выводимые математически, таковы:

- Тело, равнотяжелое с жидкостью, будучи опущено в эту жидкость, погружается так, что никакая их часть не выступает над поверхностью жидкости, и не будет двигаться вниз.

- Тело, более легкое, чем жидкость, будучи опущено в эту жидкость, не погружается целиком и некоторая его часть остается над поверхностью жидкости.

- Тело, более легкое, чем жидкость, будучи опущено в эту жидкость, погружается настолько, чтобы объем жидкости, соответствующий погруженной части тела, имел вес, равный весу всего тела.

- Тело, более легкое, чем жидкость, опущенное в эту жидкость силою, будет выталкиваться вверх с силой, равной тому весу, на который жидкость, имеющая равный объем с телом, будет тяжелее этого тела.

- Тело, более тяжелое, чем жидкость, опущенное в эту жидкость, будет погружаться, пока не дойдет до самого низа, и в жидкости станет легче на величину веса жидкости в объеме, равном объему погруженного тела.

В более кратком виде закон Архимеда формулируется в следующем виде: на всякое тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила, направленная вверх и равная весу вытесненной им жидкости. Данный закон оказался справедливым и для газа. Одним из первых случаев практического применения данного закона была проверка состава короны, изготовленной для сиракузского царя Гиерона. На основе того, что короной вытеснялось большее количество воды, чем золотым слитком Архимед установил, что корона состоит не из чистого золота, а из сплава.

2.6. Оптика Евклида и Птолемея

В эпоху античности в области оптики прежде всего необходимо отметить работу по геометрической оптике и перспективе. К их числу относятся "Оптика" и "Катоптрика" Евклида (III в. до н.э.). Евклид в области оптики опирался на разработанную атомистами концепцию зрительных лучей, согласно которой от вещей отделяются образы, вызывающие в глазу зрительные ощущения. Он геометрически вывел законы перспективы из четырнадцати исходных положений, которые были результатом оптических наблюдений. Наиболее важные из них:

- Лучи, исходящие из глаза, распространяются прямолинейно и расходятся в бесконечность.

- Фигура, охватываемая совокупностью зрительных лучей, есть конус, вершина которого расположена в глазу, а основание - на поверхности видимых предметов.

- Видимы те предметы, на которые падают зрительные лучи, и невидимы те, на которые зрительные лучи не падают.

- Предметы, видимые под большими углами, кажутся больше, видимые под меньшими углами кажутся меньше, а видимые под равными углами кажутся одинаковыми.

- Предметы, видимые под большими углами, различаются более отчетливо.

- Все лучи обладают одинаковой скоростью.

- Луч есть прямая линия, средние участки которой соединяют концы.

- Все, что видимо, видимо в прямолинейном направлении.²

Зрительные лучи рассматриваются как линии распространения света. Евклидом впервые формулируется закон распространения света, являющийся основой геометрической оптики. Архимед в концепцию "лучей зрения" ввел поправки, основанные на влиянии величины зрачка на результат измерения. Герон Александрийский четко различает оптику (учение о видении, о природе света), диоптрику (учение о визировании, визирных инструментах) и катоптрику (учение об отражении). Рассматривая отражение света от зеркала он доказал, что при равенстве угла падения и угла отражения сумма длин путей, которые проходит падающий луч от глаза до зеркала и отраженный луч от зеркала до объекта, является наименьшим расстоянием из всех возможных.

Наиболее полное исследование преломления света осуществлено Птолемеем в его "Оптике", где описаны результаты экспериментирования по преломлению света в стекле и воде, сведенные в таблицы, которые были весьма точны для своего времени. Он стремился выявить причину того, что при отражении углы падения и отражения равны, а при преломлении углы падения неравны углом преломления. Он посчитал угол преломления пропорциональным углу падения. Закон преломления должен был еще ждать своего открытия Снеллиусом в XVII веке.

2.7. Роль физических концепций античности в развитии физики

Оценивая значение физических концепций античности, важно иметь в виду, что не все из них дошло до нас. Но и дошедшее позволяет сделать вывод о том, что корни современной физики уходят в античную физику. Античные физические концепции содержали постановку многих фундаментальных физических проблем, определивших содержание физических исследований на протяжении многих последующих столетий. Многие физические концепции античности обнаружили свою "живучесть". Так, аристотельская физика сохраняла свое влияние до середины XVII века, физическое учение Платона - до середины XIX века, атомистическая концепция Демокрита и Эпикура - до XX века. Принято считать, что физика Нового времени в качестве своей значительной части содержит фундаментально переработанные физические концепции античности. По поводу оценки уровня развития физического эксперимента во времена античности существуют разные точки зрения. Одна исходит из того, что этот уровень в целом был всегда невысок, другая, напротив, признает этот уровень весьма высоким, (соответствующим образцам эксперимента Нового времени и ограниченного лишь возможностями античной техники), по утраченным с крушением античной цивилизации. В последнем случае европейской науке уровень развития эксперимента пришлось восстанавливать заново. Отсюда следует, что роль теоретических, физических концепций и физического эксперимента античности в развитии европейской науки различны. Во всяком случае, совершенно очевидно, что в результате ударов варваров пострадали прежде всего те достижения античной культуры и науки, которые зависели от "широкой материальной организации".³

При оценке науки периода античности все же невозможно отвлекаться от того социокультурного контекста, в рамках которого она развивалась. Наука все-таки действительно развивалась преимущественно весьма состоятельными людьми, причем не для целей непосредственного практического применения - рабовладельческий способ производства не мог не оказывать своего воздействия на характер науки. Но главное значение античной культуры в том, что она несла саму идею естественных наук, которая пережила время политического могущества античной цивилизации и которая оказала мощнейшее влияние на характер развития европейской культуры.

² Цит. по: Дорфман Я.Г. Цит.соч.С.77.

³ См. об этом: Бернал Дж. Наука в истории общества. М., 1956.

3. ФИЗИЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ СРЕДНЕВЕКОВЬЯ

3.1. Социокультурные особенности развития науки в эпоху средневековья

Внутренние (непроизводительный рабский труд, презрение свободных граждан к труду, восстание рабов и т.д.) и внешние (нашествие варваров) причины привели к распаду Римское государство. Античная цивилизация погибла, многие культурные и научные достижения были утрачены. Организованной силой сохранилось христианская церковь, сумевшая быстро приспособиться к происшедшим изменениям. Становление нового, феодального уклада во многом осуществлялось с опорой на христианство. Римская эпоха мало что дала теоретической науке, но она оставила богатый опыт в военном, техническом и административном деле, который, наряду с латинской грамотой, осваивался завоевателями. Постепенно создавались школы, колледжи, университеты, попавшие под влияние церкви. В монастырях оказались сосредоточенными труды древних авторов. Колледжи, монастыри и университеты превращались в центры новой западноевропейской культуры. В это время на Ближнем Востоке на основе ислама было создано на Аравийском полуострове сильное арабское государство, быстро завоевавшее Иран, Египет, страны Среднего Востока, юг Пиринейского полуострова. Поскольку основной задачей арабов было совершенствование военного дела, сбор даней и разнообразных податей, то производством, торговлей занимались представители коренных народов. И хотя арабский язык стал государственным языком, завоеватели сохраняли культуру завоеванных народов. На арабский язык были переведены труды античных авторов. Стали создаваться университеты в Кордове (755 г.), Багдаде (795 г.), Каире (972 г.). Для сравнения образование университетов в Европе: в Монпелье (1180 г.) Винченце (1205 г.), Ареццо (1215 г.), Падуе (1222 г.), Тулузе (1229 г.), Гренобле (1339 г.), Праге (1348 г.), Флоренции (1349 г.), Кракове (1368 г.). Важно подчеркнуть, что влияние ислама в арабских университетах было слабее, чем христианства в западно-европейских университетах. Таким образом, арабы в VII- XI вв. были звеном, связывающим восточную и западную культуру. Многие труды античных авторов на латинский язык переводились с арабского языка. Тот факт, что в качестве языка культурного общения на Арабском Востоке использовался живой разговорный язык, а не мертвый латинский (как в Европе), был важным культурным фактором. Кроме того, распространение среди арабов суфизма, обязывавшего мусульман исповедовать три обязательных догмата - веру в Аллаха, в его пророков и загробный суд, - давало больше свободы для решения проблем естествознания, благодаря чему на Арабском Востоке могли развиваться научные представления, в основе которых лежало научное наследие античности. Начавшись с комментариев трудов античных авторов (прежде всего в области механики и оптики), физические учения приобретали самостоятельный вид. Наиболее значительными фигурами среди арабских ученых были Ибн Сина, аль-Бируни и Ибн Рушд.

3.2. Основные физические цели средневековья

Аль-Бируни изобрел "конический прибор", позволявший определять плотность металлов и других веществ, причем с весьма высокой точностью.⁴ (Вклад аль-Бируни в развитие астрономии описан в разделе "Концепции астрономии".)

Ибн Рушд, известный в Европе под именем Аверроэс, дан комментарий к "Физике" Аристотеля. В античной механике проблемы различия между кинематикой и динамикой не существовало. В античной механике математической формулировки скорости движения не было, ибо само представление о возможности количественной оценки качественной определенности отсутствовало (Аристотель эти категории считал принципиально различными). Одни интерпретаторы Аристотеля полагали, что движение надо рассматривать лишь как чистое перемещение. Ибн Рушд настаивал на необходимости описывать движение с учетом вызвавших его причин.

В области физических учений Ибн Сины (980-1037), которого в Европе называли Авиценной, связано с проблемой движения брошенного тела. По данной проблеме он разработал собственную

⁴ Об устройстве "конического прибора". см.: Дорфман Я.Г. Цит.соч. С.93.

концепцию, суть которой заключается в признании того, что движимое получает склонность от движителя. По Ибн Сине, существуют три вида склонностей: психическая (связанная с жизнью), естественная и противоестественная (насильственная). Естественная склонность присуща свободно падающим телам. Противоестественная склонность (или приложенная сила) присуща противоестественно движущимся телам, причем ее действие зависит от величины веса тела, которому она сообщена. Ибн Сина утверждал, что противоестественная склонность ощущается как сопротивление насильственной попытке остановить естественное движение или перевести один вид противоестественного движения в другой. Если насильственное движение снаряда вызвано действующей в пустоте силой, то оно должно силой, то оно должно сохраняться, не уничтожаясь и не прерываясь. Если же сила существует в теле, то она должна либо оставаться в нем, либо исчезнуть. Но если она остается, то движение будет продолжаться непрерывно. Признание действия зависимости противоестественной склонности от величины веса тела, которому она сообщена, было шагом к количественной оценке склонности.⁵ Аристотелевские представления о роли воздуха в передаче движения Ибн Синой были отвергнуты. Таким образом, Ибн Сина полагал, что в теле может быть только одна "склонность". Веком позже аль-Баркат утверждал возможность одновременного существования в одном теле разных "склонностей" - при свободном падении тяжелого тела источник естественной склонности находится в самом теле и поэтому может непрерывно действовать, пока тело не достигнет своего естественного места.

В XIII веке к анализу данной проблемы обратился Фома Аквинский, который отрицал возможность передачи телу самостоятельной способности движения. У. Окхэм проблему брошенного тела свел к чисто кинематической задаче, снимая вопрос об источнике движения, а Ж.Буридан, выявив противоречия аристотельской трактовки проблемы, формирует физическое представление о зависимости напора от скорости перемещения и "количества материи", заключенного в движущемся теле, солидаризировавшись с концепцией аль-Барката.

Достижения в области оптики эпохи средневековья связаны прежде всего с именами аль-Хайсама, известного в Европе как Альхазен. Он создал капитальный труд "Сокровище оптики", оказавший большое влияние на развитие этой области физики. Он впервые дал анатомическое описание глаза и разработал концепцию, в соответствии с которой зрение вызывается лучами, приходящими в глаз от объектов, а изображение формируется внутри хрусталика прежде, чем достигнет оптического нерва. Рассматривая свет как поток частиц, Альхазен отражение света трактует как механическое явление. Установив, что нормаль к поверхности зеркала, падающий и отраженный лучи находятся в одной плоскости, он усовершенствовал формулировку закона отражения. В Западной Европе оптические исследования начинаются в XIII веке. Р.Гросетет разрабатывает геометрическую теорию происхождения радуги как эффекта преломления света в каплях воды и концепцию прямолинейного распространения света и звука на основе представления их как волн - отражение света рассматривалось по аналогии с эхом. Несомненным достижением было и изобретение в XIII веке очков, но оно не основывалось на каких-либо теоретических разработках. К достижениям следует отнести и исследования магнетизма П. де Марикура (Перегрина), который высказал мысль о том, что стрелка компаса поворачивается не к Полярной звезде (как думали древние китайцы), а к полюсу.

При оценке результатов развития физических представлений в эпоху средневековья большинство историков науки исходит из того, что за это время ни в одной из областей физики не было разработано ни одной последовательной физической теории, ни эффективных экспериментальных методов. Теоретические построения отличались абстрактностью. Технические достижения не основывались на теоретических разработках, теория и практика разобщены. Новая физика существовала лишь в потенции - в отдельных, не всегда отчетливых догадках, идеях. Но религиозные предрассудки (как христианства, так и ислама) не дают возможности им раскрыться. Умственная деятельность остается еще подчиненной религиозным догматам. В физике отсутствовали развитые количественные оценки. Однако развитие деловой жизни требовало качественных расчетов все больше и больше. Феодальная система хозяйства обнаруживала признаки разложения. Зарождавшиеся новые экономические отношения способствовали техническому прогрессу главным образом за счет рационализации труда. Медленное, но постепенно

⁵ См.: Дорфман Я.Г. Цит. соч. С.100.

ускоряющееся развитие техники и научных запросов готовил почву для возникновения новой общественно-экономической формации. Можно сказать, что наука развивалась вслед за развитием зарождающегося капитализма, усиливая свое влияние на этот процесс.

4. ФИЗИЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ ЭПОХИ ВОЗРОЖДЕНИЯ

4.1. Влияние потребностей практики и инженерии на развитие физики

Развитие новых общественных отношений в XV-XVI вв. сопровождалось усилением интереса к экспериментальному и математическому естествознанию. Изменения в технических приемах опережало их теоретическое осмысление. В XVI веке изобретаются гидравлические насосы, плотины, пресс для чеканки монет, вязальная машина и т.д. Эти технические изобретения демонстрировали, с одной стороны, роль инженерии, а с другой - ставили перед естествознанием новые проблемы, требовавшие физического эксперимента (проблема трения в машинах, проблема надежности инженерных сооружений и т.д.). Таким образом, материальные потребности капиталистического экономического развития вели к совершенствованию технических приемов (в горном и военном деле, мореплавании и т.д.). Это обуславливало использование новых материалов и процессов, что, в свою очередь ставило проблемы, которые существовавшая ранее наука разрешить не могла. Развивавшееся мореплавание раздвигало горизонт прежнего опыта и усиливало потребность в его расширении и обогащении. Сочетание социально-экономических и технических факторов вызывало сдвиг в сознании, усиливало потребность в выработке новой философии, отрицавшей роль авторитета (как религиозных доктрин, так и античных учений) и утверждавшей приоритет научного доказательства. Под воздействием происходящих изменений схоластика постепенно сдает свои позиции, идет процесс накопления знаний о свойствах реальных объектов. В рамках физического знания наибольшее развитие получают механика и оптика.

4.2. Экспериментальные физические исследования Леонардо да Винчи

Экспериментальные исследования данного времени в значительной мере связываются с именем Леонардо да Винчи. Исследователи его творчества полагают, что ничего существенно нового в развитие теоретической механики он не внес. Его сила заключалась в разнообразной экспериментальной деятельности. При этом важны оказывались не столько результаты экспериментов, сколько сама нацеленность на эксперимент как главный источник знания и технику постановки эксперимента. Важные эксперименты были поставлены им по проблемам падения тел, влиянию движения тела на силу удара, испытанию на разрыв, трению тел. В области исследования трения между твердыми поверхностями ему принадлежит заслуга вывода из поставленных им экспериментов закона трения, гласившего: "Каждым тяжелым телом побеждается сопротивление трения весу, равное четвертой части этого веса". Открытие этого закона было важным вкладом в развитие экспериментальной механики. Историки науки совершенно справедливо склонны важность открытия этого закона усматривать прежде всего в том, что впервые закон был открыт в результате физического эксперимента - и в этом смысле Леонардо значительно опережал свое время не столько результатами исследования, сколько пониманием задач, возникавших под влиянием бурного развития техники. Сама постановка подобных экспериментов, демонстрировавшая их огромные возможности, стимулировала интерес к экспериментальной физике.

Противопоставив схолистике опытное знание, Леонардо, таким образом, заложил основы экспериментального метода естествознания, открывающего широкие перспективы для использования математики. "Мудрость есть дело опыта" и "Нет достоверности в науках, не использующих математики" - эти провозглашенные им принципы являются двумя сторонами его метода. И в этом смысле Леонардо справедливо рассматривается как предшественник современного естествознания.

Использование своего метода позволило Леонардо сформулировать важные положения. Аристотельская физика исходила из того, что движение для своего сохранения требует силы. Леонардо в противоположность этому свидетельствует, что всякое движение стремится к своему сохранению, т.е. движущееся тело движется до тех пор, пока в нем сохраняется сила его движения. Это утверждение уже означало существенное продвижение в понимании природы движения от аристотельских положений к открытию закона инерции - Леонардо устанавливает факт существования инерции, инерционного движения. Причиной движения является сила, причиной

силы выступает движение. Сила рождается при внезапном увеличении тела (так при выстреле из пушки выталкивается ядро), а также путем скручивания и сгибания тел вопреки их естественному состоянию (на этом основано движение баллисты, лука). По мнению академика С.И. Вавилова, Леонардо является зачинателем фотометрии как точкой измерительной науки. Многочисленные опытные наблюдения Леонардо имели принципиально важное значение для последующих теоретических разработок (принцип суперпозиции, телескопический эффект и т.д.), но они не были использованы в полной мере его современниками. Тот факт, что его записи велись зашифрованным способом, а также то, что в рамках потребностей практики того времени многие его замыслы не могли быть реализованы, определили неостребованность его идей. Дж.Бернал охарактеризовал судьбу идей Леонардо: "Изучение бесчисленного множества механических аппаратов, предложенных и обрисованных Леонардо, начиная от прокатных станов до подвижных землеройных машин, раскрывает другой аспект трагедии его гения. Он мог изобретать машины чуть ли не для любой цели и рисовать их несравненно хорошо, однако почти ни одна из них и ни одна из наиболее важных не смогла бы работать, даже если бы он сумел найти достаточно денег, чтобы их сделать. Без количественного знания статики и динамики, без использования первичного двигателя вроде паровой машины инженер эпохи Возрождения фактически не мог даже выйти за пределы, установленные традиционной практикой. Заслуга его заключается не столько в том, что он сделал для развития машин, сколько во внушении образованному миру идеи о том, что действия природы могут быть объяснены с помощью механики."⁶

4.3. Влияние гелиоцентрической концепции Н.Коперника на развитие физики

Исследования в области механики в эпоху Возрождения были связаны прежде всего с астрономией. Дело в том, что невозможно развивать механику без учета закономерностей движения небесных светил, постоянно повторявшихся веками в астрономических наблюдениях, и в том, что развивать астрономию вне механики движения этих небесных светил было нельзя. Именно астрономии было суждено осуществить переворот в античном стиле мышления. И этот переворот был осуществлен Н.Коперником, поставившим проблему соответствия между сущностью движения и его восприятием. В основу решения проблемы он проложил тезис, который в настоящее время называют "принципом относительности восприятия". Суть его заключается в том, что всякое видимое изменение положения происходит вследствие движения либо наблюдаемого предмета, либо наблюдателя, или вследствие неодинакового перемещения их обоих (поскольку при равном перемещении наблюдаемого и наблюдателя в одну сторону движение будет незаметно). Описательная астрономия к этому времени накопила достаточно наблюдений и располагала достаточно точными математическими методами, позволяющими проверять гипотезы с помощью вычислений.

Основной замысел Коперника заключался в том, чтобы построить механическую модель Солнечной системы, согласующуюся с наблюдениями и дающую целостное представление о Вселенной. Поскольку движение Земли на видимой картине сферы неподвижных звезд никак не отражалось, Коперник представил, что данная сфера по сравнению с размерами орбиты Земли бесконечно велика - Земля относится к Вселенной как атом к телу. Ситуацию с кажимостью вращения Вселенной вокруг Земли для наблюдателя, находящегося на Земле, он сравнивает с аналогичной ситуацией, когда наблюдателю, находящемуся на корабле, кажется, что он находится в состоянии покоя, а все находящиеся вне корабля движется.

Таким образом, критический дух, внесенный Коперником в астрономию, позволил ему отвергнуть точку зрения здравого смысла но то, что казалось само собой разумеющимся, а именно тот факт, что Земля неподвижна, а вокруг нее движутся небесные светила. В его труде "Об обращении небесных сфер" высказана мысль о необходимости отличать гипотезы, отражающие подлинную действительность, от ложных гипотез. Именно это позволило Копернику не только обосновать гелиоцентрическую систему, но и научный метод построения и проверки гипотез. (Об астрономическом смысле системы Коперника см. раздел "Концепции астрономии").

⁶ Бернал Дж. Наука в истории общества. М.,1956.С.215.

Гелиоцентрическая концепция Коперника явилась важной научно-исследовательской программой, поставившей целый ряд проблем. Прежде всего обнаружилась необходимость проверить данную концепцию на предмет ее соответствия фактам, т.е. надо было установить соответствие результатов наблюдения тем положениям, которые выдвигала концепция. Для этого надо было иметь усовершенствованную наблюдательную и вычислительную технику - ее надо было создавать, ибо традиционные наблюдения невооруженным глазом с помощью визиров, угломеров невысокой точности и т.д. и обычная арифметическая техника (без десятичных дробей и логарифмов) не соответствовали данной задаче. Кроме того, необходимо было выявить физические причины движения небесных тел. Традиционная статика решение этой задачи не обеспечивала, поэтому возникла потребность в развитии динамики и соответствующего математического аппарата. Надо было также опровергнуть выдвигавшиеся против гелиоцентрической концепции возражения, особенно возражения против вращения Земли (в числе ее противников были Ф.Бекон, Тихо Браге). Но прежде всего важно было обеспечить прочное вхождение данной концепции в науку, чему сопротивлялась церковь. Этому в значительной мере способствовал Д.Бруно. В своих диалогах "Пир на пепле" и "О бесконечности Вселенной в мирах" средневековым представлениям о конечной Вселенной он противопоставил концепцию бесконечной Вселенной.

Коперник придерживался аристотелевской концепции относительно отличия "естественного" движения Земли и насильственных движений на ее поверхности. Бруно исходит из того, что не существует деления движений на "естественные" и "насильственные" - все находящиеся на Земле тела относятся к одной механической системе, все они движутся вместе с Землей. В противном случае было бы невозможно, например, подпрыгнуть и после этого вернуться на прежнее место. Аристотелевские физические возражения против существования пустоты также были отвергнуты Бруно - он исходил из того, что движение в бесконечном пустом космосе не имеет никаких препятствий. В силу бесконечности космоса, по Бруно, у него не может быть центра, центром может быть признана любая точка космоса.

Закljučая краткий обзор развития физических концепций эпохи Возрождения, можно сказать, что в это время была сокрушена аристотелевская физическая картина мира, поставлена задача выработки отражающей реальные свойства действительности физической концепции, а потребности технического прогресса привели к созданию основ физического эксперимента.

5. ФИЗИЧЕСКИЕ КОНЦЕПЦИИ XII - XVIII ВВ.

5.1. Особенности периода начала Нового времени

С XVII века начинается Новое время. Философия Возрождения подготовила новый тип философствования, отвергавший схоластику, теоцентристские построения, которые перестали удовлетворять требованиям объяснения новых социальных реалий.

В XVII веке укрепился капиталистический способ производства. Развитие экономики требовало расчетов национального дохода, индивидуальных доходов, численности рождаемости и смертности и т.д. Предпринимательский расчет становится нормой повседневной жизни. Его основа - количественная оценка. Расчет, количественная оценка влияют на человеческие отношения, проникают во все сферы человеческой практики.

Университетская наука, увлеченная проблемами античности и занявшаяся отвлеченными от практических потребностей вопросами, оказалась своего рода "закрытой системой", изолировавшей себя от реальных потребностей общества. Поэтому развитие естествознания в это время осуществлялось преимущественно вне университетской науки. Особенность этого периода характеризовалась следующим образом: "Неудовлетворенность технической интеллигенции состоянием университетской науки имела вполне реальные практические основания, - она была продиктована жизненно необходимой потребностью. Несмотря на то, что производство было в основном "мануфактурным", в практику строительного дела, транспорта, военного дела и некоторых видов производства вошли новые устройства, машины и приспособления. Разработка технологических правил и новых конструкций опиралась, как и прежде, на пробные производственные эксперименты. Но теперь они касались уже не тех простейших машин, на которых строилась техника Средневековья, напротив, эти опыты относились к целым узлам новых механических и гидравлических устройств. Варьирование условий и анализ результатов пробного опыта стали гораздо более сложными, менее наглядными и труднее обозримыми. Производственникам, инженерам, конструкторам требовались руководящие научные указания, чтобы лучше и быстрее разобраться в результатах пробных технических экспериментов. Но дальнейшее усовершенствование техники и повышение качества изделий упиралось в главное противоречие эпохи - противоречие между сравнительно высоким уровнем достигнутых к этому времени технологических знаний и резким отставанием от них многих отраслей естествознания и особенно физики".⁷

Несомненно, что возникновение интереса к опытному естествознанию во многом обязано Ф.Бэкону. Вместе с тем в условиях отставания теоретического естествознания от практических успехов техники важно было научное обобщение результатов технического опыта. Прежде всего возникла необходимость в усовершенствовании методов измерения и технологических приемов создания физических аппаратов. Накопленный опыт в машиностроении имел важное значение и его можно было использовать. Ситуация же в области теоретической физики была иной. Физика в это время могла предлагать разного рода теоретические гипотезы качественного характера. Способы же формулировок теоретических задач в математической форме, позволявшие осуществлять расчеты с научной степенью точности, отсутствовали. Качественные гипотезы не могли быть положены в основу технологических процессов или конструктивных разработок. В этих условиях разрыв между более высоким экспериментальным уровнем физики и более низким уровнем физических теорий мог быть ликвидирован с помощью экспериментальной науки. (Метод теоретической физики будет создан Ньютоном позже, в конце XVII века). В этом русле и проявилась методология Бэкона, ориентировавшая на постановку экспериментов, способствующих открытию новых законов. Принцип количественного измерения в экспериментальных исследованиях становится основой естествознания. Это находит свое выражение в изобретении разнообразных измерительных приборов - хронометров, биометров, термометров, весов и т.д. Таким образом, вслед за машиностроительной отраслью возникает приборостроительная. Потребности практики, увеличившиеся с созданием торговых и промышленных компаний, ставят вопрос о необходимости

⁷ Дорфман Я.Г. Указ. соч. С.130.

повышения эффективности физических исследований. Для этого была важна организационная и материальная поддержка науки. Создаются "Академия опыта" во Флоренции (1657 г.), Лондонское Королевское общество (1662 г.), Королевская Академия наук в Париже (1666 г.), Берлинская академия (1672 г.). В этих условиях потребность в методе построения физических теорий стала ощущаться еще острее. Бэкон исходил из того, что критериями правильной физической теории должны выступать применимость теории на практике, а также способствование развитию самой науки, принижая при этом роль математики. Декарт, напротив, образцом считает не экспериментальную физику с ее индуктивным методом, а математику. Критерием достоверности физической теории, но Декарту, является его соответствие дедуктивно полученным выводам, ее внутренняя логическая последовательность. Декарт полагал, что бог может осуществлять физическое явление бесчисленным количеством способов. Это обусловило его представление о множестве вариантов теорий. (В этом русле им была выдвинута произвольная теория вихрей, удерживающих планеты на своих орбитах - см. раздел "Концепции астрономии".)

Важно отметить признание Декартом возможной неоднозначности физической теории, что явилось следствием познания, каким способом бог реализовал данное физическое явление. Иначе говоря, соответствующая дедуктивным выводам теория оказывается лишь наиболее вероятной из числа возможных.

Иную позицию занимал Ньютон. Для него было важно однозначно выяснить с помощью экспериментов и наблюдений свойства изучаемого объекта и строить теорию на основе индукции без использования гипотез. Он исходил из того, что в физике как экспериментальной науке места для гипотез нет. Признавая безупречность индуктивного метода, он считал его среди прочих наиболее предпочтительным.

Общим для Декарта, Ньютона и других исследователей природы этого времени было использование теологических аргументов. (Не случайно Ньютона иногда называют не только первым ученым, но и последним богословом.) Задача естествознания усматривалась в выявлении божественного плана творения природы. В этом заключалась специфика развития естествознания XVII века. Поскольку физика XVII века по необходимости вступала в противоречие с церковными догматами, церковь, отстаивавшая свою позицию различия небесной и земной физики, не могла остаться к этому равнодушно. Галилей был подвергнут церковным репрессиям за "Диалог о двух главнейших системах мира, птолемеевой и коперниковой", целью которых было стремление приостановить распространение коперниканских идей. Для Италии, выступавшей в числе лидеров научного прогресса, это имело негативные последствия - развитие физических идей было заторможено. В Англии ситуация сложилась иная. Р.Бойль обосновал концепцию, согласно которой естествознание выступает опорой религии, благодаря чему церковную реакцию удавалось сдерживать. В целом же естествознание XVII века, отказавшееся от аристотелевских концепций, сочетает в себе опору на эксперимент, количественное измерение изучаемых явлений с аргументами теологического характера.

5.2. Механика Г.Галилея и начало критики аристотелевской физики

Если началом периода торжества нового, экспериментального подхода в естествознании принято считать гелиоцентрическую концепцию Коперника, учение об электричестве и Земле как о большом магните У. Гильберта (1600 г.) и открытие У.Гарвеем кровообращения (1628 г.), то завершением данного периода - утверждение коперниканской системы благодаря вкладу Г.Галилея. Гелиоцентрической концепции Коперника понадобилось время для своего утверждения. Борьба за ее утверждение для Бруно закончилась печально, да и одной демонстрации уверенности в ее истинности было мало - необходимы были более серьезные аргументы. Дело в том, что в первоначальном виде гелиоцентрическая концепция Коперника не содержала точного описания орбит планет и убедительных аргументов для объяснения невосприимчивости органами чувств движения Земли.

Первая задача была решена Тихо Браге и Иоганом Кеплером (см. раздел "Концепции астрономии"), вторая, связанная с созданием динамики, - Галилео Галилеем. Непригодность аристотелевской парадигмы понимал уже Леонардо да Винчи, выступивший против учения о

противоположности земного и небесного. Но его работы остались не опубликованными. Д.Бруно сделал выводы философского характера из учения Н. Коперника, а И. Кеплер систему Коперника привел в соответствие с новейшими астрономическими данными. Перед Галилеем встала задача обосновать концепцию Коперника физически. Использование телескопа позволило Галилею выявить несоответствие наблюдаемой картины аристотелевской концепции. Открытие спутников Юпитера позволило ему наглядно продемонстрировать модель коперниковской системы и утвердить преимущество наблюдения над умозрительными построениями.

Однако утверждения преимущества метода наблюдения над умозрительными аргументами для утверждения системы Коперника было недостаточно. Важно было объяснить, почему вращение Земли не сопровождается ураганным ветром, направленным в противоположную движению Земли сторону, а также почему сброшенные вверх тела не остаются позади. Для ответа на эти вопросы требовалось изучение свободного движения тел. Данная проблема имела важное и практическое значение, поскольку была связана с движением ядер при стрельбе из пушек и вообще движением метательных снарядов. Существовавшим теориям, объяснявшим это движение, недоставало математического обоснования. В "Диалогах о двух новых науках" Галилей дал математическое описание движения тел (работа была опубликована уже после осуждения Галилея за его "Диалог о двух главнейших системах мира"). Галилей, отбросил предшествующие воззрения на объяснение движения тел, обратился к эксперименту как методу исследования. Для проведения измерений падения тел он использовал маятник и наклонную плоскость, а также сбрасывание тел с Пизанской башни.

Аристотелевская физика признавала естественные и насильственные движения. Поскольку движение нашей планеты относилось к естественному виду движения, то выявилось противоречие между аристотелевским пониманием естественного движения как вызываемому стремлением тела занять свое "естественное место", с одной стороны, и движением планеты вокруг Солнца по замкнутым траекториям. Поэтому прежде всего было необходимо исследовать природу "естественного движения", т.е. падения тел. Эта проблема исследовалась физиками и до Галилея, но никто из них не мог установить величину скорости падения тел в единицу времени. Галилей понял, что установить это можно лишь в эксперименте. Но необходимо было найти способ уменьшить скорость движения падающего тела без искажения условий свободного падения. Галилей использовал в этих целях движение по наклонной плоскости. Проведение многократных экспериментов с движением тел по наклонной плоскости, а также с помощью маятника позволило Галилею сформулировать закон: законы свободного падения и движения тел по наклонной плоскости и показать ошибочность представлений Аристотеля об естественном и насильственном падении. Аристотель утверждал, что движущееся тело останавливается, если сила, его толкающая, прекращает свое действие. Галилей установил, что если на тело не действуют никакие силы, то оно покоится или движется равномерно и прямолинейно. Таким образом, Галилей показал ошибочность представлений Аристотеля об естественном и насильственном движении.

Рассматривая движение тела по наклонной плоскости, Галилей делает важный шаг в выработке представлений об инерции - одной из важнейших идей механики. Хотя ему и не удалось дать полную и точную формулировку закона инерции, он выявил способность тел сохранять свою скорость. Использование закона инерции в своих экспериментах позволило Галилею сформулировать идею относительности движения и обосновать систему Коперника. Если бросить с башни шар, то он вследствие силы инерции будет двигаться вместе с башней и упадет у ее подножия. При движении Земли нет вихря, т.к. атмосфера движется вместе с Землей. Отсюда следовало, что в механическом эксперименте нельзя выявить, движется система равномерно и прямолинейно или покоится - движения в той и другой системах осуществляются одинаково. Для обоснования динамики важнейшее значение имело установление независимости ускорения свободного падения от массы тела (Аристотель, как известно, считал, что скорость падения тела пропорциональна его массе). Если пренебречь сопротивлением воздуха, то, как выявил Галилей, скорость падения всех тел одинакова и пропорциональна времени падения, а пройденный в свободном падении телом путь пропорционален квадрату времени. Кроме законов равноускоренного движения Галилей открыл и закон независимости скорости падения от сообщенной телу при бросании горизонтальной скорости. Сила тяжести, действуя на находящееся в состоянии покоя тело, в первую секунду падения тела придает ему скорость в 9,8 м/с, в следующую

секунду увеличит скорость на ту же величину - скорость падения пропорциональна времени падения.

Математическое описание экспериментов, осуществленное Галилеем, имело для развития естествознания весьма важное значение. Соединение эксперимента и точного математического анализа дало возможность решить задачу свободного падения тел, показав, что в воздушном пространстве тела в падении двигались бы по параболической траектории. Этим был задан определенный образец метода физики, который во многом предопределил в последующем развитие физики. Галилей заложил основы современной механики. Им была четко выражена мысль, что единственными свойствами действительности, которые можно описать математически, являются протяженность, положение и плотность. Эта мысль по сути своей была программой сведения экспериментальных исследований к таким первичным качествам, как размер, форма, количество и движение.

Для того, чтобы экспериментально-математический метод приобрел всеобщее призвание, Галилею необходимо было сокрушить учение Птолемея о системе небесных сфер и аристотелевскую физическую парадигму, господствовавшую почти два тысячелетия в качестве основы естествознания и общественнознания. Именно эту задачу и преследовал его "Диалог о двух главнейших системах мира - птолемеевой и коперниковой". Именно это и вызывало его конфликт с церковью, поскольку новые идеи угрожали устоям церковного учения и общественного порядка. В основе конфликта лежало противоречие науки и догм религии. Осуждение Галилея и его вынужденное согласие отказаться от своего учения привлекло внимание естествоиспытателей к осознанию сути конфликта и способствовало становлению новой экспериментальной науки и распространению коперниканского учения. Спустя всего менее полувека Ньютон в своей теории всемирного тяготения объединит законы, установленные Кеплером и Галилеем.

5.3. Антиперипатетический характер экспериментальных физических концепций Нового времени

Галилей, подготовив почву для фундамента динамики, определил программу дальнейших исследований, но еще в общих чертах. Продолжателем его работ был Э.Торричелли. Он распространил идеи Галилея на теорию движения жидкостей и вывел формулу, с помощью которой определяется скорость вытекания жидкости из сосуда через отверстие в его стенке, заложив тем самым основы гидродинамики. Но главное его достижение - открытие атмосферного давления. Еще Галилей знал о наблюдениях флорентийских водопроводников, что вода поднимается не выше определенной высоты. Торричелли предположил, что воздух оказывает на нее определенное давление, которое и попытался измерить. С этой целью была использована закрытая с одного конца трубка, заполненная ртутью. Когда ее свободным концом опустили в воду, то уровень ртути в ней понизился, а над поверхностью ртути образовалась пустота. Происхождение этой "торричеллевы пустоты" было объяснено следующим образом: давление на поверхность ртути в чашке уравнивается весом столба ртути в трубке. Высота этого столба над уровнем моря составила 760 мм. Так был изобретен барометр. Так рухнула еще одна перипатетическая догма - о "боязни пустоты". Декарт предложил, а Б.Паскаль реализовал идею измерения атмосферного давления на различных высотах - в результате была установлена зависимость высоты ртутного столба от высоты места измерения и от состояния погоды. Это означало рождение научной метеорологии. О.Герике своими опытами с "магдебургскими полушариями" подтвердил существование атмосферного давления. Паскаль сформулировал основной закон гидростатики; известный как закон Паскаля: давление на поверхность жидкости, производимое внешними силами, передается жидкостью одинаково во всех направлениях. На нем основано действие гидравлического пресса. Паскалем был открыт также закон сообщающихся сосудов.

К успехам в развитии экспериментальной физики XVII века с полным основанием могут быть отнесены исследования в области электричества и магнетизма У.Гильберта. Предположив, что Земля является магнитом, он впервые объяснил поведение магнитной стрелки компаса влиянием его полюсов. Им было введено в физику понятия электричества (электрическими телами он назвал

предметы, подобные янтарю, которые способны после натирания притягивать к себе легкие предметы), положив начало изучению электрических явлений.

Роберт Бойль опроверг мнение сторонников аристотельской физики о том, что в трубке Торричелли ртуть удерживается невидимыми нитями, установив в 1662г. один из газовых законов: произведение объема данной массы идеального газа на его давление постоянно при постоянной температуре (позже этот закон независимо от Бойля установил Мариотт, поэтому данный закон носит название закона Бойля-Мариотта). Бойль отверг перипатетическое представление о цвете как о специфическом качестве тела, объяснив его количеством отраженного света. О.Герике создал первую электрическую машину в виде шара из серы, который вращался на железной оси, обнаружил явления электрического отталкивания и электрических разрядов. Х.Гюйгенс изобрел маятниковые часы со спусковым механизмом, манометр для измерения низких давлений установил законы колебания маятника, создал волновую теорию света, заложил основы теории удара. В "Трактате о свете" им сформулирован принцип распространения волны, известный как принцип Гюйгенса-Френеля, который гласит: каждая точка пространства, которой достигла в данный момент распространяющаяся волна, становится источником элементарных сферических волн. На основе этого принципа были введены законы отражения и преломления света. Гюйгенс первый установил явление поляризации света. Им было установлено, что центростремительное ускорение пропорционально квадрату скорости и обратно пропорционально радиусу окружности, что способствовало разработке ньютоновской теории движения тел.

5.4. Особенности картезианской физики

Весьма значительная роль в развитии естествознания (и физики в частности) XVII века принадлежит Р.Декарту, высказавшему закон сохранения количества движения и давшему понятие импульса силы (см. также раздел "Концепции астрономии" - о теории вихрей). Проблемы физики заняли значительное место в его "Началах философии". Поскольку опыт прямых нападок на религиозные догмы в это время был весьма печальным (сожжение Бруно и Сервета), Декарт постарался занять позицию, позволявшую уклониться от конфликта с церковью и тем самым обеспечить возможность развиваться науке в течение нескольких столетий. Он очень точно сформулировал деление Вселенной на физическую и моральную части. Такое деление было следствием сведения им чувственного опыта к механике и геометрии. Вслед за Галилеем Декарт единственными физическими реальностями считал протяженность и движение (понимаемое как механическое перемещение), которые рассматривал в качестве первичных качеств. Ко вторичным качествам он отнес цвет, вкус, запах. За их пределами находилась область страстей, воли, любви, веры. Физика занимается, главным образом, первичными качествами, которые можно измерять. Вторичными качествами физика занимается в меньшей мере. Третьи же качества относятся к сфере откровения, поэтому наука ими не занимается. Живой организм представлялся Декартом в виде машины, механизма, управляемым в соответствии с физическими принципами, с одной стороны, и разумом, волей - с другой. Подобное разделение дало возможность ученым проводить исследования, не вмешиваясь в дела религии и, следовательно, не вступая в конфликт с церковью. Более того, система Декарта позволяла доказывать бытие бога не менее убедительно, чем предшествовавшие способы доказательства: его тезис "Я мыслю, следовательно существую" позволял сделать вывод о том, что раз люди могут представить себе существо более совершенное, чем они сами, то оно должно существовать.

Декарт сформулировал три закона природы:

1. Всякая вещь находится в одном и том же состоянии, пока другие вещи не заставят ее изменить данное состояние.
2. Всякое движущееся тело стремится продолжать свое движение по прямой.
3. Если движущееся тело встретит другое, сильнеее тело, оно ничего не теряет в своем движении; если же оно встретит слабейшее, которое может подвинуть, оно теряет столько, сколько тому сообщает.

Легко видеть, что данные законы по сути являются чисто экспериментальными. Система Декарта явилась смесью заключений, опирающихся на эксперимент, с дедуктивными заключениями,

основанными на совершенно ясных первоначалах (чего требовал метод Декарта). Цели, к которым стремились Бекон и Декарт, были общими - сделать человека господином природы. И тот, и другой подняли авторитет экспериментальной науки, вытеснившей схоластику. Декарт утверждал, что в природе существует определенное количество движения, которое никогда не возрастает и не убывает. Так как материя, в представлениях Декарта, однородна и характеризуется только свойством протяженности, то понятие количества материи оказывается практически тождественным понятию объема тела. При анализе столкновений тел Декарт пользовался понятием силы, которая зависела от величины тела, в которое заключена, от скорости движения и способа столкновения тел. Здесь содержится формулировка закона сохранения импульса и закона инерции, хотя понятие импульса еще довольно размыто и выступает как скалярная величина. Декарт, в отличие от Ньютона, говорит о состоянии вообще, а не о состоянии равномерного и прямолинейного движения. Важно, что, по Декарту, инерция тела зависит от его скорости. Важно и то, что физика Декарта не признавала сил, действующих через пустоту на расстоянии. В ней существовали лишь взаимодействия соприкасающихся тел.

5.5. Разработка основ классической физики

5.5.1. Физическая концепция И. Ньютона как итог развития опытного естествознания

Основным достижением физических исследований XVII в., подводящим итог развитию опытного естествознания и окончательно сокрушившим перипатетическую физическую парадигму, явилось завершение создания общей системы механики, которая была в состоянии дать объяснение движению небесных светил на основе явлений, наблюдаемых на Земле. И в эпоху античности, в XVII веке признавалась важность изучения движения небесных светил. Но если для древних греков данная проблема имела больше философское значение, то для XVII века, преобладающим был аспект практический. Развитие мореплавания обуславливало необходимость выработки более точных астрономических таблиц для целей навигации по сравнению с теми, которые требовались для астрологических целей. Основной задачей было определение долготы, столь нужной астрономам и мореплавателям. Для решения этой важной практической проблемы и создавались первые государственные обсерватории (в 1672 г. Парижская, в 1675 г. Гринвичская). По сути своей это была задача определения абсолютного времени, дававшего при сравнении с местным временем интервал времени, который и можно было перевести в долготу. Определить это время можно было с помощью наблюдения движений Луны среди звезд, т.е. часов, "закрепленных на небе", а также с помощью точных часов, поставленных по абсолютному времени и находящихся у наблюдателя. Для первого случая были необходимы очень точные таблицы для предсказания положения небесных светил, а для второго - абсолютно точные и надежные часовые механизмы. Работы в этих направлениях не были успешными. И хотя суд над Галилеем был "силовым аргументом" в пользу аристотелевских представлений в области космологии, стремление найти приемлемое физическое объяснение системы Коперника сохранялось. Решением этой проблемы занимались многие выдающиеся исследователи (Галилей, Кеплер, Декарт, Гук, Гюйгенс и др.), но решить ее удалось лишь Ньютону, который, благодаря открытию закона всемирного тяготения и трех основных законов механики, а также дифференциального и интегрального исчисления предал механике характер цельной научной теории. Кроме того, Ньютону принадлежит заслуга открытия дисперсии света, хроматической аберрации, исследования интерференции и дифракции, развития корпускулярной теории света и т.д. Исследованию этих проблем посвящена его "Оптика". Его капитальный труд "Математические начала натуральной философии" (опубликованный в 1687 г.) Обобщил не только собственные исследования автора, но и опыт предшественников. Теория движения планет и закон всемирного тяготения явились основой физического обоснования коперниковской гелиоцентрической системы мира.

Поиски ответа на вопрос, почему планеты движутся вокруг Солнца по эллиптическим орбитам, вели многие исследователи. Поскольку планеты обращаются по орбитам, то должна быть какая-то сила, удерживающая их. Но какая? Гильберт высказал предположение, что такой силой мог быть магнетизм. Борелли полагал, что движение планет связано с необходимостью уравновесить

центробежную силу другой силой, которую он назвал силой тяготения и действие которой считал выходящим за пределы непосредственной близости Земли к Луне и Солнца к планетам. Гук предположил, что тяготение с расстоянием уменьшается. Декарт (теория тяготения которого была наиболее распространенной и которой вначале придерживался Ньютон) исходил из того, что тяжелые тела притягивались к своим центрам притяжения какой-то силой эфирных вихрей. Все эти идеи важно было свести к математической формуле и проверить наблюдениями. Гюйгенс, работая над часами с маятником, вывел закон о центробежной силе, установив ее прямую пропорциональность радиусу круга, по которому движется тело, и обратную пропорциональность квадрату скорости движущегося тела. Гук, Галилей и Рен установили, что для уравнивания центробежной силы тяготения или центростремительная сила должны зависеть от радиуса, деленного на его куб. Оставались нерешенными две проблемы. Первая - дать объяснение эллиптической форме орбит. Вторая - дать объяснение действию больших притягивающихся тел.

Условия для решения этих проблем были готовы, но эти решения необходимо было найти. Вклад, сделанный Ньютоном в развитие естествознания, заключался в том, что он дал математический метод обращения физических законов в количественно измеримые результаты, которые можно было подтвердить наблюдениями, и, наоборот, выводить физические законы на основе таких наблюдений. Как он сам писал в предисловии к "Началам", "...сочинение это нами предлагается как математические основания физики. Вся трудность физики... состоит в том, чтобы по явлениям движения распознать силы природы, а затем по этим силам объяснить остальные явления... Было бы желательно вывести из начал механики и остальные явления природы, рассуждая подобным же образом, ибо многое заставляет меня предполагать, что все эти явления обуславливаются некоторыми силами, с которыми частицы тел вследствие причин, пока неизвестных, или стремятся друг к другу и сцепляются в правильные фигуры, или же взаимно отталкиваются и удаляются друг от друга. Так как эти силы неизвестны, до сих пор попытки философов объяснить явления природы и оставались бесплодными. Я надеюсь, однако, что или этому способу рассуждения, или другому, более правильному, изложенные здесь основания доставят некоторое освещение".⁸

Средством осуществления этой задачи было исчисление бесконечно малых. Потребность в создании математики переменных величин (над созданием которой работали Кеплер, Галилей, Декарт и др.) была удовлетворена созданием дифференциального и интегрального исчисления. К его созданию пришли независимо друг от друга Ньютон и Лейбниц (вопрос о приоритете был предметом ожесточенного спора). Однако важно то, что Ньютон применил этот метод математического анализа для решения физических проблем. Данный метод стал средством понимания проблем переменных величин и движения, всех вопросов механической техники. С его помощью оказалось возможным определять положение тела в любое время, если известны отношения между этим положением и скоростью тела или величина ускорения в любое другое время. Иначе говоря, зная закон силы, можно вычислить траекторию движения тела.

Ньютон ввел понятие состояния системы. Первоначально оно было использовано для простейших механических систем. (В дальнейшем понятие состояние обнаружило свою фундаментальную роль и стало применяться в других физических концепциях в качестве одного из основных.) Состояние механической системы в классической механике полностью определяется импульсами и координатами всех тел, образующих данную систему. Если известны координаты и импульсы в данный момент времени, то можно однозначно установить значения координат и импульсов в любой последующий момент времени, а также вычислить значения других механических величин - энергии, момента количества движения и т.д. (Для того, чтобы сделать "Начала" понятными возможно большему числу читающих их, Ньютон изложил их на языке геометрии, перевод же на язык математического анализа был выполнен позже другими авторами.)

Для утверждения своей концепции Ньютону было необходимо разрушить старую, аристотельскую картину мира. Вместо сфер, которой управлялись перводвигателем, он ввел механизм, действующий на основе естественного закона, не требовавшего постоянного использования силы и допускавшего божественное вмешательство лишь для своего создания и

⁸ Цит. по: Бернал Дж. Наука в истории общества. М., 1956. С. 265. ("Математические начала натуральной философии" опубликованы в: Крылов А.Н. Собр.соч. Т.7.М., 1936).

приведения в движение. Это был компромисс науки и религии. С представлением, в соответствии с которым для поддержания движения нужна сила, было покончено. Место статистического представления мира заняло динамическое его представление. Уступки религии в вопросе о первотолчке были, однако, связаны не только с социальными причинами, обуславливающими компромисс науки и религии, но и с характером его понимания природы, которую он считал незволюционирующей, инертной, косной субстанцией. Поскольку вечные законы природы дают возможность объяснять только повторяемость неизменных, незволюционирующих тел, то первый толчок был в такой картине мира просто необходим. Ньютон, как и Аристотель, понимали физику как общую теорию природы. Но если Ньютон теорию природы строил на математических и экспериментальных началах, то Аристотель исключал их из сферы познания. Экспериментально-математический метод познания открыл перед физикой и вообще перед естествознанием колоссальные перспективы. Ньютон, заложив основы теоретического фундамента классической физики, открыл путь к ее дальнейшему развитию.

5.5.2. Законы классической механики

Если кинематика изучает движение геометрического объекта (т.е. не обладающего никакими свойствами материального тела, кроме свойства занимать определенное место в пространстве и изменять это положение с течением времени), то динамика изучает движение реальных тел под действием приложенных к ним сил, т.е. под действием других тел. Установленные Ньютоном три закона механики лежат в основе динамики. Непосредственно их можно применять к простейшему случаю движения, когда движущееся тело рассматривается как материальная точка, т.е. когда размер и форма тела не учитываются и когда движение тела рассматривается как движение точки, обладающей массой. В кипе для описания движения точки можно выбрать любую систему координат, относительно которой определяются характеризующие это движение величины. За тело отсчета может быть принято любое тело, движущееся относительно других тел. В динамике имеют дело с инерциальными системами координат, характеризующимися тем, что относительно них свободная материальная точка движется с постоянной скоростью. Инерциальной системой отсчета называют такую, в которой справедлив закон инерции: материальная точка, на которую не действуют никакие силы, находится в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения. Любая система отсчета, движущаяся относительно инерциальной системы отсчета, будет также инерциальной. (Все инерциальные системы отсчета равноправны, т.е. во всех таких системах законы физики одинаковы.)

Установить инерциальную систему координат с абсолютной точностью невозможно, поскольку для этого надо найти тело, на которое не действуют другие тела. За таковую нельзя принимать не только системы, связанные с Землей и Солнцем, но и даже с центром Галактики. Следовательно, понятие инерциальной системы координат есть абстракция, которая используется (как и всякое абстрактное понятие) в применении к физическим объектам с определенной степенью точности.

Закон инерции впервые был установлен Галилеем для случая горизонтального движения: когда тело движется по горизонтальной плоскости, то его движение является равномерным и продолжалось бы постоянно, если бы плоскость простиралась в пространстве без конца. Ньютон дал более общую формулировку закону инерции как первому закону движения: всякое тело пребывает в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения до тех пор, пока действующие на него силы не изменят это состояние. Важно отметить, что недостатком данной формулировки закона являлось то, что в ней не содержалось указания на необходимость отнесения движения к инерциальной системе координат. Дело заключается в том, что Ньютон не пользовался понятием инерциальной системы координат - вместо этого он вводил понятие абсолютного пространства (однородного и неподвижного), с которым и связывал некую абсолютную систему координат, относительно которой и определялась скорость тел. Когда бессодержательность абсолютного пространства как абсолютной системы отсчета была выявлена, закон инерции стал формулироваться иначе: относительно инерциальной системы координат свободное тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения.

Второй закон механики гласит: произведение массы тела на его ускорение равно действующей силе, а направление ускорения совпадает с направлением силы. Такова его современная

формулировка. Ньютон сформулировал его иначе: изменение количества движения пропорционально приложенной действующей силе и происходит по направлению той прямой, по которой эта сила действует. Т.е. Ньютон в формулировке второго закона оперирует понятием количества движения, понимаемым как мера движения, пропорциональная массе и скорости. Количество движения - величина векторная (Ньютон учитывал направление движения при формулировании правила параллелограмма скоростей). Но это понятие в истории науки не удержалось (и сейчас заменено понятием импульса), поскольку было неясно, чем измерять движение. Декарт количество движения измерял произведением массы на скорость, Лейбниц - произведение массы на квадрат скорости (называя количество движения живой силой). Между сторонниками первого и второго возникла дискуссия. Даламбер показал эквивалентность обоих мер измерения (если, например, тело тормозится под действием силы, то тормозящая сила определяется количеством движения mv , если известно время торможения, и выводится из $mv^2/2$, если известен путь торможения). Истинная суть обеих мер движения будет выяснена позже, когда будет открыт закон сохранения энергии.

Третий закон Ньютона гласит: действию всегда есть равное и противоположное противодействие, иначе взаимодействия двух тел друг на друга между собой равны и направлены в противоположные стороны. Иначе говоря, силы, с которыми действуют два тела друг на друга, равны по величине и направлены в противоположные стороны. Ньютон распространил действие этого закона на случай и столкновения тел, и на случай их взаимного притяжения.

Из трех фундаментальных законов движения Ньютона вытекают следствия, одно из которых - сложение количества движения по правилу параллелограмма. Если Декарт исходил из признания неизменности количества движения в мире, то Ньютон придерживался противоположного мнения.

Ускорение тела зависит от величин, характеризующих действие других тел на данное тело, а также от величин, определяющих особенности этого тела. Механическое действие на тело со стороны других тел, которое изменяет скорость движения данного тела, называют силой. Она может иметь разную природу (сила тяжести, сила упругости и т.д.). Изменение скорости движения тела зависит не от природы сил, а от их величины. Поскольку скорость и сила - векторы, то действие нескольких сил складывается по правилу параллелограмма. Свойство тела, от которого зависит приобретаемое им ускорение, есть инерция, измеряемая массой. В классической механике, имеющей дело со скоростями, значительно меньшими скорости света, масса является характеристикой самого тела, не зависящей от того, движется оно или нет. Масса тела в классической механике не зависит и от взаимодействия тела с другими телами. Это свойство массы побудило Ньютона принять массу за меру материи и считать, что величина ее определяет количество материи в теле. Таким образом, масса стала пониматься как количество материи. (Впоследствии, с созданием теории относительности, выяснится, что масса тела не является постоянной величиной, а зависит от скорости его движения, его энергии. Так, чем выше температура тела, тем больше его масса. Т.е. масса тела характеризует и состояние тела. Поэтому понятие количества материи из современного научного обихода исчезло как не имеющее смысла). Количество материи доступно измерению, будучи пропорциональным весу тела. Вес - это сила, с которой тело действует на опору, препятствующую его свободному падению. (Численно вес равен произведению массы тела на ускорение силы тяжести. Вследствие сжатия Земли и ее суточного вращения вес тела изменяется с широтой и на экваторе на 0,5% меньше, чем на полюсах). Поскольку масса и вес строго пропорциональны, оказалось возможным практическое измерение массы или количества материи. Понимание того, что вес является переменным воздействием на тело, побудило Ньютона установить и внутреннюю характеристику тела - инерцию, которую он рассматривал как присущую телу способность сохранять равномерное прямолинейное движение, пропорциональную массе. Массу как меру инерции можно измерять с помощью весов, как это делал Ньютон. В состоянии невесомости массу можно измерять по инерции. Измерение по инерции является общим способом измерения массы. Но инерция и вес являются различными физическими понятиями. Их пропорциональность друг другу весьма удобна в практическом отношении - для измерения массы с помощью весов. Таким образом, установление понятий силы и массы, а также способа их измерения позволило Ньютону сформулировать второй закон механики. Итак, масса есть одна из основных характеристик материи, определяющая ее инертные и гравитационные

свойства - масса как мера инертности по отношению к действующей на него силе (масса покоя) и масса как источник поля тяготения эквивалентны.

Первый и второй законы механики относятся соответственно к движению материальной точки или одного тела. При этом учитывается лишь действие других тел на данное тело. Однако всякое действие есть взаимодействие. Поскольку в механике действие характеризуется силой, то если одно тело действует на другое с определенной силой, то второе действует на первое с той же силой. Третий закон механики фиксирует это: действию всегда соответствует равное и противоположно направленное противодействие; иначе: действия двух тел друг на друга всегда равны по величине направлены в противоположные стороны. (В формулировке закона под действием и противодействием понимаются действующие на тела силы). В формулировке Ньютона третий закон механики справедлив лишь для случая непосредственного взаимодействия сил или при мгновенной передаче действия одного тела на другое. В случае передачи действия за конечный промежуток времени данный закон применяется тогда, когда временем передачи действия можно пренебречь.

Вообще законы классической механики Ньютона справедливы для случая инерциальных систем отсчета. В случае неинерциальных систем отсчета ситуация иная. При ускоренном движении неинерциальной системы координат относительно инерциальной системы первый закон Ньютона (закон инерции) в этой системе не имеет места - свободные тела в ней будут с течением времени менять свою скорость движения. В инерциальных системах отсчета второй закон Ньютона можно сохранить, но для этого надо вводить силы инерции. В классической механике эти силы имеют формальный характер, поскольку они вводятся лишь для удобства расчета движения тел в ускоренной системе отсчета. В рамках теории относительности силы инерции обладают свойствами силы тяготения - ускорение сил инерции, как и сил тяготения, не зависит от массы тел, т.е. они эквивалентны. Но поскольку силы тяготения имеют источник в виде масс, а силы инерции имеют другой характер, то в принципе можно отличить силы инерции от сил тяготения. Поэтому о действии принципа эквивалентности можно говорить лишь локально.

5.5.3. Ньютонская концепция пространства и времени

Как отмечалось выше, для построения механики необходимо было ввести понятие системы отсчета, ибо о движении можно говорить лишь тогда, когда есть система отсчета. Ньютон исходил из того, что природе присуща абсолютно неподвижная система отсчета в виде абсолютного (однородного и неподвижного) пространства, выступающего какместилище всех тел, а также абсолютное время, которое течет само по себе, безотносительно к каким-либо процессам (Ньютон назвал его длительностью). Таким образом, в концепции Ньютона пространство и время оторваны от материальных тел и реальных процессов.

Ньютоново пространство и время являются абсолютными и всеобщими - они не изменяются от того, что происходит в нем с материальными телами. Пространство Ньютон рассматривал как независимую субстанцию. В определенных условиях пространство может воздействовать на материю, но материя не может воздействовать на пространство. Любой объект имеет в пространстве определенное положение и ориентацию, расстояние между двумя событиями точно определено. События, происходящие в разных точках в одно и то же время, одновременны.

В пространстве нет каких-то меток. Положение объекта в пространстве можно определить относительно другого объекта. С какой скоростью движется объект? Что такое покой? Ведь во Вселенной движется все. Движение можно ощутить, если оно неравномерно. Движение с постоянной скоростью ощутить невозможно. Если две системы двигаются равномерно, но с разными скоростями, то никакой опыт не в состоянии показать, что одна система покоится, а другая движется. Единственное, что можно сказать о них, - это то, что они находятся относительно друг друга в состоянии равномерного движения. Т.о., все равномерные движения в механике Ньютона относительны. В противоположность этому, ускоренные движения абсолютно. Скажем, стоит поезду замедлить ход, как вещи под влиянием силы инерции сдвинутся. Равномерное движение для Ньютона является естественным состоянием тел. Ускоренное же движение вызывается какими-то причинами, которые Ньютон назвал силами. Откуда берутся силы инерции? Ньютон приписывал их пространству, в котором происходит ускорение. Т.о., Ньютон может быть назван в понимании пространства и времени субстанциалистом.

5.5.4. Закон всемирного тяготения

Считается, что стержнем динамики Ньютона является понятие силы, а основная задача динамики заключается в установлении закона из данного движения и, наоборот, в определении закона движения тел по данной силе. Из законов Кеплера Ньютон вывел существование силы, направленной к Солнцу, которая была обратно пропорциональна квадрату расстояния планет от Солнца. Это означало физическое обоснование коперниканской гелиоцентрической системы. Обобщив идеи, высказанные Кеплером, Гюйгенсом, Декартом, Борелли, Гуком, Ньютон придал им точную форму математического закона, в соответствии с которым утверждалось существование в природе силы всемирного тяготения., обуславливающей притяжение тел. Сила тяготения (притяжения) прямо пропорциональна массе тяготеющих тел и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Данный закон описывает взаимодействие любых тел - важно лишь то, чтобы расстояние между телами было достаточно велико по сравнению с их размерами (это дает возможность принимать тела за материальные точки). В ньютоновской теории тяготения принимается, что сила тяготения передается от одного тяготеющего тела к другому мгновенно, причем без посредства каких бы то ни было сред. (В рамках теории относительности для передачи силы тяготения от одного тела к другому требуется время - не большее, чем скорость света.)

Закон всемирного тяготения вызвал продолжительные и жаростные дискуссии. Это не было случайно, поскольку этот закон имел важное философское значение. Суть заключалась в том, что до Ньютона целью создания физических теорий было выявление и представление механизма физических явлений во всех его деталях. В тех случаях, когда это сделать не удавалось, выдвигался аргумент о так называемых "скрытых качествах", которые не поддаются детальной интерпретации. Бэкон и Декарт ссылки на "скрытые качества" объявили ненаучными. Декарт считал, что понять суть явления природы можно лишь в том случае, если его наглядно представить себе. Так, явления тяготения он представлял с помощью эфирных вихрей. В условиях широкого распространения подобных представлений закон всемирного тяготения Ньютона, несмотря на то, что демонстрировал соответствие произведенных на его основе астрономическим наблюдениям с небывалой ранее точностью, подвергался сомнению на том основании, что взаимное притяжение тел очень напоминало перипатетическое учение о "скрытых качествах". И хотя Ньютон отнюдь не постулировал наличие тяготения, а установил факт его существования на основе математического анализа и экспериментальных данных, математический анализ еще не вошел прочно в сознание исследователей в качестве достаточно надежного метода. Бернулли даже обвинял Ньютона в восстановлении перипатетизма. Ньютон не рассматривал вопросы о причинах тяготения. Но стремление ограничивать физическое исследование фактами, не претендующими на абсолютную истину, позволило Ньютону завершить формирование физики как самостоятельной науки и отделить ее от натурфилософии с ее претензиями на абсолютное знание.

Ньютон соединил в себе два противоречивых принципа - Бэкона и Декарта. Он исходил из опыта ("гипотез я не измышляю"), с одной стороны. С другой - он был приверженцем строгого математического доказательства. Ньютон не претендовал на объяснение глубочайших причин - он стремился к установлению принципа: закон природы не является объяснением, исходящим из первоначально установленных причин. Закон - лишь краткая формулировка широкой области явлений, выведенная при помощи логического заключения и математического расчета. В законе всемирного тяготения наука получила образец закона природы как абсолютно точного, повсюду применимого правила, без исключений, с точно определенными следствиями. Этот закон был включен Кантом в его философию, где природа представлялась царством необходимости в противоположность морали - царству свободы.

Физическая концепция Ньютона была своеобразным венцом физики XVII века. Статический подход к Вселенной был заменен динамическим. Экспериментально-математический метод исследования, позволив решить многие проблемы физики XVII века, оказался пригодным для решения физических проблем еще в течение двух веков. Концепция Ньютона, хотя и содержала бога нам обеспечившего первотолчок, способствовала возрастанию скептического отношения к авторитету и вере, чем ослабляла престиж религии.

5.6. Формирование механической картины мира

Результатом развития классической механики явилось создание единой механической картины мира, в рамках которой все качественное многообразие мира объяснялось различиями в движении тел, подчиняющемся законам ньютоновской механики. Согласно механической картине мира, если физическое явление мира можно было объяснить на основе законов механики, то такое объяснение признавалось научным. Механика Ньютона, таким образом, стала основой механической картины мира, господствовавшей вплоть до научной революции на рубеже XIX и XX столетий.

Механика Ньютона, в отличие от предшествующих механических концепций, давала возможность решать задачу о любой стадии движения (как предшествующей, так и последующей) и в любой точке пространства при известных фактах, обуславливающих это движение, а также обратную задачу определения величины и направления действия этих факторов в любой точке при известных основных элементах движения. Благодаря этому механика Ньютона могла использоваться в качестве метода количественного анализа механического движения. Любые физические явления могли изучаться как движение в чисто феноменологическом плане, независимо от вызывающих их факторов. Законы ньютоновской механики связывали силу не с движением, а с изменением движения. Это позволило отказаться от традиционных представлений о том, что для поддержания движения нужна сила, и отнести трению, которое делало силу необходимой в действующих механизмах для поддержания движения, второстепенную роль. Установив динамический взгляд на мир вместо традиционного статического, Ньютон свою динамику сделал основой теоретической физики. Хотя Ньютон проявлял осторожность в механических истолкованиях природных явлений, тем не менее он считал желательным выведение из начал механики остальных явлений природы. Феноменологический метод стал рассматриваться в качестве универсального способа построения физических теорий. Дальнейшее развитие физики стало осуществляться в направлении дальнейшей разработки аппарата механики применительно к решению конкретных задач, по мере решения которых механическая картина мира укреплялась.

5.7. Корпускулярная и волновая концепции света

Во второй половине XVII века были заложены основы физической оптики. Ф. Гримальди открывает явление дифракции света (огибание светом препятствий т.е. отклонение его от прямолинейного распространения) и высказывает предположение о волновой природе света. В опубликованном в 1690 г. "Трактате о свете" Х.Гюйгенсом был сформирован принцип, согласно которому каждая точка пространства, которой достигла в данный момент распространяющаяся волна, становится источником элементарных сферических волн, и на его основе вывел законы отражения и преломления света. Гюйгенсом было установлено явление поляризации света - явление, происходящее с лучом света при его отражении, преломлении (особенно при двойном преломлении) и заключающееся в том, что колебательное движение во всех точках луча происходит лишь в одной плоскости, проходящей через направление луча, тогда как в неполяризованном луче колебания происходят по всем направлениям, перпендикулярно к лучу. Гюйгенс, разработав идею Гримальди о том, что свет распространяется не только прямолинейно с преломлением и отражением, а и с разбиением (дифракция), дал объяснение всем известным оптическим явлениям. Он утверждает, что световые волны распространяются в эфире, представляющем собой пронизывающую все тела тонкую материю.

Но что есть волна? Волна обязательно движется в каком то носителе, в котором и происходят периодические колебания. Но при распространении волны, например, на поверхности воды, не происходит перемещения воды в направлении распространения волны - при этом поверхность воды движется лишь вверх и вниз. Но волна при своем перемещении передает действие от одной точки к другой. Аналогичным образом обстоит дело с распространением звуковой волны, но в этом случае волны распространяются в пространстве по всем направлениям. О световых колебаниях можно судить по косвенным эффектам. Явление интерференции дает и свидетельство о волновой природе света. Примером интерференционного эффекта является появление окрашенных полос или колец, которые являются при растекании тонкого слоя нефти на поверхности воды. Свет в этом

случае сначала отражается от верхней поверхности пленки, а затем от нижней. Поэтому колебания в световом луче, которые отражаются от нижней поверхности пленки, отстают от колебаний в луче, отраженном от ее поверхности, причем это отставание равно расстоянию, равному удвоенной толщине пленки. Оба отраженных луча в этом случае интерферируют так, что если толщина пленки равна четверти длины волны, то второй луч отстает от первого на половину волны. Наложение гребня волны, отраженной от другой поверхности, дает темноту. Белый свет в результате интерференции после отражения становится окрашенным.

Ньютон сначала в своих докладах в Лондонском Королевском обществе и затем в "Оптике" (опубликованной в 1706 г.) изложил свою концепцию света. Следуя своему феноменологическому методу, Ньютон экспериментально исследовал явление дисперсии (разложение белого света при помощи призмы в спектр), заложил основы оптической спектроскопии: он установил, что каждому цвету соответствует определенная длина световой волны и определил их. Ньютон показал, что цвета создаются не призмой, а являются компонентами белого света. Он видел слабость волновой концепции в том, что она оказалась не в состоянии объяснить явление дифракции света - огибание светом препятствий (это удастся сделать с позиции волновой концепции более столетия позже Френелю). Ньютон же явление дифракции объяснял на основе полярности, присущей световому лучу. Другим недостатком волновой концепции было ее требование допустить существование эфира-среды, в которой распространяется свет. Тот факт, что движение планет и комет в небесном пространстве не встречает заметного сопротивления, которое обязательно отразилось бы на правильности движения, позволил Ньютону существование такой среды подвергнуть сомнению. А если отбросить возможность существования такой среды, то гипотеза о распространении света через нее утрачивает смысл. (Критикуя волновую концепцию света, представляющую свет в виде распространяющихся в эфире механических волн, Ньютон не мог еще предположить, что световые волны могут иметь не механическую природу.)

Устранение трудностей, стоящих перед волновой концепцией света, Ньютон видел на пути рассмотрения света как состоящего из корпускул - своеобразных "малых тел" (атомов), которые могут взаимодействовать с частицами вещества. Такие тела, по его мнению, проходят через однородные среды "без загибания". Важно отметить, что, сравнивая волновую и корпускулярную концепцию света, Ньютон не высказывается безоговорочно в пользу одной из них. Его высказывания многими исследователями его творчества трактуются как своеобразный синтез волновой и корпускулярных концепций (предвосхитивший гипотезу де Бройля, высказанную в 1924 г.). Открытие явления поляризации света убеждало Ньютона в справедливости корпускулярной концепции света. Исследование же интерференции приводило его к выводу о наличии своеобразной периодичности в свойствах света. Последователи Ньютона представили Ньютона как безоговорочного сторонника корпускулярной концепции света. Авторитет имени Ньютона, таким образом, в данном случае сыграл негативную роль - задержал развитие волновой теории света.

5.8. Принципы минимального времени П.Ферма и наименьшего действия П.Мопертюи

Зачатки идеи физической эквивалентности волн и частиц были видны уже в формулировке принципа минимального времени П.Ферма и принципа наименьшего действия П.Мопертюи. Принцип Ферма, сформулированный в 1660 г., устанавливал, что действительный путь распространения света из одной точки в другую есть тот путь, для прохождения которого свету требуется минимальное (или максимальное) время по сравнению с любым другим геометрически возможным путем между теми же точками. Принцип наименьшего действия Мопертюи (сформулированный в 1740 г.) устанавливал, что для определенного класса сравниваемых друг с другом движений механической системы осуществляется то, для которого действие минимально. Как оказалось, какова бы ни была среда, корпускулы и волны следовали по минимальным траекториям - волна двигалась так, чтобы сделать минимальным время прохождения лучей, т.е. свет "выбирает" путь, для которого количество действия является наименьшим (в соответствии с принципом Ферма), а движение частиц было таким, чтобы функция действия была минимальна, (в соответствии с принципом Мопертюи). Однако реализация идеи соответствия между корпускулами

и волнами была осуществлена Л. де Бройлем, Э.Шредингером, В.Гейзенбергом и П.Дираком лишь в 20-х гг. XX века. Так или иначе в механику вошли важные принципы, реализовавшие идею о том, что природа действует наиболее легкими и доступными путями. Развитие этих принципов Л.Эйлером, И.Бернулли, Ж.Даламбером, позволило создать вариационное исчисление, позволяющее находить наибольшие и наименьшие значения переменных величин (функционалов), зависящих от выбора одной или нескольких функций, и построить законченную систему аналитической механики.

5.9. Особенности физических концепций XVIII века

Развитие буржуазных отношений способствовало бурному росту промышленности и торговли, мануфактурное производство все больше сменялось фабричным. Развитие машинной индустрии, начавшееся с текстильной промышленности, распространилось на другие отрасли производства. Запросы производства оказывали стимулирующее влияние на развитие науки, особенно механики и математики. И хотя разрыв между уровнем развития науки и техники уменьшался по сравнению с предшествующим временем, техника в целом опережала в своем развитии науку. Так, например, появлению паровоза не предшествовали соответствующие теплотехнические исследования, практическая металлургия не имела в своей основе научных данных о процессах восстановления металлов, машиностроение осуществлялось без научных знаний о природе упругости твердых тел, их прочности и т.д. Постепенно роль научного знания в развитии техники и производства начинает осознаваться, растет интерес к научному знанию. XVII век входит в историю как век Просвещения. Появляются новые академии наук: Петербургская (1726 г.), Шведская (1729 г.) и т.д., а также новые периодические научные издания. Увеличивается число ученых. Роль науки в жизни общества осознается все больше и больше.

Развитие физики этого периода характеризуется возрастанием систематических исследований. Увеличившееся количество публикаций и переписка ученых способствует установлению связей между учеными. Картезианское направление все больше уступает место ньютоновской механике. Появляется первый систематический курс физики П. ван Бушенбрука (1739 г.). После построения Ньютоном основ механики необходимо было привести ее в стойкую систему и разработать методы вычисления конкретных задач статики и динамики. Это и предопределило, с одной стороны, разработку и использование математических концепций (вычислительной механики) и, с другой стороны, разработку технической механики. Большой вклад в развитие вычислительной механики вносят Эйлер, Даламбер, Лагранж. Д.Бернулли, Эйлер, Даламбер закладывают основы гидродинамики (физической механики) жидкостей. Ш.Дюфе открывает существование двух родов электричества и устанавливает, что одноименно заряженные тела отталкиваются, а разноименно заряженные - притягиваются. Б.Франклин устанавливает закон сохранения электрического заряда, а Ш.Кулон и Г.Кавендиш открывают основной закон электростатики, определяющий силу взаимодействия неподвижных электрических зарядов - закон Кулона. Б.Франклин, М.В.Ломоносов, Г.Рихман доказывают электрическую природу шаровой молнии. Л.Гальвани устанавливает факт "животного электричества" и возникновение разности потенциалов при контакте металла с электролитом, чем положил начало источникам постоянного электрического тока и электрофизиологии. А.Вольта создает первый химический источник электрического тока (вольтов столб). П.Бугер и И.Ламберт создают фотометрию. В.Гершель открывает инфракрасные лучи, а И.Риттер и Волластон - ультрафиолетовые.

5.10. Теория теплорода и механическая концепция теплоты

Практические потребности актуализировали исследования в области тепловых явлений. Машиностроение и химическая промышленность нуждались в методах точного измерения тепловых величин, прежде всего измерения температуры. Потребности метеорологии, химии, медицины также требовали совершенствования измерения температуры. Развитие термохимии (Фарангейт, Делиль, Ломоносов, Реомюр, Цельсий) основывалось на использовании теплового

расширения тел. Совершенствование паровой машины Ньюкомена, использовавшейся более полувека без изменений, требовало создания количественной теории тепловых явлений.

Дж.Блэк, изучая природу теплоты, установил, что различные виды вещества нагреваются в разной степени одним и тем же количеством теплоты, что позволило ему выявить теплоемкость различных видов вещества, т.е. количество теплоты, которое необходимо подвести к телу, чтобы повысить его температуру на один градус по Цельсию или Кельвину. Он установил, что при таянии льда и снега в течение определенного времени они поглощают тепло, не становясь при этом теплее. Это позволило ему обнаружить скрытое (латентное) состояние теплоты.

Блэк понимал теплоту как некую материальную субстанцию ("субстанцию теплоты"). А. Лавуазье называл ее теплородом. Попытки взвесить ее оказались неудачными, поэтому теплоту стали рассматривать как особого рода невесомую неуничтожаемую жидкость, способную перетекать от нагретых тел к холодным. Лавуазье считал, что подобная концепция была в полном соответствии с его идеей получения теплоты с помощью химических соединений. Увлечение этой концепцией оказалось столь велико, что кинетическая теория теплоты, в рамках которой теплота представлялась как определенный вид движения частиц, отступила на второй план, несмотря на то, что ее разделяли Ньютон, Гук, Бойль, Бернулли, Ломоносов.

Почему же концепция теплорода все-таки утвердилась, хотя и на время? П.С.Кудрявцев дает следующее объяснение. Для физического мышления XVIII века было характерно оперирование различными субстанциями - электрическими, магнитными, световыми, тепловыми. Свет, электричество, магнетизм, теплоту научились измерять. Это позволило уподобить невесомые феномены обычным массам и жидкостям, что способствовало развитию эксперимента и накоплению необходимых фактов. Иначе говоря, концепция невесомых жидкостей оказалась необходимым этапом в развитии физических концепций.⁹

5.11. Концепция единого универсального взаимодействия частиц вещества Р.Бошковича

Развитие учения о теплоте привело к постановке как сторонниками теплородной, так и кинетической концепции теплоты вопросов о строении вещества, о причинах таких свойств тел, как прочность, упругость, сопротивляемость и т.д. вне зависимости от интенсивности теплового движения. Учения Декарта, Галилея, Ньютона не давали ответов на эти вопросы. Бернулли такое свойство как упругость приписывал атомам. Лейбниц утверждал, что представление о существовании неделимых атомов неверно, поэтому связывание физических свойств тел с величиной атомов бессмысленно. Р.Бошкович сформулировал идею об едином универсальном законе взаимодействия частиц вещества, на основе которого он пытался дать объяснение физическим свойствам вещества. Концепция Бошковича родственна представлениям Лейбница о существовании непротяженных первых простых элементов и ньютоновским представлениям об изменяющихся с расстоянием силах. Бошкович исходил из признания существования закона взаимодействия, действующего между любой парой точечных частиц - первых элементов материи, неделимых и непротяженных. На минимальных расстояниях между частицами действует сила отталкивания, неограниченно возрастающая при их сближении. С увеличением расстояния между частицами данная сила отталкивания убывает, постепенно переходя в силу притяжения, которая с дальнейшим увеличением расстояния уменьшается и постепенно превращается в силу отталкивания. Т.е. сила взаимодействия многократно меняет знак на сравнительно небольших расстояниях. При достижении определенного расстояния между двумя частицами сила взаимодействия становится притягательной, убывающей, в соответствии с законом тяготения, обратно пропорционально квадрату расстояния. Рациональный смысл концепции Бошковича заключался в осознании того, что в природе нет абсолютно жестких неизменяемых тел, что любое тело является системой, состоящей из находящихся в подвижном равновесии частиц. Концепция

⁹ Кудрявцев П.С. Курс истории физики. М., 1982 С.144.

Бошковича представляла собой физическую гипотезу, на основе которой делалась попытка объяснить физические свойства вещества. Поэтому, в отличие от ньютонианцев, стремившихся свести задачи движения и взаимодействия тел к математической форме, Бошкович стремился механические задачи свести к физике сил взаимодействия. Поскольку в это время не было достаточных данных ни о строении вещества, ни о силах, действующих между частицами, концепция Бошковича по отношению к магистральной линии развития физики этого времени оказалась маргинальной.

6. ОСНОВНЫЕ КОНЦЕПЦИИ КЛАССИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ XIX ВЕКА

6.1. Становление классического естествознания

Социально-экономические и политические условия развития науки в XIX веке в разных странах не были одинаковыми. И хотя эти условия не всегда благоприятствовали развитию науки, для XIX века в целом характерен бурный рост научных исследований и авторитет науки. Во Франции под влиянием технической революции развиваются преимущественно физико-математические и естественные науки, руководящим центром которых выступал Национальный институт. В силу технико-экономической отсталости Германии в ней не было столь же благоприятных, как во Франции, условий развития физико-математических и естественных наук - предпочтение отдавалось философии, богословию и классической филологии. Наличие большого количества университетов, территориальная близость различных факультетов друг к другу способствовали активному взаимовлиянию наук. Децентрализация университетской науки способствовала появлению большого числа научных изданий. Успехи в области техники обусловили возрастание практицизма, что привело к принижению роли теоретических исследований и усилению роли прикладных. Особенностью науки в Англии было отсутствие таких центров, как Национальный институт во Франции и широкой сети университетов, как в Германии. Поэтому научные исследования чаще велись в одиночку, в изолированных друг от друга областях науки. Но это были блестящие исследования, результаты которых из-за отсутствия необходимых научно-исследовательских и учебных организаций нередко разрабатывались учеными других стран. Известный историк науки Дж. Мерц, характеризуя специфику развития науки этого периода, отмечал, что наибольшее число совершенных по форме и содержанию трудов, ставших классическими для всех времен, выполнено, вероятно, во Франции; наибольшее количество научных работ было, вероятно, выполнено в Германии; наибольшая доля идей, которые оплодотворяли науку на протяжении века, принадлежит, вероятно, Англии.¹⁰ Общей для всех стран характерной чертой развития науки в XIX веке можно считать усиление ее взаимодействия с техникой и экономикой.

Физика XIX века считается классической. Ньютоновский феноменологический метод стал главным инструментом познания природы. Законы классической механики и методы математического анализа демонстрировали свою эффективность. Физический эксперимент, опираясь на измерительную технику, обеспечивал небывалую ранее точность. Физическое знание все в большей мере становилось основой промышленной технологии и техники, стимулировало развитие других естественных наук. В физике изолированные ранее свет, электричество, магнетизм и теплота оказались объединенными в электромагнитную теорию. И хотя природа тяготения оставалась не выясненной, его действия можно было рассчитать. Утвердилась концепция механистического детерминизма Лапласа, исходившая из возможности однозначно определить поведение системы в любой момент времени, если известны исходные условия. Структура механики как науки казалась прочной, надежной и почти полностью завершенной - т.е. не укладывающиеся в существующие классические каноны феномены, с которыми приходилось сталкиваться, казались вполне объяснимыми в будущем более изощренными умами с позиций классической механики. Складывалось впечатление, что знание физики близко к своему полному завершению - столь мощную силу демонстрировал фундамент классической физики, несмотря на то, что в ее отдельных областях гнездились остатки старых метафизических концепций. Но постепенно последние сдают свои позиции: сходят с арены теория флюидов, теория теплорода и т.д. Проникновение физических знаний в промышленность, технику приводит к появлению прикладной физики, а исследования в ее области значительно расширяли фактический материал, требовавший теоретической интерпретации. В конце концов неспособность классической теории объяснить новые факты приводит на рубеже XIX и XX веков к научной революции в физике.

¹⁰ Цит. по: Дорфман Я.Г. Всемирная история физики с начала XIX до середины XX вв. М., 1979. С.8.

6.2. Волновая концепция света О.Френеля

Сформировавшиеся в предшествующее столетие корпускулярная и волновая концепция света в XIX веке продолжили ожесточенную борьбу. Первая опиралась на авторитет Ньютона, вторая - на авторитет Гука, Гюйгенса, Эйлера, Ломоносова. Сторонники корпускулярной концепции надеялись объяснить с ее позиций затруднения с объяснением явлений дифракции и интерференции. Т.Юнг дал это объяснение с позиций волновой концепции. Исходя из высказанных им гипотез о существовании разреженного и упругого светонесущего эфира, заполняющего Вселенную, о возбуждении волнообразных движений в эфире при свечении тела, о зависимости ощущения различных цветов от различной частоты колебаний, возбуждаемых светом на сетчатке глаза, о притягивании всеми материальными телами эфирной среды, вследствие чего последняя накапливается в веществе этих тел и на малом расстоянии вокруг них в состоянии большей плотности (но не большей упругости), Юнг делает вывод о том, что излучаемый свет состоит из волнообразных движений светонесущего эфира. Это дало возможность все разнообразие цветов свести к колебательным движениям эфира, а различие цветов объяснить различием частот колебаний эфира, а также сформулировать принцип интерференции.

Прямолинейное распространение света было наиболее важным аргументом в пользу корпускулярной теории. О.Френель делает новый существенный шаг в развитии волновой теории. (Идея интерференции вообще оказалась столь плодотворной, что при встрече с неизвестным видом излучения всегда стараются получить интерференцию. И если это удастся, то тем самым доказывается его волновой характер.)¹¹

Связав принцип Гюйгенса, (согласно которому молекулы тела, приведенные в колебание падающим светом становятся центрами испускания новых волн) с принципом интерференции, (согласно которому налагающиеся волны, в противоположность корпускулярным лучам, не обязательно усиливаются, а могут и ослабляться до полного уничтожения), Френель дал объяснение прямолинейному распространению света, показав, что лучи, поляризованные перпендикулярно друг к другу, не интерферируются. В опытах по дифракции света он установил, что дифракционные полосы появляются вследствие интерференции лучей. Принцип интерференции позволил Френелю законы отражения и преломления объяснить взаимным погашением световых колебаний во всех направлениях, за исключением тех, которые удовлетворяют закону отражения. Френелю удалось экспериментально доказать, что световые лучи могут воздействовать друг на друга, ослабляться и даже почти полностью погашаться в случаях согласных колебаний, что и позволило ему дать объяснение явлению дифракции. Френель доказал, что свет является поперечным волновым движением. Он объяснил явление поляризации света в экспериментальных исследованиях отражения и преломления света от поверхности прозрачных веществ. Им было установлено, что отражение плоско-поляризованного света от поверхности прозрачного тела сопровождается поворотом плоскости поляризации в тех случаях, когда эта плоскость не совпадает с плоскостью падения или не перпендикулярна к ней. Развивая идеи Гюйгенса о распространении волн в кристаллах. Френель заложил основы кристаллооптики.

Таким образом, борьба волновой и корпускулярной концепции света в первой половине XIX века завершается победой волновой концепции - было установлено, что свет является поперечным волновым движением. Решающим вкладом в эту победу и явилось объяснение с помощью волновой концепции явлений дифракции и интерференции света.

6.3. Концепции классической электродинамики

Классическая электродинамика, представляющая собой теорию электромагнитных процессов в различных средах и вакууме, охватывает огромную совокупность явлений, в которых главная роль принадлежит взаимодействиям между заряженными частицами, которые осуществляются

¹¹ Лауэ М. История Физики. М., 1956. С. 46.

посредством электромагнитного поля. Разделом электродинамики, изучающим взаимодействия и электрические поля покоящихся электрических зарядов, является электростатика.

Успехи в области электростатики, выразившиеся в установлении количественного закона электрических взаимодействий, способствовали не только накоплению экспериментальных данных в области электростатических явлений и совершенствованию электростатических машин, но и созданию математической теории электро- и магнитостатических взаимодействий. Открытие Л.Гальвани "животного электричества", создание А.Вольта первого генератора электрического тока ("вольтова столба"), осуществление первого описания замкнутой цепи электрического тока, открытие В.В.Петровым электрической дуги, открытие Г.Дэви и М.Фарадея химического действия электрического тока, теоретические работы по электро- и магнитостатике С.Пуассона и Д.Грина были завершающими успехами в области концепции электрической жидкости, считавшейся в начале XIX века основой электростатики, подобно тому, как концепция магнитной жидкости считалась основой магнитостатики. В дальнейшем главным направлением в данной области становится электромагнетизм.

В 1820 г. Х.Эрстедом было открыто магнитное действие электрического тока - вокруг проволоки с электрическим током было обнаружено магнитное поле. Таким образом, была доказана связь электричества и магнетизма. А.Ампер, основываясь на единстве электрических и магнитных явлений, разработал первую теорию магнетизма, заложив тем самым основы электродинамики. Он различал понятия электрического тока и электрического напряжения. Основными понятиями его концепции были "электрический ток", "электрическая цепь". Под электрическим током Ампер понимал непрерывно чередующиеся внутри проводника процессы соединения и разделения противоположно заряженных частиц электричества. (Наименование единицы силы тока носит имя Ампера.) Им обосновано направление движения тока - направление положительного заряда электричества, а также установлен закон механического взаимодействия двух токов, текущих в малых отрезках проводников, находящихся на некотором расстоянии друг от друга. Из данного закона следовало, что параллельные проводники с токами, текущими в одном направлении, притягиваются, а в противоположных направлениях - отталкиваются. Из представления о магните как совокупности электрических токов, расположенных в плоскостях, перпендикулярных линии, соединяющей полюсы магнита, вытекал естественный вывод о том, что соленоид эквивалентен магниту. Революционный смысл этого вывода был очевиден: для объяснения явления магнетизма больше не требовалось наличия "магнитной жидкости" - все явление магнетизма оказалось возможным свести к электродинамическим взаимодействиям.

Следующим шагом в развитии электродинамики было открытие М.Фарадеем явления электромагнитной индукции - возбуждения переменным магнитным полем электродвижущей силы в проводниках, - ставшей основой электротехники. Важным результатом его исследований явилось также обоснование того, что отдельные виды электричества тождественны по своей природе, независимо от их источника. Открытие закона электролиза (химическое действие электрического тока прямо пропорционально количеству проходящего электричества), открытие вращения плоскости поляризации света в магнитном поле. Пытаясь объяснить явление электромагнитной индукции на основе концепции дальнего действия, но встретившись с затруднениями, он высказал предположение об осуществлении электромагнитных взаимодействий по средством электромагнитного поля, т.е. на основе концепции ближнего действия. Это положило начало формированию концепции электромагнитного поля, оформленную Д.Максвеллом.

6.4. Электромагнитное поле Максвелла и эфир

Теория Ньютона успешно объяснила движение планет вокруг Солнца под влиянием силы притяжения, но не смогла верно объяснить движение электрически заряженных частиц, которые взаимодействуют друг с другом через пустое пространство под влиянием электрических и магнитных сил - модель атома напоминает модель Солнечной системы (в центре атома находится положительно заряженное ядро, вокруг которого вращаются электроны). Вместе с тем между гравитационными и электромагнитными силами есть различия: электрический заряд имеет лишь некоторые частицы, а гравитацией обладают все формы вещества и энергии; электрические силы

бывают положительными и отрицательными (причем частицы с разным зарядом притягиваются, а с одинаковым - отталкиваются), а тяготеющие объекты только притягиваются; при малых масштабах (например, в атоме) резко преобладают электромагнитные силы, а при больших масштабах (например, при масштабах Земли) - гравитационные. Д.К.Максвелл вывел систему уравнений, описывающих взаимосвязь движения заряженных частиц и поведение электромагнитных сил. Центральным понятием теории Максвелла было понятие поля, которое избавило от затруднений, связанных с ньютоновским действием на расстоянии. В XIX в. поле описывалось по аналогии с движущейся жидкостью, поэтому оно характеризовалось с помощью таких терминов, как "магнитный поток", "силовые линии" и т.п. Описание же поля как жидкости предполагает среду, передающую действие от одного заряда к другому. Такую гипотетическую жидкость называли эфиром. Полагали, что эфир заполняет все пустое пространство, оставаясь невидимым. Электромагнитные поля представлялись в виде натяжений в эфире. Заряженные частицы порождали в эфире волны натяжений, скорость распространения которых, как и показали расчеты, оказалась около 300000 км/с. Свет стал рассматриваться в виде электромагнитных волн, которые вызывались движениями заряженных частиц и которые распространялись в пространстве как колебания эфира. С открытием электромагнитных волн (радиоволны, сверхвысокочастотные, тепловые (инфракрасные), ультрафиолетовые, рентгеновские волны, гамма-излучения) появилась возможность проверки ньютоновской теории пространства и времени.

Если Фарадей осуществил новый подход к изучению электрических и магнитных явлений, создав концепцию поля, которое описывалось с помощью силовых линий, то Максвелл, введя точное понятие электромагнитного поля, сформулировал его законы.

Из концепции Френеля о поперечных световых волн неизбежно вытекали вопросы о том, в какой же среде распространяются волны, почему нет продольных световых волн, как действует эфир на движущиеся в нем тела и т.д. Было высказано множество самых разнообразных гипотез относительно поперечности световых волн (например, гипотеза абсолютно несжимаемого эфира, гипотеза неподвижного эфира, гипотеза эфира, частично увлекаемого за собой движущимися в нем телами и т.д.). Т.е. существование самого эфира сомнению не подвергалось, ибо распространение волн требовало соответствующей среды.

Максвелл создает электромагнитную теорию света, установив уравнения, объяснявшие все известные к тому времени факты с единой точки зрения. В них устанавливалась связь между изменениями магнитного поля и возникновением электродвижущей силы. Свою главную задачу Максвелл усматривал в том, чтобы привести электрические явления к области динамики. Он исходил из того, что электрический ток нельзя рассматривать иначе как действия не расположения, а распространения протекающие во времени. Причина электрических токов была им названа электродвижущей силой.

Состояние электромагнитного поля в теории Максвелла задается напряженностью электрического поля и магнитной индукцией. Исследовав связи между электрическими и магнитными полями, Максвелл из того, что изменяющееся электрическое поле создает магнитное поле, которое само создает электрическое поле, и количественного анализа этих соотношений пришел к выводу о распространении данного процесса в пространстве. Иными словами, переменное электрическое поле в одной точке создает магнитное поле по соседству с ней, которое в свою очередь вызывает электрическое поле чуть дальше. Поскольку этот процесс происходит снова и снова, возникает колеблющееся электромагнитное поле, непрерывно расширяющееся в пространстве. При этом электрическое или магнитное поле распространяется независимо от способов их возникновения (будь то колебания зарядов или появление магнитов). Вычисления скорости распространения поля, выполненные по данным о наблюдаемом токе, индуцированным движущимися магнитами, или по данным о создаваемом токами магнитном поле, выявили, что она равна скорости света. И хотя Максвелл в своих вычислениях использовал измерения электрических токов и магнитных полей, т.е. явлений, казалось бы, не имеющих со светом ничего общего. Он из этих измерений сделал вывод о том, что колеблющееся электрическое поле распространяется в виде волн со скоростью света. Этим была установлена связь между оптикой и электричеством - областями, которые ранее представлялись не связанными друг с другом. Оптика стала разделом электродинамики.

Таким образом, свет оказался не чем иным, как распространением электромагнитных волн. Экспериментальное их обнаружение Г.Герцем в 1880 г. означало победу электромагнитной концепции, хотя она в сознании ученых утвердилась не сразу (концепции Ньютона понадобилось для своего утверждения половина века, концепции Максвелла понадобилась для этого четверть века). Герц установил, что электромагнитные волны имеют свойство, аналогичные световым: преломление, отражение, интерференцию, дифракцию, поляризацию, ту же скорость распространения. (Оценивая результаты своих экспериментов, Герц прекрасно понимал, что они рушат всякую теорию, считающую, что электрические силы распространяются в пространстве мгновенно.)

Концепция Максвелла явилась новым шагом в понимании природы электрических и магнитных явлений, обусловившим возможность появления радио, радиолокации, телевидения и т.д. Она дала ответ на вопрос о природе световых волн: световая волна есть волна электромагнитного поля, распространяющаяся в пространстве. Открытие Максвелла принято сравнивать по степени важности с открытием Ньютоном закона всемирного тяготения. Если Ньютон ввел понятие всеобщего поля тяготения, то Максвелл ввел понятие электромагнитного поля и установил законы его распространения.

Развитием концепции Максвелла было измерение П.Н. Лебедевым давления света, предсказанного Максвеллом, а также использование электромагнитных волн для беспроводной связи А.С.Поповым и Г.Маркони.

6.5. Молекулярно-кинетическая концепция тепловых процессов

Как отмечалось ранее, глубокое изучение тепловых процессов предполагает учет молекулярного строения вещества. Решение такой задачи оказалось сопряженным с использованием статистических методов. Включение тепловых процессов в рамки механической картины мира привело к открытию статистических законов, в которых связи между физическими величинами носят вероятностный характер. В классической статистической механике, в отличие от динамической, задаются не координаты и импульсы частиц системы, а функция распределения частиц по координатам и импульсам, имеющая смысл плотности вероятности обнаружения наблюдаемых значений координат и импульсов.

Господство концепции теплорода и отсутствие необходимых экспериментальных фактов в первой половине XIX века задержали развитие молекулярно-кинетической теории вещества. Открытие закона сохранения энергии продемонстрировало связь теплоты с движением невидимых частиц вещества, дав толчок исследованиям, начатым Р.Бойлем, М.В.Ломоносовым, Д.Бернулли и др. М.В.Ломоносов впервые высказал идею о тепловом вращательном движении атомов. К этой идее пришел и Г.Дэви. Д.Дальтон установил, что атомы одного и того же химического элемента обладают идентичными свойствами и, введя понятие атомного веса химического элемента, дал ему определение как отношения массы одного атома этого элемента к массе одного атома водорода. А.Авогадро установил, что идеальные газы (газы с пренебрежительно малыми силами взаимодействия между его частицами) при одинаковых температуре и давлении содержат в единице объема одинаковые количества молекул.

К середине XIX века эквивалентность теплоты и энергии признало большинство ученых, теплоту стали рассматривать как молекулярное движение. Опыты Ж.Л.Гей-Люссака и Д.Джоуля подтвердили независимость внутренней энергии идеальных газов от их объемов, что было свидетельством ничтожности действующих между их молекулами сил. Р.Клаузиус к поступательному движению молекул добавляет вращательное и внутримолекулярное колебательное движение и дает объяснение закону Авогадро как следствию того, что молекулы любых газов обладают одинаковой "живой силой" поступательного движения. Для данного этапа развития молекулярно-кинетической теории газов важным было вычисление средних значений различных физических величин, таких как скорость движения молекул, число их столкновений в секунду, длина свободного пробега и т.д., определение зависимости давления газа от числа молекул в единице объема и средней кинетической энергии поступательного движения молекул - все это дало

возможность выявить физический смысл температуры как меры средней кинетической энергии молекул.

Следующий этап в развитии молекулярно-кинетической теории газов начался с работ Д.Максвелла. Благодаря введению понятия вероятности был установлен закон распределения молекул по скоростям (всякая система, вначале содержащая быстрые (горячие) и медленные (холодные) молекулы, должна прийти в такое состояние, при котором большинство молекул движется со средними скоростями, становясь чуть теплыми), что и привело к созданию статистической механики. В работах Л.Больцмана, построившего кинетическую теорию газов, было дано статистическое обоснование второго начала термодинамики - необратимость процессов была связана со стремлением систем к наиболее вероятному состоянию. Выявление статистического смысла второго начала термодинамики имело важное значение - оказалось, что второе начало термодинамики в отличие от первого имеет границы своей применимости: оно не применимо к движению отдельной молекулы. Необратимость движения обнаруживается в поведении лишь огромного числа молекул.

Классическая статистическая механика завершается работами Д.Гиббса, создавшего метод расчета функций распределения не только для газа, но вообще для любых систем в состоянии термодинамического равновесия. Всеобщее же признание статистической механики наступит уже в XX веке, когда, на основе молекулярно-кинетической теории будет построена количественная теория броуновского движения (на основе исследования последнего Ж.Перрен доказал реальность существования молекул).

Таким образом, молекулярно-кинетическая концепция газа является совокупностью огромного числа молекул, движущихся во всех направлениях, соударяющихся друг с другом и после каждого столкновения изменяющих направление своего движения. В таком газе существует средняя скорость движения молекул, а поэтому должна существовать и средняя кинетическая энергия молекулы. Если это так, то теплота есть кинетическая энергия молекулярного движения и любой определенной температуре соответствует определенная кинетическая энергия молекулы. Молекулярно-кинетическая теория вещества и качественно и количественно объясняет законы газов и других веществ, установленные экспериментально. Броуновское движение, обнаруженное Р.Броуном, продемонстрировало движение частиц в жидкостях. Наблюдая через микроскопы за движением органических и неорганических веществ в воде, Броун установил, что их движение вызывается потоками в жидкости и не ее постоянным испарением, а принадлежит самим частицам. Это наблюдение выглядит противоречащим всему предыдущему опыту. Молекулярно-кинетическая теория позволила объяснить возникшую трудность.

Суть дела заключается в следующем. Частицы, движущиеся в воде и наблюдаемые в микроскоп, бомбардируются меньшими частицами, из которых состоит вода. броуновское движение возникает вследствие того, что данная бомбардировка в силу своей хаотичности и неодинаковости с разных сторон, не может быть уравновешена. Важно, таким образом, то, что наблюдаемое в микроскоп движение является результатом движения, которое в данный микроскоп ненаблюдаемо: хаотичный характер поведения больших частиц отражает хаотичность поведения молекул, из которых состоит вещество. Отсюда ясно, что количественное изучение броуновского движения позволяет глубже проникнуть в кинетическую теорию вещества. Поскольку бомбардирующие молекулы имеют определенные массы и скорости, то изучение броуновского движения позволяет определить массу молекулы.

6.6. Концепции классической термодинамики

6.6.1. Возникновение термодинамики

Тепловые явления отличаются от механических и электромагнитных тем, что законы тепловых явлений необратимы (т.е. тепловые процессы самопроизвольно идут лишь в одном направлении) и что тепловые процессы осуществляются лишь в макроскопических масштабах, а поэтому используемые для описания тепловых процессов понятия и величины (температура, количество теплоты и т.д.) также имеют только макроскопический смысл (о температуре, например, можно

говорить применительно к макроскопическому телу, но не к молекуле или атому). Вместе с тем знание строения вещества необходимо для понимания законов тепловых явлений.

Тело, рассматриваемое с термодинамической позиции, является неподвижным, не обладающим механической энергией. Но такое тело обладает внутренней энергией, складывающейся из энергий движущихся электронов и т.д. Это внутренняя энергия может увеличиваться или уменьшаться. Передача энергии может осуществляться путем передачи от одного тела к другому при совершении над ними работы и путем теплообмена. Во втором случае внутренняя энергия переходит от более нагретого тела к менее нагретому без совершения работы. Переданную энергию называют количеством теплоты, а передачу энергии - теплопередачей. В общем случае оба процесса могут осуществляться одновременно, когда тело при утрате внутренней энергии может совершать работу и передавать теплоту другому телу. К пониманию этого ученые пришли не сразу. Для XVIII и первой половины XIX вв. было характерно понимать теплоту как невесомую жидкость (вещество).

Представления о теплоте как форме движения мельчайших частиц материи появилось еще в XVII веке. Этих воззрений придерживались Бэкон, Декарт, Ньютон, Гук, Ломоносов. Однако и в XIX веке концепция теплорода разделялась многими учеными. В конце XVIII века Б.Томпсон (граф Румфорд) обнаружил выделение большого количества тепла при высверливании канала в пушечном стволе, что посчитал доказательством того, что теплота является формой движения. Получение теплоты с помощью трения подтвердили опыты Г.Дэви. Б.Томпсон показал, что из ограниченного количества материи может быть получено неограниченное количество теплоты.

Возникновение собственно термодинамики начинается с работы С.Карно (сам термин "термодинамика" введен Б.Томпсоном). Исследуя практическую задачу получения движения из тепла применительно к паровым машинам, он понял, что принцип получения движения из тепла необходимо рассматривать не только по отношению к паровым машинам, но к любым мыслимым тепловым машинам. Так был сформулирован общий метод решения задачи - термодинамический, заложивший основу термодинамики. Определяя коэффициент полезного действия тепловых машин, Карно ввел свой знаменитый цикл, состоящий из двух изотермических (происходящих при постоянной температуре) и двух адиабатических (без притока и отдачи тепла) процессов. КПД цикла Карно не зависит от свойств рабочего тела (пара, газа и т.д.) и определяется температурами теплоотдатчика и теплоприемника. КПД любой тепловой машины не может быть при тех же температурах теплоотдатчика и теплоприемника выше КПД цикла Карно.

Карно первым вскрыл связь теплоты с работой. Но он исходил из концепции теплорода, признававшей теплоту неизменной по количеству субстанцией. Вместе с тем Карно уже понял, что работа паровой машины определяется всеобщим законом перехода тепла от более высоких к более низким температурам, т.е. что не может быть беспредельного воспроизведения движущей силы без затрат теплорода. Таким образом, работа представлялась как результат перепада теплорода с высшего уровня на низшие. Иначе говоря, теплота может создавать работу лишь при наличии разности температур. По своему смыслу это и составляет содержание второго начала термодинамики. КПД тепловой машины оказался зависимым не от рабочего вещества, а от температуры теплоотдатчика и теплоприемника. Все это позволило Карно прийти к признанию принципа невозможности создания вечного двигателя первого рода (т.е. непрерывно действующей машины, которая, будучи однажды запущенной, совершала бы работу без притока извне).

Осознавая недостатки теории теплорода, Карно в конце концов отказывается от признания теплоты неизменной по количеству субстанцией и дает значение механического эквивалента теплоты. Но публикация этого вывода была осуществлена уже после признания закона сохранения энергии, поэтому данный вывод не сыграл той роли, которую мог сыграть, будучи опубликованным ранее. Но так или иначе Карно заложил основы термодинамики как раздела физики, изучающего наиболее общие свойства макроскопических систем, находящихся в состоянии термодинамического равновесия, и процессы перехода между этими состояниями. Термодинамика стала развиваться на основе фундаментальных принципов или начал, являющихся обобщением результатов многочисленных наблюдений и экспериментов.

6.6.2. Первое начало термодинамики

Первое начало термодинамики (закон сохранения энергии в применении к термодинамическим процессам) гласит: при сообщении термодинамической системе (например, пару в тепловой машине) определенного количества теплоты в общем случае происходит приращение внутренней энергии системы и она совершает работу против внешних сил. Выше отмечалось, что первым, кто поставил теплоту в связь с работой, был Карно, но его работа в силу запоздалой публикации не оказала решающего воздействия на формирование первого начала термодинамики. Однако идея о том, что теплота - не субстанция, а сила (энергия), одной из форм которой и является теплота, причем эта сила, в зависимости от условий, выступает в виде движения, электричества, света, магнетизма, теплоты, которые могут превращаться друг в друга, существовала в умах исследователей. Для превращения этой идеи в ясное и точное понятие, необходимо было определить общую меру этой силы. это сделали, независимо друг от друга, Р.Майер, Д.Джоуль и Г.Гельмгольц.

Р.Майер первым сформулировал закон эквивалентности механической работы и теплоты и рассчитал механический эквивалент теплоты (1842 г.). Д.Джоуль экспериментально подтвердил предположение о том, что теплота является формой энергии и определил меру превращения механической работы в теплоту. Г.Гельмгольц в 1847 г. математически обосновал закон сохранения энергии, показав его всеобщий характер. Подход всех трех авторов закона сохранения энергии был различным. Майер отталкивался больше от общих положений, связанных с аналогией между "живой силой" (энергией), которую приобретали тела при своем падении в соответствии с законом всемирного тяготения, и теплотой, которую отдавали сжатые газы. Джоуль шел от экспериментов по выявлению возможности использования электрического двигателя как практического источника энергии (это обстоятельство и заставляло его задуматься над вопросом о количественной эквивалентности работы и теплоты). Г.Гельмгольц пришел к открытию закона сохранения энергии, пытаясь применить концепцию движения Ньютона к движению большого числа тел, которые находятся под влиянием взаимного притяжения. Его вывод о том, что сумма силы и напряжения (т.е. кинетической и потенциальной энергией) остается постоянной, является формулировкой закона сохранения энергии в его наиболее общей форме. Этот закон - величайшее открытие XIX века. Механическая работа, электричество и теплота - различные формы энергии. Д.Бернал так охарактеризовал его значение: "Он объединил много наук и находился в исключительной гармонии с тенденциями времени. Энергия стала универсальной валютой физики - так сказать, золотым стандартом изменений, происходивших во вселенной. То, что было установлено, представляло собой твердый валютный курс для обмена между валютами различных видов энергии: между калориями теплоты, килограмметрами работы и киловатт-часами электричества. Вся человеческая деятельность в целом - промышленность, транспорт, освещение и, в конечном счете, питание и сама жизнь - рассматривалась с точки зрения зависимости от этого одного общего термина - **энергия**."¹²

6.6.3. Второе начало термодинамики

Второе начало термодинамики - закон возрастания энтропии: в замкнутой (т.е. изолированной в тепловом и механическом отношении) системе энтропия либо остается неизменной (если в системе протекают обратимые, равновесные процессы), либо возрастает (при неравновесных процессах) и в состоянии равновесия достигает максимума. Существуют и другие эквивалентные формулировки второго начала термодинамики, принадлежащие разным ученым: невозможен переход теплоты от тела более холодного к телу, более нагретому, без каких-либо других изменений в системе или окружающей среде (Р.Клаузиус); невозможно создать периодически действующую, т.е. совершающую какой-либо термодинамический цикл, машину, вся работа которой сводилась бы к поднятию некоторого груза (механической работе) и соответствующему охлаждению теплового резервуара (В.Томсон, М.Планк); невозможно построить вечный двигатель второго рода, т.е. тепловую машину, которая в результате совершения кругового процесса (цикла) полностью преобразует теплоту, получаемую от какого-либо одного "неисчерпаемого" источника (океана, атмосферы и т.д.) в работу (В.Оствальд).

¹² Бернал Дж. Наука в истории общества. М., 1956. С.329.

В.Томсон (лорд Кельвин) сформулировав принцип невозможности создания вечного двигателя второго рода, в 1852 году пришел к формированию концепции "тепловой смерти" вселенной. Ее суть раскрывается в следующих положениях. Во-первых, во вселенной существует тенденция к расточению механической энергии. Во-вторых, восстановление механической энергии в прежнем количестве не может быть осуществлено. В-третьих, в будущем Земля очутится в непригодном для жизни человека состоянии. Через 20 лет Клаузиус приходит к тому же выводу, сформулировав второе начало термодинамики в виде: энтропия вселенной стремится к максимуму. (Под энтропией он понимал величину, представляющую собой сумму всех превращений, которые должны были иметь место, чтобы привести систему в ее нынешнее состояние.)

Суть в том, что в замкнутой системе энтропия может только возрастать или оставаться постоянной. Иначе говоря, во всякой изолированной системе тепловые процессы однонаправлены, что и приводит к увеличению энтропии. Стоит энтропии достигнуть максимума, как тепловые процессы в такой системе прекращаются, что означает принятие всеми телами системы одинаковой температуры и превращение всех форм энергии в тепловую. Наступление состояния термодинамического равновесия приводит к прекращению всех макропроцессов, что и означает состояние "тепловой смерти".

Для распространения второго начала термодинамики на другие необратимые процессы было введено понятие энтропии как меры беспорядка. Для изолированных систем (не пропускающих тепло) второе начало термодинамики можно выразить следующим образом: энтропия системы никогда не уменьшается. Система, находящаяся в состоянии равновесия, имеет максимальную энтропию.

Понятие энтропии связывают и с понятием информации. Система, находящаяся в упорядоченном состоянии, содержит много информации, а неупорядоченная система содержит мало информации. Так, например, текст книги содержит много информации, а случайный набор букв не несет информации. Информацию поэтому и отождествляют с отрицательной энтропией (или неэнтропией). При росте энтропии информация уменьшается.

Среди множества выдвинутых против этого вывода возражений наиболее известным было возражение Максвелла. Он исходил из того, что второе начало имеет ограниченную область применения. Максвелл считал второе начало термодинамики справедливым, пока мы имеем дело с телами, обладающими большой массой, когда нет возможности различать в этих массах отдельные молекулы и работать с ними. Он предложил проделать мысленный эксперимент - представить себе существо, способное следить за каждой молекулой во всех ее движениях, и разделить какой-либо сосуд на две части перегородкой с маленьким отверстием в ней. Это существо (названное "демоном Максвелла"), способное различать отдельные молекулы, будет попеременно то открывать, то закрывать отверстие таким образом, чтобы быстро движущиеся молекулы могли переходить в другую половину. В этом случае "демон Максвелла" без затраты работы смог бы повысить температуру в первой половине сосуда и понизить во второй вопреки второму началу термодинамики.

Данный процесс асимметричен во времени - без внешнего вмешательства он не может стать обратимым. Т.е. бессмысленно ожидать в этом случае, что газы вернуться в первоначальное положение. Можно сказать, что в природе порядок стремится уступить место беспорядку. Однако можно привести примеры, которые как будто бы противоречат данному принципу возрастания энтропии. Так, живые системы в своем развитии усложняются, вырастающие из жидкости кристаллы являются упорядоченнее этой жидкости и т.д. Однако полная энтропия системы вместе с окружающей средой возрастает, ибо биологические процессы осуществляются за счет энтропии солнечного излучения и т.д.

Л.Больцман, предпринявший попытку объяснить, почему порядок уступает место беспорядку, сформулировал Н-теорему, являющуюся результатом соединения двух подходов к приближению газа к состоянию равновесия - макроскопического (законов ньютоновской механики, описывающих движение молекул) и микроскопического (исходящего из представления газа как стремящегося к беспорядочному перераспределению). Из теоремы следовал вывод о том, что энтропия может только возрастать - таково поведение термодинамических систем во времени.

Однако с Н-теоремой Больцмана оказался связанным парадокс, вокруг которого возникла дискуссия. Суть заключается в том, что с помощью одной основанной на механике Ньютона

молекулярной теории доказать постоянный рост энтропии замкнутой системы нельзя, поскольку ньютоновская механика симметрична во времени - любое движение атомов, основанное на законах ньютоновской механики, может быть представлено как происходящее в обратном направлении. Т.к. асимметрию нельзя вывести из симметрии, то теорема Больцмана (которая на основе лишь одной механики Ньютона утверждает, что возрастание энтропии асимметрично во времени) не может быть верной - для доказательства необходимо было к законам механики добавить и асимметрию. Так что чисто механическая интерпретация закона возрастания энтропии оказывалась несостоятельной. На это первым обратили внимание Й.Лосмидт и Э.Цермело.

При выводе Н-теоремы Больцман кроме механики Ньютона опирался на предположение о молекулярном хаосе, которое, однако, не всегда верно. По теории вероятности, возможность того, что молекулы газа в упомянутом ранее сосуде будут двигаться не хаотично, а устремятся в какую-то одну его половину, не является нулевой, хотя и исчезающе мала. Поэтому можно сказать, что в принципе могут быть случаи, когда энтропия убывает, а хаотическое движение молекул будет упорядочиваться. Таким образом, Н-теорема Больцмана описывает механизм перехода газа из состояния с низкой энтропией в равновесное, но не объясняет, почему это происходит в одном и том же направлении во времени, а именно из прошлого в будущее. А раз это так, то больцмановская модель лишается временной асимметрии.

Но временная асимметрия - это реальный факт. Упорядоченность реальных систем может возникать за счет внешних воздействий, а не за счет внутренних беспорядочных флуктуаций (дом, например, воздвигается строителями, а не в результате внутренних хаотических движений). В реальности все системы формируются под воздействием окружающей среды. Для различения реальных систем, которые, отделясь от окружающей Вселенной, приходят в состояние с низкой энтропией, и больцмановских постоянно изолированных от окружающей среды систем, Г.Рейхенбах назвал первые ветвящимися структурами - в их иерархии упорядоченность каждой зависит от предыдущей. Ветвящаяся структура ведет себя асимметрично во времени по причине скрытого воздействия извне. При этом причина асимметрии - не в самой системе, а в воздействии. В реальном мире больцмановских систем нет.

Асимметричные во времени процессы существуют и в областях за пределами термодинамики. Примером таких процессов могут служить волны (в том числе радиоволны). Так, радиоволны распространяются от передатчика в окружающее пространство, но не наоборот. Аналогично обстоит дело с распространением волн от брошенного в пруд камня. Волны, бегущие от источника (предположим, брошенного в пруд камня) в разные стороны, называют запаздывающими. В принципе возможны и опережающие волны, которые могут возникнуть тогда, когда возмущения сначала проходят через удаленную точку, а затем сходятся в месте распространения источника волны. Изолированный пруд есть симметричная во времени система, как и больцмановский сосуд с газом. Брошенный в него камень создает ветвящуюся структуру. Радиоволна же обратно не вернется, ибо распространяется в безграничном пространстве. Здесь мы имеем дело с неограниченной диссипацией (рассеянием) волн и частиц, являющей собой еще один тип необратимой временной асимметрии. Значит, образование ветвящихся структур и необратимая асимметрия бесконечного волнового движения делают необходимым учет крупномасштабных свойств Вселенной.

Таким образом, дискуссия по поводу второго начала термодинамики привела к выводу, что законы микромира ситуацию с "демоном Максвелла" делают неосуществимой, но вместе с тем она способствовала уяснению того, что второе начало термодинамики является законом статистическим.

6.6.4. Третье начало термодинамики

Третье начало термодинамики (теорема Нернста): энтропия физической системы при стремлении температуры к абсолютному нулю не зависит от параметров системы и остается неизменной. Другие формулировки теоремы: при стремлении температуры к абсолютному нулю все изменения состояния системы не изменяют ее энтропии; при помощи конечной последовательности термодинамических процессов нельзя достичь температуры абсолютного нуля. М.Планк дополнил теорему гипотезой, согласно которой энтропия всех тел при абсолютном нуле температуры равна

нулю. Из теоремы вытекают важные следствия о свойствах веществ при температурах, близких к абсолютному нулю: приобретают нулевое значение удельные теплоемкости при постоянных объеме и давлении, термический коэффициент расширения и давления. Кроме того, из теоремы следует недостижимость абсолютного нуля температуры при конечной последовательности термодинамических процессов.

Если первое начало термодинамики утверждает, что теплота есть форма энергии, измеряемая механической мерой, и невозможность вечного двигателя первого рода, то второе начало термодинамики объявляет невозможным создание вечного двигателя второго рода. Первое начало ввело функцию состояния - энергию, второе начало ввело функцию состояния - энтропию. Если энергия закрытой системы остается неизменной, то энтропия этой системы, состоящая из энтропий ее частей, при каждом изменении увеличивается - уменьшение энтропии считается противоречащим законам природы. Сосуществование таких независимых друг от друга функций состояния, как энергия и энтропия, дает возможность делать высказывания о тепловом поведении тел на основе математического анализа. Поскольку обе функции состояния вычислялись лишь по отношению к произвольно выбранному начальному состоянию, определения энергии и энтропии не были совершенными. Третье начало термодинамики позволило устранить этот недостаток. Важное значение для развития термодинамики имели установленные Ж.Л.Гей-Люссаком законы - закон теплового расширения и закон объемных отношений. Б.Клапейрон установил зависимость между физическими величинами, определяющими состояние идеального газа (давлением, объемом и температурой), обобщенное Д.И.Менделеевым.

Таким образом, концепции классической Термодинамики описывают состояния теплового равновесия и равновесные (протекающие бесконечно медленно, поэтому время в основные уравнения не входит) процессы. Термодинамика неравновесных процессов возникает позднее - в 30-х гг. XX века. В ней состояние системы определяется через плотность, давление, температуру и другие локальные термодинамические параметры, которые рассматриваются как функции координат и времени. Уравнения неравновесной термодинамики описывают состояние системы во времени.

6.7. Возникновение предпосылок атомной и ядерной физики

Концепции атомной и ядерной физики будут разворачиваться в XX столетии, но события, давшие им толчок, произошли в конце XIX столетия. На стыке XIX и XX вв. в науке свершились открытия, заставившие заколебаться сложившуюся картину мира. Представлениям, основанным на классической механике, суждено было уступить место новой, остающейся до сих пор во многом не завершенной картине мира. События, положившие начало процессу смены картины мира, связаны с открытием рентгеновских лучей и радиоактивности (1895-1896 гг.), открытием электрона (1897 г.), структуры кристалла (1912 г.), нейтрона (1932 г.), деления ядра атома (1938 г.) и т.д., а также с теоретическими работами: квантовой теорией М.Планка (1900 г.), специальной теорией относительности А.Эйнштейна (1905 г.), атомной теорией Резерфорда - Н.Бора (1913 г.), общей теорией относительности А.Эйнштейна (1916 г.), волновой механики Л.де Бройля и Э.Шредингера (1923-1926 гг.) и т.д. Поскольку в основу изложения развития физических концепций был положен и хронологический принцип, то и научные открытия, происшедшие в конце XIX столетия (хотя главные события, последующие за ними, будут происходить уже в XX столетии), целесообразно рассмотреть в русле развития физики конца XIX столетия.

Конец XIX века демонстрировал наличие теории, удовлетворяющей практическим потребностям. Явления электромагнетизма использовались в осветительных и силовых устройствах. Термодинамические концепции привели к созданию двигателя внутреннего сгорания и химических установок, Электромагнитная теория вызвала к жизни радио. Эти достижения были практической реализацией утвердившихся научных знаний, от которых трудно было ожидать чего-то принципиально нового. Так что радикальные сдвиги следовало ожидать в тех областях физики, которые до сих пор находились в тени и в которых наблюдались какие-то явления, не укладывавшиеся в существующие физические концепции. Область физики, занимавшаяся изучением электрических разрядов, оказалась именно такой. Однако проводившиеся с

электрическими разрядами в вакууме опыты привели к интересным результатам, а электротехническая промышленность обнаружила потребность в совершенствовании вакуумной техники. Все это усилило интерес к исследованиям в этой области физики.

Первым результатом усиления этого интереса было открытие У.Круксом катодных лучей, которые он назвал лучистой формой материи. Д.Стоней назвал катодные лучи электронами, Ж.Перрен обнаружил у них отрицательный заряд, а Д.Томсон измерил их скорость. Следующим шагом было совершено непредвиденное открытие К.Рентгеном - обнаружение X-лучей (получивших название рентгеновских), исходящих из катодно-лучевой разрядной трубки. Это открытие, помимо практических перспектив, имело важное значение для других областей физики. Д.Томсон установил, что не только электроны, которые ударялись о какое-либо вещество, порождали рентгеновские лучи, но и последние при ударе о вещество порождают электроны. Тот факт, что электроны могли извлекаться из различных веществ, свидетельствовало о принадлежности их к электрической материи. Поскольку она состояла из отдельных частиц (атомов), то это побудило Д.Томсона обратиться к раскрытию внутренней структуры атома. Существование электрона - заряженной частицы с массой, которая меньше массы атома и которая появляется из вещества при определенных условиях, наводила на мысль о том, что эта частица является структурным элементом атома. А если атом электрически нейтрален, то должен быть структурный элемент и с положительным зарядом.

Первая модель атома, предложенная В.Томсоном и затем Д.Томсоном, включала шарообразное облако положительного заряда, внутри которого находятся электроны, расположенные в этом облаке концентрическими кольцами. Данная модель просуществовала недолго. Но это был первый шаг в раскрытии структуры атома. Следующие модели атома появились уже в XX веке (модель Э.Резерфорда и модель Н.Бора).

Открытие рентгеновских лучей было случайным. Открытие радиоактивности, последовавшее вслед за открытием рентгеновских лучей, также оказалось случайным. А.Беккерель пытался установить, не излучаются ли подобные лучи другими телами. Из различных веществ, которыми он располагал, Беккерель случайно избрал соли урана. Лучи, исходящие из урана, были радиоактивными, причем получались без каких-либо устройств - они испускались самим радиоактивным веществом. Пьер и Мария Кюри выделили еще более сильные радиоактивные элементы - полоний и радий. Э.Резерфорд, изучая характер радиоактивного излучения, открывает альфа-лучи и бета-лучи и объясняет их природу. М.Планк установил, что атомы отдают энергию не непрерывно, а порциями, т.е. существование предельного количества действия, контролировавшего количественно все энергетические обмены в атомных системах (постоянная Планка - h , равная $6,6 \times 10^{-27}$ эрг/сек. К.Лоренц создает электронную теорию, синтезировавшую идеи теории поля атомной теории. И хотя первоначально он не употребляет термина "электрон", а говорит о положительно и отрицательно заряженных частицах вещества, открытие радиоактивности и превращения атомов поколебало физические и химические представления XIX века. Это касалось закона неизменных элементов, установленного Лавуазье. Самопроизвольный радиоактивный распад в условиях отсутствия опытных данных о синтезе новых атомов мог истолковываться как односторонний процесс постепенного разрушения вещества во Вселенной. Открытие первой субатомной частицы - электрона - выглядело аргументом в пользу отвергнутых представлений об электрической субстанции. Казалось, что был поставлен под сомнение и закон сохранения энергии. Возникшая ситуация свидетельствовала о том, что новые экспериментальные факты не укладываются в существовавшую физическую парадигму. Таким образом, обозначились истоки революционных преобразований в физических концепциях. Первый этап этих преобразований начался в конце XIX века. Последующие этапы развертывались уже в XX веке.

7. ОСНОВНЫЕ КОНЦЕПЦИИ ФИЗИКИ XX ВЕКА

7.1. Революция в физике

Физика XIX века представляла собой основанную на механике Ньютона систему знаний, которая создателям этой системы представлялась почти завершенной. Революция в физике уже в самом начале XX века выявила ограниченность классической механики, чем поставила под сомнение истинность подобных представлений. Классическая физика, исходя из заложенного Декартом идеала, представляла Вселенную в виде механической системы, поведение которой можно абсолютно точно предсказать, если известны параметры, которые определяют начальное состояние этой системы. Иными словами, основные утверждения классической механики имеют вполне определенный и однозначный характер. Разного рода неопределенности и неоднозначности, могущие иметь место при измерении величин, объясняются в ее рамках неизбежными погрешностями, сложностью процедуры измерения и т.п.

Подобная картина основывалась на предположениях, которые считались совершенно очевидными. Первое заключалось в том, что мы живем в жестком и определенном мире, в котором любое явление может быть строго локализовано, и что все развитие физического мира есть изменение положения тел в пространстве с течением времени. Второе исходило из возможности сделать пренебрежимо малым возмущение естественного хода изучаемого процесса, вносимое процедурой осуществления эксперимента. Как оказалось, оба предложения могут быть справедливыми лишь для определенных условий.

Открытие кванта действия выявило противоречие между концепцией строгой локализации и концепцией динамического развития. Каждая из этих концепций, взятая в отдельности от другой, может быть успешно использована для изучаемых явлений, но, будучи одновременно использованными, они не дают точных результатов. Обе они - своего рода идеализация: первая - статистическая, исключая всякое движение и развитие, вторая - динамическая, исключая понятие точного положения в пространстве и момента времени. В классической механике перемещения в пространстве и определение скорости изучаются вне зависимости от того, каким образом физически эти перемещения реализуются. От абстрактного изучения законов движения можно переходить к динамике. Применительно к явлениям микромира подобная ситуация, как выяснилось, невозможна принципиально. Здесь пространственно-временная локализация, лежащая в основе кинематики, возможна лишь для некоторых частных случаев, которые зависят от конкретных динамических условий движения. В макромасштабах использование кинематики вполне допустимо. Для микромасштабов, где главная роль принадлежит квантам, кинематика, изучающая движение вне зависимости от динамических условий, теряет смысл.

Для масштабов микромира и второе положение оказывается несостоятельным - оно справедливо лишь для явлений большого масштаба. Выяснилось, что попытки измерить какую-либо величину, характеризующую изучаемую систему, влечет за собой неконтролируемое изменение других величин, характеризующих данную систему: если предпринимается попытка установить положение в пространстве и времени, то это приводит к неконтролируемому изменению соответствующей сопряженной величины, которая определяет динамическое состояние системы. Так, невозможно точно измерить в одно и то же время две взаимно сопряженные величины. Чем точнее определяется значение одной величины, характеризующей систему, тем более неопределенным оказывается значение сопряженной ей величины. Это обстоятельство повлекло за собой существенное изменение взглядов на понимание детерминизма, уровней организации реальности.

Детерминизм классической механики исходил из того, что будущее в известном смысле полностью содержится в настоящем - этим и определяется возможность точного предвидения поведения системы в любой будущий момент времени. Такая возможность предлагает одновременное определение взаимно сопряженных величин. В области микромира это оказалось невозможным, что и вносит существенные изменения в понимание возможностей предвидения и взаимосвязи явлений природы: раз значение величин, характеризующих состояние системы в определенный момент времени, можно установить лишь с долей неопределенности, то исключается возможность точного предсказания значений этих величин в последующие моменты времени -

можно лишь предсказать вероятность получения тех или иных величин. В этом случае связь между результатами последовательных измерений не будет отвечать требованиям классического детерминизма. Здесь можно говорить о вероятностной связи, связанной с неопределенностью, вытекающей из существования кванта действия.

Другая революционная идея, повлекшая за собой изменение классической физической картины мира, касается создания теории поля. Классическая механика пыталась свести все явления природы к силам, действующим между частицами вещества - на этом основывалась концепция электрических жидкостей. В рамках этой концепции реальными были лишь субстанция и ее изменения - здесь важнейшим признавалось описание действия двух электрических зарядов с помощью относящихся к ним понятий. Описание же поля между этими зарядами, а не самих зарядов было весьма существенным для понимания действия зарядов. Созданной новой реальности места в механической картине мира не было. В результате физика стала иметь дело с двумя реальностями - веществом и полем. Если классическая физика строилась на понятии вещества, то с выявлением новой реальности физическую картину мира приходилось пересматривать. Попытки объяснить электромагнитные явления с помощью эфира оказались несостоятельными. Эфир экспериментально обнаружить не удалось. Это привело к созданию теории относительности, заставившей пересмотреть представления о пространстве и времени, характерные для классической физики. Таким образом, две концепции - теория квантов и теория относительности - стали фундаментом для новых физических концепций. Д. Бернал выделил три фазы в развитии научной революции. Первая фаза охватывала период с 1895 по 1916 год. Для нее характерно исследование новых миров, создание новых представлений, главным образом с помощью технических и теоретических средств науки XX века. Это период в основном индивидуальных достижений супругов Кюри, Резерфорда, Планка, Эйнштейна, Бора и др. Физические исследования ведутся в университетских лабораториях, они слабо связаны с промышленностью, используемая аппаратура дешева и проста.

Вторая фаза (1919-1939 гг.) характеризуется массовым внедрением промышленных методов и организованности в физические исследования. Хотя в это время фундаментальные исследования ведутся главным образом в университетских лабораториях, отдельные крупные ученые начинают возглавлять научные группы, начинают устанавливать связи с крупными промышленными исследовательскими лабораториями. Растет число ученых. Физика расширяет сферу своей деятельности. Начинается военное использование физических знаний, начинается установление связи между руководителями физических исследований с промышленными и государственными организациями в военных целях.

Третья фаза характеризуется еще большим расширением участия физики в военных программах. Физические исследования требуют дорогостоящей аппаратуры, становятся все более дорогостоящими, в их организации все большую роль играет государство.

Современный этап развития физических исследований становится еще более дорогостоящим, что ставит вопрос о необходимости международной кооперации в осуществлении наиболее крупных проектов. Физика стала основой естествознания. Появление и развитие таких разделов физики, как квантовая механика, квантовая электродинамика, общая теория относительности, теория строения атомов, физика атомного ядра и субатомных частиц, квантовая физика твердого тела, квантовая физическая теория строения химических соединений привело к созданию новой физической картины мира, к превращению физики из науки, которая изучает и объясняет механизм явлений, в науку, разрабатывающую методы искусственного воспроизведения физических процессов, в основу современных технических устройств, в лидера современного естествознания.

7.2. Теория относительности

7.2.1. Кризис классических представлений о пространстве и времени

Вначале вспомним, что концепция света Френеля включала признание существования эфира, заполняющего все пространство и проникающего во все тела, в котором распространялись световые волны. Концепция света Максвелла понятие эфира сделала не нужным. Несмотря на это, концепция

эфира не сошла с арены физики. Дело заключалось в том, что уравнения электродинамики Максвелла были справедливыми в одной системе координат и несправедливыми в другой, движущейся прямолинейно и равномерно относительно первой. Классическая механика, исходившая из признания существования абсолютного времени, единого для всех систем отсчета и любых наблюдателей, признавала, что расстояние между двумя точками пространства должно иметь одно значение во всех системах координат, используемых для определения положения тел в пространстве (т.е. данное расстояние является инвариантом). Преобразование Галилея определяло преобразование координат при переходе от одной системе отсчета к другой. Иначе говоря, если, например, уравнения Ньютона были справедливыми в системе координат, связанной с неподвижными звездами, то они оказывались справедливыми и в других системах отсчета, которые двигались прямолинейно и равномерно относительно данных неподвижных звезд. Таким образом, получалось, что уравнения Максвелла справедливы только в одной системе отсчета, связанной с некоей средой, заполняющей всю вселенную. Вот эту среду и продолжали считать эфиром. Все различие с первоначальной трактовкой эфира заключалось в том, что если раньше под эфиром понимали особую упругую среду, которая была способна передавать световые колебания, то теперь эфиру стала отводиться роль абстракции, необходимой для фиксации тех систем отсчета, в которых справедливы уравнения Максвелла. Однако и данную роль эфир не мог играть.

Изучение световых явлений в движущейся системе координат предполагало определение скорости данной системы координат относительно эфира. Однако никому не удавалось в эксперименте обнаружить движение Земли относительно эфира, что находилось в противоречии с классической теорией. Знаменитый эксперимент Майкельсона-Морли (1887 г.) все сомнения, основывающиеся на несовершенстве используемой при проведении эксперимента, полностью отверг и позволил окончательно отказаться от концепции эфира. Г.А.Лоренц попытался отрицательный результат эксперимента Майкельсона-Морли согласовать с существующими теориями, высказав предположение о том, что тела при своем движении относительно эфира сокращаются в размерах этого движения. Такой подход позволял сохранить концепцию эфира: эфир существует, он неподвижен, движение тела относительно эфира обнаружить невозможно, поскольку в направлении движения тело меняет свои размеры. Из уравнений Лоренца следовало, что все световые явления будут протекать одинаково в разных системах координат, поэтому по этим явлениям обнаружить абсолютное движение по отношению к эфиру невозможно. В свете этого отрицательный результат эксперимента Майкельсона-Морли выглядел вполне естественным, а точная связь наблюдателей, движущихся равномерно и прямолинейно друг относительно друга, выражаясь не преобразованиями Галилея, а преобразованиями Лоренца. Понимание причин замены преобразований Галилея преобразованиями Лоренца и выяснение физических следствий этой замены потребовало пересмотра понятий пространства и времени.

Вспомним также, как развивались представления о пространстве и времени. Для аристотельской физики характерно представление о покое как естественном состоянии любого тела. Это значит, что в движение тело может прийти только под действием силы или импульса. Следствием такого представления был вывод о том, что тяжелые тела должны падать с большей скоростью, чем легкие т.к. они сильнее притягиваются к Земле. В рамках этой традиции законы, которым подчинялась Вселенная, выводились умозрительно и не проверялись на опыте.

Галилей, заложивший начало современных представлений о законах движения тел, первым подверг сомнению представления аристотелевской физики. Скатывая по гладкому откосу шары разного веса, Галилей установил, что скорость увеличивается независимо от веса тела - на катящееся тело всегда действует одна и та же сила (вес тела), в результате чего скорость тела возрастала. Это означало, что приложенная к телу сила не просто заставляет это тело двигаться (как полагали до Галилея), а изменяет скорость тела. Ньютон на основе произведенных Галилеем измерений вывел законы движения. Первый закон: всякое тело пребывает в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения до тех пор, пока действующие на него силы не изменят это состояние. Второй закон: произведение массы тела на его ускорение равно действующей силе, а направление ускорения совпадает с направлением силы. Третий закон: действию всегда соответствует равное и противоположно направленное действие (иначе: действия двух тел друг на друга всегда равны по величине и направлены в противоположные стороны). Кроме этих законов Ньютоном открыт закон всемирного тяготения: всякое тело притягивает любое другое тело с силой,

пропорциональной массам этих тел. Чем дальше находятся тела друг относительно друга, тем меньше сила взаимодействия. Гравитационная сила притяжения звезды составляет четвертую часть силы притяжения такой же звезды, расположенной на вдвое меньшем расстоянии. Данный закон позволяет с большой точностью вычислять орбиты планет.

Если для Аристотеля состояние покоя считалось предпочтительным (если на тело не действует какая-то сила), то из законов Ньютона следовало, что единого эталона покоя нет. Это значит, что можно считать тело А движущимся относительно покоящегося тела В и наоборот - считать тело В движущимся относительно покоящегося тела А. Отсюда следует, что невозможно определить, имели ли место два события в одной точке пространства, если они произошли в разные моменты времени. Иначе говоря, никакому событию нельзя приписать абсолютного положения в пространстве (как считал Аристотель). Это вытекало из законов Ньютона. Но это противоречило идее абсолютного бога. Поэтому Ньютон не признавал отсутствия абсолютного пространства, т.е. того, что следовало из открытых законов.

Общим для Аристотеля и Ньютона было признание абсолютного времени - оба полагали, что время между двумя событиями можно измерить однозначно и что результат не зависит от того, кто осуществляет измерения, лишь бы были в наличии у измеряющего правильные часы. Время считалось полностью отделенным от пространства и не зависящим от него.

В 1676 г., за одиннадцать лет до выхода "Математических начал натуральной философии" Ньютона, датский астроном О.Х.Ремер установил, что свет распространяется с конечной, хотя и очень большой скоростью. Но лишь Д.К.Максвеллу - создателю классической электродинамики - удалось объединить две частные теории, описывавшие электрические и магнитные силы. Согласно сформулированным Максвеллом уравнениям, описывающим электромагнитные явления в произвольных средах и в вакууме, в электромагнитном поле могут существовать распространяющиеся с постоянной скоростью волны (радиоволны с длиной метр и более, волны сверхвысокочастотного диапазона с длиной порядка сантиметра, волны инфракрасного диапазона с длиной до десяти тысячных сантиметра, волны видимого сектора с длиной сорок - восемьдесят миллионных долей сантиметра, волны ультрафиолетового, рентгеновского и гамма-излучения с длиной волны еще более короткой).

Из теории Максвелла вытекало, что радиоволны и свет имеют фиксированную скорость распространения. Но поскольку после появления теории Ньютона представления об абсолютном покое ушли в прошлое, возник вопрос: относительно чего измерять скорость. Для этого было введено понятие эфира - особой субстанции, заполнявшей пространство. Стали считать, что световые волны распространяются в эфире (как звуковые в воздухе), а скорость распространения определяется относительно эфира. Наблюдатели, движущиеся относительно эфира с разными скоростями, должны были видеть, что свет к ним идет с разной скоростью, но скорость света относительно эфира должна оставаться неизменной. Это означало, что при движении Земли в эфире по своей орбите вокруг Солнца скорость света в направлении движения в сторону источника света должна быть выше по сравнению со скоростью света при условии отсутствия движения к источнику света. Однако опыт, поставленный А.Майкельсоном и Э.Морли в 1887 г., в котором они сравнивали скорость света, измеренную в направлении движения Земли, со скоростью, измеренной в перпендикулярном этому направлению движения, показал, что обе скорости одинаковы. Датский физик Х.Лоренц результат эксперимента Майкельсона-Морли объяснял тем, что все движущиеся в эфире объекты сокращаются в размерах, а часы замедляют свой ход.

Следующий шаг сделал А.Эйнштейн созданием специальной теории относительности, из которой вытекало, что при условии отказа от понятия абсолютного времени нет никакой надобности в эфире. (Чуть позже аналогичную позицию высказал и А.Пуанкаре.)

7.2.2. Специальная теория относительности

Специальная теория относительности основывалась на постулате относительности: законы науки должны быть одинаковыми для всех свободно движущихся наблюдателей независимо от скорости их движения. Это означало, что скорость света для любых наблюдателей, независимо от их скорости движения должна быть одинаковой. Важно отметить два следствия, вытекавшие из

данного постулата. Первое - закон эквивалентности массы и энергии. Второе - закон, по которому ничто не может двигаться быстрее света.

Из закона эквивалентности массы и энергии ($E = mc^2$, где E - энергия, m - масса, c - скорость света) следует, что чем больше энергия, тем труднее увеличить скорость, причем данный эффект больше проявляется при скоростях, близких к скорости света. (Так, например, при скорости тела, составляющей 10% скорости света, масса данного тела увеличивается на 0,5%, тогда как при скорости тела, равной 90% от скорости света, его масса увеличивается в 2 раза.) По мере приближения скорости тела к скорости света его масса увеличивается все быстрее. Для дальнейшего ускорения требуется все больше энергии. Но скорость тела никогда не может достигнуть скорости света, поскольку в этом случае масса тела оказывается бесконечно большой, а потому для достижения такой скорости потребовалось бы бесконечно большая энергия. Таким образом, принцип относительности позволяет двигаться со скоростью света лишь телам, не обладающим нулевой массой (массой покоя), и налагает запрет на достижение скорости света всем телам, обладающим нулевой массой.

Второе следствие из постулата относительности касается изменения представлений о пространстве и времени. Если в теории Ньютона время прохождения светового импульса, посланного из одной точки в другую и измеренное разными наблюдателями, будет одинаковым (ибо время абсолютно), а пройденный им путь может оказаться разным у разных наблюдателей (ибо пространство не абсолютно), а разные наблюдатели получают разные скорости света (ибо скорость света есть пройденное светом расстояние, деленное на время), то в теории относительности у каждого наблюдателя должен быть свой масштаб времени, измеряемого с помощью имеющихся у него часов, причем показание одинаковых часов, имеющихся у разных наблюдателей, могут не согласоваться. Оказывается, что в рамках теории относительности нет надобности в понятиях абсолютного времени и эфира, но зато происходит смена представлений о пространстве и времени - теперь они не существуют как нечто не связанное друг с другом, а существует единое пространство-время. Событие, как нечто происходящее в определенный момент времени и в определенной точке пространства оказалось возможным характеризовать четырьмя координатами.

Специальная теория относительности объяснила постоянство скорости света для всех наблюдателей и позволила описать, что происходит при движении со скоростями, близкими к световым. Но она не согласовывалась с ньютоновской теорией гравитации, в соответствии с которой тела притягиваются друг к другу с силой, которая зависит от расстояния между ними. Это предполагает бесконечную скорость распространения гравитационных эффектов, а не равную или меньшую, как это требует теория относительности. Требовалось создать модель гравитации, согласовывающуюся со специальной теорией относительности. Эйнштейн в своей общей теории относительности высказал предположение о том, что гравитация является следствием искривления пространства-времени, вызванного распределенными в нем массой и энергией. Искривленность пространства-времени означает, что свет распространяется не прямолинейно, а искривляется в гравитационных полях. В нормальных условиях эффект искривления луча зафиксировать наблюдателю трудно, но это можно сделать во время солнечного затмения, когда Луна перекрывает солнечный свет. Это предсказание теории было подтверждено наблюдениями в западной Африке в 1919 г. английской экспедицией.

Другое предсказание общей теории относительности касалось того, что время вблизи массивных тел должно течь медленнее. Это предсказание было проверено в 1962 г. Оказалось, что часы, расположенные ближе к поверхности земли, действительно шли медленнее расположенных выше. Помимо общего интереса данный результат имеет большое значение для навигационных систем - игнорирование предсказаний общей теории относительности приводит к ошибкам при определении координат в несколько километров.

Таким образом, теория движения Ньютона отбросила представления об абсолютном пространстве, а теория относительности - об абсолютном времени. В общей теории относительности нет единого абсолютного времени. До создания общей теории относительности пространство и время выступали как место для событий, на которое все происходящее не влияет. В общей теории относительности пространство и время изменяются под влиянием происходящих процессов и сами влияют на них. Оказалось, что говорить о пространстве и времени вне пределов

Вселенной бессмысленно. Старые представления о вечной и почти не изменяющейся Вселенной сменились представлениями об изменяющейся Вселенной, которая имела начало и возможно будет иметь конец.

Таким образом, к началу XX века обнаружилась необходимость в коренном пересмотре представлений о пространстве и времени. Эксперименты свидетельствовали, что принцип относительности Галилея (в соответствии с которым механические явления протекают одинаково во всех инерционных системах отсчета) может быть отнесен и к области электромагнитных явлений, а потому уравнения Максвелла не должны изменять свою форму при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой, т.е. должны быть инвариантными. Но это оказалось возможным лишь для случаев, когда преобразования координат и времени при таком переходе отличаются от преобразований Галилея, используемых в ньютоновской механике. Лоренц выразил эти преобразования, но не смог дать им верную интерпретацию - она оказалась возможной в рамках специальной теории относительности, выявившей ограниченность механической картины мира. Все попытки свести электромагнитные процессы к механическим процессам в эфире выявили свою несостоятельность, следствием чего и был вывод о том, что поведение формы материи в виде электромагнитного поля не укладываются в рамки законов механики.

7.2.3. Общая теория относительности

Специальная теория относительности имеет дело с инерциальными системами координат, принцип относительности рассматривается применительно к прямолинейному и равномерному движению. Что же касается непрямолинейного или ускоренного движения, то принцип относительности в его прежней формулировке здесь оказывается несправедливым, ибо в движущейся ускоренной системе координат механические, оптические и электромагнитные явления протекают не так, как в инерциальных системах отсчета. Правильное описание этих физических явлений, учитывающее влияние на них ускорения, оказалось возможным на основе использования криволинейных координат в четырехмерном пространстве (четырёхмерном пространственно-временном континууме Минковского). Эйнштейн предположил, что особенность сил тяготения заключается в том, что они всегда пропорциональны массе тела, на которое они действуют. Отсюда следовало, что все тела при одних и тех же начальных условиях движутся в поле тяготения независимо от массы или заряда, т.е. их траектория движения не зависит от свойств движущегося тела, а определяется свойствами поля тяготения. Это позволяет влияние поля тяготения, действующего в определенной части пространства, учитывать путем введения локальной кривизны четырехмерного пространства. В специальной теории относительности четырехмерный пространственно-временной континуум является евклидовым (плоским). Можно предположить, что четырехмерное пространство может быть и неевклидовым, т.е. обладать переменной кривизной. В этом случае определение тела в пространстве возможно лишь с помощью криволинейной системы координат. Таким образом, под действием сил тяготения тела изменяют свои размеры и время течет в зависимости от величины этих сил, т.е. поле тяготения меняет свойства пространства и времени. Электромагнитное поле существует в пространстве и времени, а гравитационное поле выражает геометрию пространства и времени. В соответствии с общей теорией относительности геометрия Евклида применима лишь к пустым пространствам, где нет тяжелых тел. Вблизи же тяжелых тел пространство изогнуто.

Общая теория относительности - общая физическая теория пространства, времени и тяготения - явилась новым этапом в развитии теории тяготения. Эйнштейн характеризовал отличие новой теории тяготения от старой следующим образом:

"1. Гравитационные уравнения общей теории относительности могут быть применены к любой системе координат. Выбрать какую-либо особую систему координат в специальном случае - дело лишь удобства. Теоретически допустимы все системы координат. Игнорируя тяготение, мы автоматически возвращаемся к инерциальной системе специальной теории относительности.

2. Ньютонов закон тяготения связывает движение тела здесь и теперь с действием другого тела в то же самое время на далеком расстоянии. Этот закон стал образцом для всего механического мировоззрения. Но механическое мировоззрение потерпело крах. В уравнениях Максвелла мы создали новый образец для законов природы. Уравнения Максвелла суть структурные законы. Они

связывают события, которые происходят теперь и здесь, с событиями, которые происходят немного позднее и в непосредственном соседстве. Они суть законы, описывающие электромагнитное поле. Наши новые гравитационные уравнения суть также структурные законы, описывающие изменение поля тяготения. Схематически мы можем сказать: переход от ньютоновского закона тяготения к общей теории относительности до некоторой степени аналогичен переходу от теории электрических жидкостей и закона Кулона к теории Максвелла.

3. Наш мир неевклидов. Геометрическая природа его образована массами и их скоростями. Гравитационные уравнения общей теории относительности стремятся раскрыть геометрические свойства нашего мира."¹³

Итак, механическая картина мира оказалась несостоятельной в силу того, что было невозможно объяснить все явления, исходя из предположения о действии между неизменными частицами простых сил. Попытки перехода от механических представлений к понятию поля были успешными в области электромагнитных явлений. Структурные законы, сформулированные для электромагнитного поля, связали события, смежные в пространстве и времени. Это были законы специальной теории относительности. Общая теория относительности сформулировала структурные законы, описывающие поле тяготения между материальными телами, она обратила внимание на ту роль, которую играет геометрия в описании физической реальности.

В настоящее время специальная теория относительности подтверждена экспериментально. Так, например, предсказанное этой теорией увеличение массы электронов при приближении их к скорости света подтвердилось неоднократно. Эквивалентность массы и энергии также доказана экспериментами в ядерной физике. Что же касается общей теории относительности, то столь же утвердительные экспериментальные доказательства ее истинности отсутствуют. Многие физики пока не считают достаточно утвердительными факты, приводимые в ее пользу: малое вековое смещение перигелия Меркурия, слабое отклонение проходящих вблизи Солнца световых лучей интерпретируются по-разному. Более убедительным представляется аргумент, связанный с измерением красного смещения спектральных линий, которые излучаются спутником Сириуса. Однако единственный аргумент не является доказательством достоверности. Данная теория не является законченной. Существуют различные точки зрения на понимание сущности общей теории относительности, отличные от эйнштейновской. Вместе с тем данная теория является одним из самых выдающихся теоретических построений, демонстрирующих внутреннюю логическую стойкость и вносящих в физику множество многообразных идей.

Завершая данный раздел, важно зафиксировать еще раз следующий факт. Существуют вещество и поле как различные физические реальности. Попытки физиков XIX века построить физику на основе только понятия вещества оказались несостоятельными. Построить физику на основе лишь понятия поля пока не удалось. Так что во всех теоретических построениях приходится признавать обе реальности. Но в связи с этим встает проблема взаимодействия элементарных частиц с полем. Попытки решения этой проблемы приводят к квантовой физике.

7.3. Квантовая теория

7.3.1. Предпосылки квантовой теории

В конце XIX века выявилась несостоятельность попыток создать теорию излучения черного тела на основе законов классической физики. Из законов классической физики следовало, что вещество должно излучать электромагнитные волны при любой температуре, терять энергию и понижать температуру до абсолютного нуля. Иными словами, тепловое равновесие между веществом и излучением было невозможно. Но это находилось в противоречии с повседневным опытом.

Более детально это можно пояснить следующим образом. Существует понятие абсолютно черного тела - тела, поглощающего электромагнитное излучение любой длины волны. Спектр его излучения определяется его температурой. В природе абсолютно черных тел нет. Наиболее точно абсолютно черному телу соответствует замкнутое непрозрачное полое тело с отверстием. Любой

¹³ Эйнштейн А., Инфельд Л. Эволюция физики. М., 1965. С.196.

кусочек вещества при нагревании светится и при дальнейшем повышении температуры становится сначала красным, а затем - белым. Цвет от вещества почти не зависит, для абсолютно черного тела он определяется исключительно его температурой. Представим такую замкнутую полость, которая поддерживается при постоянной температуре и которая содержит материальные тела, способные испускать и поглощать излучения. Если температура этих тел в начальный момент отличалась от температуры полости, то со временем система (полость плюс тела) будет стремиться к термодинамическому равновесию, которое характеризуется равновесием между поглощаемой и измеряемой в единицу времени энергией. Г.Кирхгоф установил, что это состояние равновесия характеризуется определенным спектральным распределением плотности энергии излучения, заключенного в полости, а также то, что функция, определяющая спектральное распределение (функция Кирхгофа), зависит от температуры полости и не зависит ни от размеров полости или ее форм, ни от свойств помещенных в нее материальных тел. Так как функция Кирхгофа универсальна, т.е. одинакова для любого черного тела, то возникло предположение, что ее вид определяется какими-то положениями термодинамики и электродинамики. Однако попытки такого рода оказались несостоятельными. Из закона Д.Рэлея следовало, что спектральная плотность энергии излучения должна монотонно возрастать с увеличением частоты, но эксперимент свидетельствовал об ином: вначале спектральная плотность с увеличением частоты возрастала, а затем падала. Решение проблемы излучения черного тела требовало принципиально нового подхода. Он был найден М.Планком.

Планк в 1900 г. сформулировал постулат, согласно которому вещество может испускать энергию излучения только конечными порциями, пропорциональными частоте этого излучения (см. раздел "Возникновение атомной и ядерной физики"). Данная концепция привела к изменению традиционных положений, лежащих в основе классической физики. Существование дискретности действия указывало на взаимосвязь между локализацией объекта в пространстве и времени и его динамическим состоянием. Л. де Бройль подчеркивал, что "с точки зрения классической физики эта связь представляется совершенно необъяснимой и гораздо более непонятной по следствиям, к которым она приводит, чем связь между пространственными переменными и временем, установленная теорией относительности."¹⁴ Квантовой концепции в развитии физики было суждено сыграть огромную роль.

Следующим шагом в развитии квантовой концепции было расширение А.Эйнштейном гипотезы Планка, что позволило ему объяснить закономерности фотоэффекта, не укладывающиеся в рамки классической теории. Сущность фотоэффекта заключается в испускании веществом быстрых электронов под действием электромагнитного излучения. Энергия испускаемых электронов при этом от интенсивности поглощаемого излучения не зависит и определяется его частотой и свойствами данного вещества, но от интенсивности излучения зависит число испускаемых электронов. Дать объяснение механизму освобожденных электронов не удавалось, поскольку в соответствии с волновой теорией световая волна, падая на электрон, непрерывно передает ему энергию, причем ее количество в единицу времени должно быть пропорционально интенсивности волны, падающей на него. Эйнштейн в 1905 году высказал предположение о том, что фотоэффект свидетельствует о дискретном строении света, т.е. о том, что излучаемая электромагнитная энергия распространяется и поглощается подобно частице (названной затем фотоном). Интенсивность падающего света при этом определяется числом световых квантов, падающих на один квадратный сантиметр освещаемой плоскости в секунду. Отсюда число фотонов, которые испускаются единицей поверхности в единицу времени, должно быть пропорционально интенсивности освещения. Многократные опыты подтвердили это объяснение Эйнштейна, причем не только со светом, но и с рентгеновскими и гамма-лучами. Эффект А.Комптона, обнаруженный в 1923 году, дал новые доказательства существования фотонов - было обнаружено упругое рассеяние электромагнитного излучения малых длин волн (рентгеновского и гамма-излучения) на свободных электронах, которое сопровождается увеличением длины волны. Согласно классической теории, при таком рассеянии длина волны не должна меняться. Эффект Комптона подтвердил правильность квантовых представлений об электромагнитном излучении как о потоке фотонов - он может

¹⁴ Бройль Л. де. Революция в физике. М., 1963. С.84.

рассматриваться как упругое столкновение фотона и электрона, при котором фотон передает электрону часть своей энергии, а потому его частота уменьшается, а длина волны увеличивается.

Появились и другие подтверждения фотонной концепции. Особенно плодотворной оказалась теория атома Н.Бора (1913 г.), выявившая связь строения материи с существованием квантов и установившая, что энергия внутриатомных движений может меняться также лишь скачкообразно. Таким образом, признание дискретной природы света состоялось. Но ведь по сути своей это было возрождение отвергнутой ранее корпускулярной концепции света. Поэтому вполне естественно возникли проблемы: как совместить дискретность структуры света с волновой теорией (тем более, что волновая теория света подтверждалась целым рядом экспериментов), как совместить существование кванта света с явлением интерференции, как явления интерференции объяснить с позиции квантовой концепции? Таким образом, возникла потребность в концепции, которая увязывала бы корпускулярный и волновой аспекты излучения.

7.3.2. Принцип соответствия

Для устранения трудности, возникшей при использовании классической физики для обоснования устойчивости атомов (вспомним, что потеря энергии электроном приводит к его падению на ядро), Бор предположил, что атом в стационарном состоянии не излучает (см. предыдущий раздел). Это означало, что электромагнитная теория излучения для описания электронов, движущихся по стабильным орбитам, не годится. Но квантовая концепция атома, отказавшись от электромагнитной концепции, не могла объяснить свойства излучения. Возникла задача: попытаться установить определенное соответствие между квантовыми явлениями и уравнениями электродинамики с целью понять, почему классическая электромагнитная теория дает верное описание явлений большого масштаба. В классической теории движущийся в атоме электрон излучает непрерывно и одновременно свет разных частот. В квантовой же теории электрон, находящийся внутри атома на стационарной орбите, наоборот, не излучает - излучение кванта происходит лишь в момент перехода с одной орбиты на другую, т.е. излучение спектральных линий определенного элемента является дискретным процессом. Таким образом, налицо два совершенно различных представления. Можно ли их привести в соответствие и если да, то в какой форме?

Очевидно, что соответствие с классической картиной возможно лишь при одновременном испускании всех спектральных линий. В то же время очевидно, что с квантовой позиции излучение каждого кванта является актом индивидуальным, а поэтому для получения одновременного испускания всех спектральных линий необходимо рассматривать целый большой ансамбль атомов одинаковой природы, в котором осуществляются различные индивидуальные переходы, приводящие к испусканию различных спектральных линий конкретного элемента. В этом случае понятие интенсивности различных линий спектра необходимо представлять статистически. Для определения интенсивности индивидуального излучения кванта необходимо рассматривать ансамбль большого числа одинаковых атомов. Электромагнитная теория позволяет дать описание макроскопических явлений, а квантовая теория тех явлений, в которых важную роль играют множество квантов. Поэтому вполне вероятно, что результаты, полученные квантовой теорией, будут стремиться к классическим в области множества квантов. Согласование классической и квантовой теорий и следует искать в этой области. Для вычисления классических и квантовых частот необходимо выяснить, совпадают ли эти частоты для стационарных состояний, которые отвечают большим квантовым числам. Бор выдвинул предположение о том, что для приближенного вычисления реальной интенсивности и поляризации можно использовать классические оценки интенсивностей и поляризаций, экстраполируя на область малых квантовых чисел то соответствие, которое было установлено для больших квантовых чисел. Данный принцип соответствия нашел подтверждение: физические результаты квантовой теории при больших квантовых числах должны совпадать с результатами классической механики, а релятивистская механика при малых скоростях переходит в классическую механику. Обобщенная формулировка принципа соответствия может быть выражена как утверждение, согласно которому новая теория, которая претендует на более широкую область применимости по сравнению со старой, должна включать в себя последнюю как частный случай. Использование принципа соответствия и придание ему более точной формы способствовали созданию квантовой и волновой механики.

К концу первой половины XX века в исследованиях природы света сложились две концепции - волновая и корпускулярная, которые остались не в состоянии преодолеть разделяющий их разрыв. Возникла настоятельная потребность создать новую концепцию, в которой квантовые идеи должны лечь в ее основу, а не выступать в роли некоего "довеска". Реализация этой потребности была осуществлена созданием волновой механики и квантовой механики, которые по сути составили единую новую квантовую теорию - различие заключалось в используемых математических языках. Квантовая теория как нерелятивистская теория движения микрочастиц явилась самой глубокой и широкой физической концепцией, объясняющей свойства макроскопических тел. В качестве ее основы были положены идея квантования Планка-Эйнштейна-Бора и гипотеза о волнах материи де Бройля.

7.3.3. Волновая механика

Ее основные идеи появились в 1923-1924 гг., когда Л. де Бройлем была высказана мысль о том, что электрон должен обладать и волновыми свойствами, навеянная аналогией со светом. К этому времени представления о дискретной природе излучения и существовании фотонов уже достаточно укрепились, поэтому для полного описания свойств излучения надо было поочередно представлять его то как частицу, то как волну. А поскольку Эйнштейн уже показал, что дуализм излучения связан с существованием квантов, то естественно было поставить вопрос о возможности обнаружения подобного дуализма и в поведении электрона (и вообще материальных частиц). Гипотеза де Бройля о волнах материи получила подтверждение обнаруженным в 1927 г. явлением дифракции электронов: оказалось, что пучок электронов дает дифракционную картину. (Позже будет обнаружена дифракция и у молекул.)

Исходя из идеи де Бройля о волнах материи, Э.Шредингер в 1926 г. вывел основное уравнение механики (которую он назвал волновой), позволяющее определить возможные состояния квантовой системы и их изменение во времени. Уравнение содержало так называемую волновую функцию ψ (пси-функцию), описывающую волну (в абстрактном, конфигурационном пространстве). Шредингер дал общее правило преобразования данных классических уравнений в волновые, которые относятся к многомерному конфигурационному пространству, а не реальному трехмерному. Пси-функция определяла плотность вероятности нахождения частицы в данной точке. В рамках волновой механики атом можно было представить в виде ядра, окруженного своеобразным облаком вероятности. С помощью пси-функции определяется вероятность присутствия электрона в определенной области пространства.

7.3.4. Квантовая (матричная) механика. Принцип неопределенности

В 1926 г. В.Гейзенберг разрабатывает свой вариант квантовой теории в виде матричной механики, отталкиваясь при этом от принципа соответствия. Столкнувшись с тем, что при переходе от классической точки зрения к квантовой нужно разложить все физические величины и свести их к набору отдельных элементов, соответствующих различным возможным переходам квантового атома, он пришел к тому, чтобы каждую физическую характеристику квантовой системы представлять таблицей чисел (матрицей). При этом он сознательно руководствовался целью построить феноменологическую концепцию, чтобы исключить из нее все, что невозможно наблюдать непосредственно. В этом случае нет никакой необходимости вводить в теорию положение, скорость или траекторию электронов в атоме, поскольку мы не можем ни измерять, ни наблюдать эти характеристики. В расчеты следует вводить лишь те величины, которые связаны с реально наблюдаемыми стационарными состояниями, переходами между ними и сопровождающими их излучениями. В матрицах элементы были расположены в строки и столбцы, причем каждый из них имел два индекса, один из которых соответствовал номеру столбца, а другой - номеру строки. Диагональные элементы (т.е. элементы, индексы которых совпадают) описывают стационарное состояние, а недиагональные (элементы с разными индексами) - описывают переходы из одного стационарного состояния в другое. Величина же этих элементов связывается с величинами, характеризующими излучение при данных переходах, полученными с помощью принципа соответствия. Именно таким способом Гейзенберг строил матричную теорию, все

величины которой должны описывать лишь наблюдаемые явления. И хотя наличие в аппарате его теории матриц, изображающих координаты и импульсы электронов в атомах, оставляет сомнение в полном исключении ненаблюдаемых величин, Гейзенбергу удалось создать новую квантовую концепцию, составившую новую ступень в развитии квантовой теории, суть которой состоит в замене физических величин, имеющих место в атомной теории, матрицам - таблицам чисел. Результаты, к которым приводили методы, используемые в волновой и матричной механике, оказались одинаковыми, поэтому обе концепции и входят в единую квантовую теорию как эквивалентные. Методы матричной механики, в силу своей большей компактности часто быстрее приводят к нужным результатам. Методы волновой механики, как считается, лучше согласуются с образом мышления физиков и их интуицией. Большинство физиков при расчетах пользуется волновым методом и использует волновые функции.

Гейзенберг сформулировал принцип неопределенности, в соответствии с которым координаты и импульс не могут одновременно принимать точные значения. Для предсказания положения и скорости частицы важно иметь возможность точно измерять ее положение и скорость. При этом чем точнее измеряется положение частицы (ее координаты), тем менее точными оказываются измерения скорости.

Хотя световое излучение состоит из волн, однако в соответствии с идеей Планка, свет ведет себя как частица, ибо излучение и поглощение его осуществляется в виде квантов. Принцип неопределенности же свидетельствует о том, что частицы могут вести себя как волны - они как бы "размазаны" в пространстве, поэтому можно говорить не об их точных координатах, а лишь о вероятности их обнаружения в определенном пространстве. Таким образом, квантовая механика фиксирует корпускулярно-волновой дуализм - в одних случаях удобнее частицы считать волнами, в других, наоборот, волны частицами. Между двумя волнами-частицами можно наблюдать явление интерференции. Если гребни одной волны совпадают с впадинами другой волны, то они гасят друг друга, а если гребни и впадины одной волны совпадают с гребнями и впадинами другой волны, то они усиливают друг друга.

7.3.5. Интерпретации квантовой теории. Принцип дополнительности

Возникновение и развитие квантовой теории привело к изменению классических представлений о структуре материи, движении, причинности, пространстве, времени, характере познания и т.д., что способствовало коренному преобразованию картины мира. Для классического понимания материальной частицы было характерно резкое ее выделение из окружающей среды, обладание собственным движением и местом нахождения в пространстве. В квантовой теории частица стала представляться как функциональная часть системы, в которую она включена, не имеющая одновременно координат и импульса. В классической теории движение рассматривалось как перенос частицы, остающейся тождественно самой себе, по определенной траектории. Двойственный характер движения частицы обусловил необходимость отказа от такого представления движения. Классический (динамический) детермизм уступил место вероятностному (статистическому). Если ранее целое понималось как сумма составляющих частей, то квантовая теория выявила зависимость свойств частицы от системы, в которую она включена. Классическое понимание познавательного процесса было связано с познанием материального объекта как существующего самого по себе. Квантовая теория продемонстрировала зависимость знания об объекте от исследовательских процедур. Если классическая теория претендовала на завершенность, то квантовая теория с самого начала развевалась как незавершенная, основывающаяся на ряде гипотез, смысл которых вначале был далеко не ясен, а поэтому ее основные положения получали разное истолкование, разные интерпретации.

Разногласия выявились прежде всего по поводу физического смысла двойственности микрочастиц. Де Бройль вначале выдвинул концепцию волны-пилота, в соответствии с которой волна и частица сосуществуют, волна ведет за собой частицу. Реальным материальным образованием, сохраняющим свою устойчивость, является частица, поскольку именно она обладает энергией и импульсом. Волна, несущая частицу, управляет характером движения частицы. Амплитуда волны в каждой точке пространства определяет вероятность локализации частицы рядом с этой точкой. Шредингер проблему двойственности частицы решает по сути путем ее

снятия. Для него частица выступает как чисто волновое образование. Иначе говоря, частица есть место волны, в котором сосредоточена наибольшая энергия волны. Интерпретации де Бройля и Шредингера представляли собой по сути попытки создать наглядные модели в духе классической физики. Однако это оказалось невозможным.

Гейзенбергом была предложена интерпретация квантовой теории, исходя (как было показано ранее) из того, что физика должна пользоваться только понятиями и величинами, основанными на измерениях. Гейзенберг поэтому и отказался от наглядного представления движения электрона в атоме. Макроприборы не могут дать описание движения частицы с одновременной фиксацией импульса и координат (т.е. в классическом смысле) по причине принципиально неполной контролируемости взаимодействия прибора с частицей - в силу соотношения неопределенностей измерение импульса не дает возможности определить координаты и наоборот. Иначе говоря, по причине принципиальной неточности измерения предсказания теории могут иметь лишь вероятностный характер, причем вероятность является следствием принципиальной неполноты информации о движении частицы. Это обстоятельство привело к выводу о крушении принципа причинности в классическом смысле, предполагавшим предсказание точных значений импульса и координаты. В рамках квантовой теории, таким образом, речь идет не об ошибках наблюдения или эксперимента, а о принципиальном недостатке знаний, которые и выражаются с помощью функции вероятности.

Интерпретация квантовой теории, осуществленная Гейзенбергом, была развита Бором и получила название копенгагенской. В рамках данной интерпретации основным положением квантовой теории выступает принцип дополнительности, означающий требование применять для получения в процессе познания целостной картины изучаемого объекта взаимоисключающие классы понятий, приборов и исследовательских процедур, которые используются в своих специфических условиях и взаимозаполняют друг друга. Данный принцип напоминает соотношение неопределенностей Гейзенберга. Если речь идет об определении импульса и координаты как взаимоисключающих и взаимодополняющих исследовательских процедур, то для отождествления этих принципов есть основания. Однако смысл принципа дополнительности шире, чем соотношения неопределенностей. Для того, чтобы объяснить устойчивость атома, Бор соединил в одной модели классические и квантовые представления о движении электрона. Принцип дополнительности, таким образом, позволил классические представления дополнить квантовыми. Выявив противоположность волновых и корпускулярных свойств света и не найдя их единства, Бор склонился к мысли о двух, эквивалентных друг другу, способах описания - волновом и корпускулярном - с последующем их совмещением. Так что точнее говорить о том, что принцип дополнительности выступает развитием соотношения неопределенности, выражающих связи координаты и импульса.

Ряд ученых истолковали нарушение принципа классического детерминизма в рамках квантовой теории в пользу индетернизма. В действительности же здесь принцип детерминизма изменял свою форму. В рамках классической физики, если в начальный момент времени известны положения и состояние движения элементов системы, можно полностью предсказать ее положение в любой будущий момент времени. Все макроскопические системы были подчинены этому принципу. Даже в тех случаях, когда приходилось вводить вероятности, всегда предполагалось, что все элементарные процессы строго детернизированы и что только их большое число и беспорядочность поведения заставляет обращаться к статистическим методам. В квантовой теории ситуация принципиально иная. Для реализации принципов детернизации здесь необходимо знать координаты и импульсы, и это соотношением неопределенности запрещается. Использование вероятности здесь имеет иной смысл по сравнению со статистической механикой: если в статистической механике вероятности использовались для описания крупномасштабных явлений, то в квантовой теории вероятности, наоборот, вводятся для описания самих элементарных процессов. Все это означает, что в мире крупномасштабных тел действует динамический принцип причинности, а в микромире - вероятностный принцип причинности.

Копенгагенская интерпретация предполагает, с одной стороны, описание экспериментов в понятиях классической физики, а с другой - признание этих понятий неточно соответствующими действительному положению вещей. Именно эта противоречивость и обуславливает вероятность квантовой теории. Понятия классической физики составляют важную составную часть

естественного языка. Если мы не будем использовать этих понятий для описания проводимых экспериментов, то мы не сможем понять друг друга.

Идеалом классической физики является полная объективность знания. Но в познании мы используем приборы, а тем самым, как говорит Гейзенберг, в описание атомных процессов вводится субъективный элемент, поскольку прибор создан наблюдателем. "Мы должны помнить, что то, что мы наблюдаем, - это не сама природа, а природа, которая выступает в том виде, в каком она выявляется благодаря нашему способу постановки вопросов научная работа в физике состоит в том, чтобы ставить вопросы о природе на языке, которым мы пользуемся, и пытаться получить ответ в эксперименте, выполненном с помощью имеющихся у нас в распоряжении средств. При этом вспоминаются слова Бора о квантовой теории: если ищут гармонии в жизни, то никогда нельзя забывать, что в игре жизни мы одновременно и зрители, и участники. Понятно, что в нашем научном отношении к природе наша собственная деятельность становится важной там, где нам приходится иметь дело с областями природы, проникнуть в которые можно только благодаря важнейшим техническим средствам"¹⁵

Классические представления пространства и времени также оказалось невозможным использовать для описания атомных явлений. Вот что писал по этому поводу другой создатель квантовой теории: "существование кванта действия обнаружило совершенно непредвиденную связь между геометрией и динамикой: оказывается, что возможность локализации физических процессов в геометрическом пространстве зависит от их динамического состояния. Общая теория относительности уже научила нас рассматривать локальные свойства пространства-времени в зависимости от распределения вещества во Вселенной. Однако существование квантов требует гораздо более глубокого преобразования и больше не позволяет нам представлять движение физического объекта вдоль определенной линии в пространстве-времени (мировой линии). Теперь нельзя определить состояние движения, исходя из кривой, изображающей последовательные положения объекта в пространстве с течением времени. Теперь нужно рассматривать динамическое состояние не как следствие пространственно-временной локализации, а как независимый и дополнительный аспект физической реальности"¹⁶

Дискуссии по проблеме интерпретации квантовой теории обнажили вопрос о самом статусе квантовой теории - является ли она полной теорией движения микрочастицы. Впервые вопрос таким образом был сформулирован Эйнштейном. Его позиция получила выражение в концепции скрытых параметров. Эйнштейн исходил из понимания квантовой теории как статистической теории, которая описывает закономерности, относящиеся к поведению не отдельной частицы, а их ансамбля. Каждая частица всегда строго локализована, одновременно обладает определенными значениями импульса и координаты. Соотношение неопределенностей отражает не реальное устройство действительности на уровне микропроцессов, а неполноту квантовой теории - просто на ее уровне мы не имеем возможности одновременно измерять импульс и координату, хотя они в действительности существуют, но как скрытые параметры (скрытые в рамках квантовой теории). Описание состояния частицы с помощью волновой функции Эйнштейн считал неполным, а потому и квантовую теорию представлял в виде неполной теории движения микрочастицы.

Бор в данной дискуссии занял противоположную позицию, исходящую из признания объективной неопределенности динамических параметров микрочастицы как причины статистического характера квантовой теории. По его мнению, отрицание Эйнштейном существования объективно неопределенных величин оставляет необъясненным присущие микрочастице волновые черты. Возврат к классическим представлениям движения микрочастицы Бор считал невозможным.

В 50-х гг. XX века Д.Бом вернулся к концепции волны-пилота де Бройля, представив пси-волну в виде реального поля, связанного с частицей. Сторонники копенгагенской интерпретации квантовой теории и даже часть ее противников позицию Бома не поддержали, однако она способствовала более углубленной проработке концепции де Бройля: частица стала рассматриваться в виде особого образования, возникающего и движущегося в пси-поле, но сохраняющего свою индивидуальность.

¹⁵ Гейзенберг В. Физика и философия. М., 1963. С. 36-37.

¹⁶ Бройль де Л. Революция в физике. М., 1963. С. 187-188.

Работы П.Вижье, Л.Яноши, разрабатывавших данную концепцию, были оценены многими физиками как слишком "классическими".

В отечественной философской литературе советского периода копенгагенская интерпретация квантовой теории была подвергнута критике за "приверженность к позитивистским установкам" в трактовке процесса познания. Однако рядом авторов отстаивалась справедливость копенгагенской интерпретации квантовой теории.¹⁷ Смена классического идеала научного познания неклассическим сопровождалась пониманием того, что наблюдатель, пытаясь построить картину объекта, не может отвлечься от процедуры измерения, т.е. исследователь оказывается не в состоянии измерять параметры изучаемого объекта такими, какими они были до процедуры измерения. В.Гейзенберг, Э.Шредингер и П.Дирак положили принцип неопределенности в основу квантовой теории, в рамках которой частицы уже не имели определенных и не зависящих друг от друга импульса и координат. Квантовая теория, таким образом, внесла в науку элемент непредсказуемости, случайности. И хотя Эйнштейн не смог согласиться с этим, квантовая механика согласовывалась с экспериментом, а потому стала основой многих областей знания.

7.3.6. Квантовая статистика

Одновременно с развитием волновой и квантовой механики развивалась другая составная часть квантовой теории - квантовая статистика или статистическая физика квантовых систем, состоящих из большого числа частиц. На основе классических законов движения отдельных частиц была создана теория поведения их совокупности - классическая статистика. Аналогично этому на основе квантовых законов движения частиц была создана квантовая статистика, описывающая поведение макрообъектов в случаях когда законы классической механики не применимы для описания движения составляющих их микрочастиц - в данном случае квантовые свойства проявляются в свойствах макрообъектов. Важно иметь в виду, что под системой в данном случае понимаются лишь взаимодействующие друг с другом частицы. Квантовая система при этом не может рассматриваться как совокупность частиц, сохраняющих свою индивидуальность. Иными словами, квантовая статистика требует отказа от представления различимости частиц - это получило название принципа тождественности. В атомной физике две частицы одной природы считались тождественными. Однако эта тождественность не признавалась абсолютной. Так, две частицы одной природы можно было различать хотя бы мысленно.

В квантовой статистике возможность различить две частицы одинаковой природы полностью отсутствует. Квантовая статистика исходит из того, что два состояния системы, которые отличаются друг от друга лишь перестановкой двух частиц одинаковой природы, тождественны и неразличимы. Таким образом, основное положение квантовой статистики - принцип тождественности одинаковых частиц, входящих в квантовую систему. Этим квантовые системы отличаются от классических систем.

Во взаимодействии микрочасти важная роль принадлежит спину - собственному моменту количества движения микрочастицы. (В 1925 г. Д.Уленбеком и С.Гаудсмитом впервые было открыто существование спина у электрона). Спин d электронов, протонов, нейтронов, нейтрино и др. частиц выражается полуцелой величиной, у фотонов и пи-мезонов - целочисленной величиной (1 или 0). В зависимости от спина микрочастица подчиняется одному из двух разных типов статистики. Системы тождественных частиц с целым спином (бозоны) подчиняются квантовой статистике Бозе-Эйнштейна, характерной особенностью которой является то, что в каждом квантовом состоянии может находиться произвольное число частиц. Данный тип статистики был предложен в 1924 г. Ш.Бозе и затем усовершенствован Эйнштейном). В 1925 г. для частиц с полуцелым спином (фермионов) Э.Ферми и П.Дирак (независимо друг от друга) предложили другой тип квантовой статистики, получивший имя Ферми-Дирака. Характерной особенностью этого типа статистики является то, что в каждом квантовом состоянии может находиться произвольное число частиц. Это требование называется принципом запрета В.Паули, который был открыт в 1925 г. Статистика первого типа подтверждается при исследовании таких объектов, как абсолютно черное тело, второго типа - электронный газ в металлах, нуклоны в атомных ядрах и т.д.

¹⁷ См., напр.: Алексеев И.С. Развитие представлений о структуре атома. Философский очерк. Новосибирск, 1968.

Принцип Паули позволил объяснить закономерности заполнения электронами оболочек в многоэлектронных атомах, дать обоснование периодической системе элементов Менделеева. Этот принцип, выражает специфическое свойство частиц, которые ему подчиняются. И сейчас трудно понять, почему две тождественные частицы взаимно запрещают друг другу занимать одно и то же состояние. Подобного типа взаимодействия в классической механике не существует. Какова его физическая природа, каковы физические источники запрета - проблема, ждущая разрешения. Сегодня ясно одно: физическая интерпретация принципа запрета в рамках классической физики невозможна.

Важным выводом квантовой статистики является положение о том, что частица, входящая в какую-либо систему, не тождественна такой же частице, но входящей в систему другого типа или свободную. Отсюда следует важность задачи выявления специфики материального носителя определенного свойства систем.

7.3.7. Квантовая теория поля

Квантовая теория поля представляет собой распространение квантовых принципов на описание физических полей в их взаимодействиях и взаимопревращениях. Квантовая механика имеет дело с описанием взаимодействий сравнительно малой энергии, при которых число взаимодействующих частиц сохраняется. При больших энергиях взаимодействия простейших частиц (электронов, протонов и т.д.) происходит их взаимопревращение, т.е. одни частицы исчезают, другие рождаются, причем число их меняется. Большинство элементарных частиц нестабильно, спонтанно распадается до тех пор, пока не образуются стабильные частицы - протоны, электроны, фотоны и нейтроны. При столкновениях элементарных частиц, если энергия взаимодействующих частиц достаточно велика, происходит множественное рождение частиц различного спектра. Поскольку квантовая теория поля предназначена для описания процессов при высоких энергиях, поэтому должна удовлетворять требованиям теории относительности.

Современная квантовая теория поля включает три типа взаимодействия элементарных частиц: слабые взаимодействия, обуславливающие главным образом распад неустойчивых частиц, сильные и электромагнитные, ответственные за превращение частиц при их столкновении.

Квантовая теория поля, описывающая превращение элементарных частиц, в отличие от квантовой механики, описывающей их движение, не является последовательной и завершенной, она полна трудностей и противоречий. Наиболее радикальным способом их преодоления считается создание единой теории поля, в основу которой должен быть положен единый закон взаимодействия первичной материи - из общего уравнения должен выводиться спектр масс и спинов всех элементарных частиц, а также значения зарядов частиц. Таким образом, можно сказать, что квантовая теория поля ставит задачу выработки более глубокого представления об элементарной частице, возникающей за счет поля системы других элементарных частиц.

Взаимодействие электромагнитного поля с заряженными частицами (главным образом электронами, позитронами, мюонами) изучается квантовой электродинамикой, в основе которой лежит представление о дискретности электромагнитного излучения. Электромагнитное поле состоит из фотонов, обладающих корпускулярно-волновыми свойствами. Взаимодействие электромагнитного излучения с заряженными частицами квантовая электродинамика рассматривает как поглощение и испускание частицами фотонов. Частица может испустить фотоны, а затем поглотить их.

Итак, отход квантовой физики от классической заключается в отказе от того, чтобы описывать индивидуальные события, происходящие в пространстве и времени, и использовании статистического метода с его волнами вероятности. Цель классической физики заключается в описании объектов в пространстве и времени и в формировании законов, которые управляют изменением этих объектов во времени. Квантовая физика, имеющая дело с радиоактивным распадом, дифракцией, испусканием спектральных линий и тому подобными явлениями, не может удовлетвориться классическим подходом. Суждение типа "такой-то объект имеет такое-то свойство", характерное для классической механики, в квантовой физике заменяется суждением типа

"такой-то объект имеет такое-то свойство с такой-то степенью вероятности". Таким образом, в квантовой физике имеют место законы, управляющие изменениями вероятности во времени, в классической же физике мы имеем дело с законами, управляющими изменениями индивидуального объекта во времени. Разные реальности подчиняются различным по характеру законам.

Квантовая физика в развитии физических идей и вообще стиля мышления занимает особое место. К числу величайших созданий человеческого ума относится, несомненно и теория относительности - специальная и общая, представляющая собой новую систему идей, объединившую механику, электродинамику и теорию тяготения и давшую новое понимание пространства и времени. Но это была теория, которая в определенном смысле была завершением и синтезом физики XIX века, т.е. она не означала полного разрыва с классическими теориями. Квантовая же теория порывала с классическими традициями, она создала новый язык и новый стиль мышления, позволяющий проникать в микромир с его дискретными энергетическими состояниями и дать его описание с помощью введения характеристик, отсутствовавших в классической физике, что в конечном счете позволило понять сущность атомных процессов. Но вместе с тем квантовая теория внесла в науку элемент непредсказуемости, случайности, чем она отличалась от классической науки.

7.4. Концепции физики атомных и ядерных процессов

7.4.1. Модели атома

Решающим моментом в развитии теории строения атома было открытие электрона. Наличие в электрически нейтральном атоме отрицательно заряженной частицы побуждало предполагать наличие частицы с положительным зарядом. Модель Д.Томсона, не будучи в состоянии объяснить характер атомных спектров, излучаемых атомами, уступила место планетарной модели Э.Резерфорда. Исследуя рассеяние атомами вещества альфа-частиц, излучаемых радиоактивными веществами, он открыл атомное ядро и построил планетарную модель атома. Оказалось, что атом состоит не из положительно заряженного облака, в котором (подобно изюму в булке) находятся электроны, как это предполагал Д.Томсон, а из электрона и ядра размером около 10^{-13} см., в котором сосредоточена почти вся масса атома. Атом подобен Солнечной системе: в центре него находится тяжелое ядро, вокруг него вращаются электроны. Однако, согласно электродинамике Максвелла, такой атом не может быть устойчивым: двигаясь по круговым (или эллиптическим) орбитам, электрон испытывает ускорение, а поэтому он должен излучать электромагнитные волны, несущие энергию. Потеря энергии приведет электрон к падению на ядро. Таким образом, подобный атом не может быть устойчивым, а потому в реальности не может существовать. Таким образом, классическая физика не могла найти объяснения устойчивости атомов.

Разработка следующей модели атома принадлежит Н.Бору. Взяв за основу модель Резерфорда, он использовал и идеи квантовой теории. Бор выдвинул предположение, согласно которому в атомах существуют особые стационарные состояния, в которых электроны не излучают - излучение происходит лишь при переходе из одного стационарного состояния в другое.

Внутреннее строение атома изучать непосредственно невозможно, поскольку микроскопические размеры недоступны прямому восприятию, поэтому о структуре атома можно судить по ее косвенным проявлениям макроскопического масштаба. Таким проявлением является излучение атомов под воздействием нагрева или внешнего электрического поля. Изучение спектров излучения позволяет получить данные о внутренней структуре атома - для каждого атома характерны особенности спектра. Классическая физика не могла объяснить законы, которым подчинялись атомные спектры. Модель Бора выявила истинное значение спектральных законов и позволила установить, как эти законы отражают квантовый характер внутренней структуры атома - устойчивость структуры атома оказалась неразрывно связанной с существованием квантов. В модели Бора каждый атом обладает некоторой последовательностью квантовых (стационарных) состояний. Каждый вид атома имеет свою последовательность квантовых значений энергии, соответствующих различным возможным стационарным состояниям. Вывод о том, что в устойчивом состоянии атом не должен излучать, не соответствовал данным классической

электродинамики, согласно которым электроны, движущиеся с ускорением, должны были непрерывно излучать электромагнитные волны. Бор и предположил, что каждая спектральная линия соответствует мгновенному переходу атома из одного квантового состояния в другое, которое характеризуется меньшим значением энергии. Избыток энергии при этом уносится в виде отдельных квантов (фотонов).

Модель атома Бора показала свою плодотворность в применении к атому водорода, позволив понять структуру оптического спектра. Но попытка применить данную модель к более сложным атомам, имеющим большее число электронов, выявила ограниченность данной модели - результаты ее применения лишь весьма приблизительно соответствовали данным эксперимента. Кроме того, модель атома Бора располагала методом квантования действия лишь для одномерного движения (предложенного еще Планком). Поэтому необходимо было найти методы квантования для случаев многомерного движения. Этот метод был найден в 1916 г. Ч.Вильсоном и А.Зоммерфельдом (почти одновременно друг с другом) и использован для решения тех задач, которые не могли быть решены с помощью модели атома Бора. Таким путем была создана концепция тонкой структуры линии спектра. Излучение линий спектра водорода с помощью спектрографов с высокой разрешающей способностью позволило выявить тонкую структуру спектра - оказалось, что спектральные линии сами состоят из ряда близко расположенных друг к другу линий. Зоммерфельд высказал предположение о связи тонкой структуры спектральных линий с релятивистскими эффектами и предположил вместо уравнений ньютоновской механики использовать уравнения релятивистской механики. Предположения Зоммерфельда дали результаты, согласуемые с экспериментальными данными. Вместе с тем полученная Зоммерфельдом картина спектральных линий оказалась значительно беднее реальной, поэтому его модель не могла дать достаточно полные объяснения тонкой структуры спектральных линий.

Для модели атома Бора основополагающим является утверждение о том, что электроны внутри атома могут находиться лишь в стационарных состояниях, которые соответствуют определенным квантовым значениям энергии. Следовательно, существуют определенные энергетические уровни, на которых находятся электроны. Как известно, атом каждого последующего элемента имеет на один электрон больше, чем предыдущего. Значит, по мере возрастания атомного номера усложняется структура электронных оболочек атомов. На основе знания этой структуры можно устанавливать физические и химические свойства элементов. В периодической системе Д.И.Менделеева элементы расположены в порядке возрастания атомного веса, причем в расположенных таким образом элементах обнаруживается определенная периодичность в химических свойствах этих элементов. Физическая природа этой периодичности оказывается весьма сложной. Теория атома должна иметь возможность объяснить эту природу. Для этого модель Бора необходимо было дополнить требованием, чтобы на одном энергетическом уровне могло находиться лишь ограниченное число электронов (явление насыщения энергетического уровня электронами). Если бы данного насыщения не существовало, то в нормальном (стабильном) состоянии атома все электроны атома были бы на низшем уровне, который соответствует наименьшей энергии. Но вследствие насыщения уровней подобная ситуация оказывается невозможной.

Двигаясь по периодической системе элементов, можно видеть, как постепенно заполняются друг за другом низшие энергетические уровни - как только низший уровень оказывается заполненным, настает очередь следующего уровня. Тонкая структура спектральных линий при этом свидетельствует о расщеплении энергетических уровней электронов внутри атома на ряд подуровней. Заполняющие эти уровни подуровни электроны (обладающие почти одинаковой энергией) образуют оболочку. При заполнении друг за другом последующих уровней, таким образом, образуются различные оболочки. Изменяемая при движении по таблице Менделеева периодичность свойств объясняется характером заполнения оболочек электронами. Таким образом, исследование спектров играет огромную роль в изучении внутренней структуры атома.

Модель Бора, позволяя определить частоту излучения, не давала возможности определять интенсивность излучения и его поляризацию, что совершенно необходимо для уточнения природы излучения, которое возникает при переходах электронов внутри атома из одного стационарного состояния в другое. Бор этот недостаток пытался устранить с помощью принципа соответствия. Кроме того, модель Бора была непоследовательной: отвергая ряд положений классической механики и электродинамики, она использовала как классические понятия и формулы, так и

квантовые. Бор понимал ограниченный характер собственной модели атома. Принцип соответствия указывал на одно из новых направлений. Однако впоследствии, с созданием квантовой механики, было выяснено, что при описании строения атома классические представления не могут иметь места.

7.4.2. Структура атомного ядра

Исследование структуры атома поставило вопрос о том, что представляет собой ядро, какова его структура. В ядре сосредоточена почти вся масса атома (масса электронов, входящих в атом, пренебрежительно мала по сравнению с массой ядра), оно имеет положительный заряд, эквивалентный суммарному заряду входящих в него электронов. Заряд ядра любого элемента равен его порядковому номеру в периодической системе элементов. Проблема структуры атомного ядра получила разрешение с открытием в 1932 году Д.Чедвиком нейтрона - третьей элементарной частицы после электрона и протона. Масса нейтрона близка к массе протона. Электрический заряд у протона отсутствует. Д.Д.Иваненко сформулировал протон-нейтронную концепцию строения атомного ядра, которую затем разработал В.Гейзенберг. Ядра, состоящие из протонов и нейтронов получили название нуклонов. В том же 1932 году в космических лучах К.Андерсоном был открыт позитрон - положительно заряженный электрон, обеспечивший симметрию между положительным и отрицательным зарядами во взаимоотношениях частиц. Его существование было предсказано П.Дираком, исходящим из того, что положительные заряды во Вселенной представляют собой своего рода недостающие части мирового отрицательного заряда - позитрон есть "дырка" в распределении электронов с отрицательной энергией. Столкновение электрона и позитрона приводит к аннигиляции - их превращению в два фотона, испускаемые в противоположных направлениях.

7.4.3. Процессы ядерного превращения

Следующий вопрос, который встал перед физиками после выявления структуры атомного ядра, касался сил, скрепляющих нуклоны в ядре. В связи с его расширением выяснилось, что взаимоотношения между нейтроном и протоном не столь просты, как казалось вначале. Оказалось, что точнее говорить о структуре атомного ядра, состоящей из протонов, нейтронов и мезонов. Мезоны, существование которых было в 1935 году предсказано Г.Юкавой и открыто Ч.Андерсоном и С.Неддермейером, и оказались силами притяжения, которые по величине превосходят электрические силы, действующие между одноименно заряженными протонами. Ядерные силы - это вид основных физических сил, действующих в природе, наряду с гравитационными и электромагнитными.

Из всех названных частиц нейтрон оказался наиболее пригодным для осуществления процесса ядерного превращения, поскольку ввиду отсутствия у него заряда он способен глубже проникнуть в вещество, входить в положительно заряженные ядра атомов, которые отталкивают положительно заряженные протоны и альфа-частицы. Благодаря этому в краткий срок было изучено действие нейтронов на различные ядра, что привело к открытию искусственной радиоактивности. Решающее достижение в этой области принадлежит Ф.Жолио Кюри и И.Кюри, установившим, что почти все подвергнутые бомбардировке атомы становятся радиоактивными. Это означало, что естественная радиоактивность является лишь остаточной активностью атомов, которые еще не успели достичь устойчивых состояний. Знание атомных превращений могло помочь объяснить, каким образом возникли элементы.

Начавшееся с 30-х гг. XX века создание ускорителей дало возможность повысить эффективность исследований в этой области. Х.А.Бете и Г.А.Гамов способствовали установлению вероятных циклов термоядерных реакций, являющихся источниками внутризвездной энергии. Стало ясно, что источником большей части энергии Вселенной являются ядерные процессы. Встала задача выяснения механизма высвобождения этой энергии. Э.Ферми, подвергнув бомбардировке нейтронами тяжелые элементы, обнаружил огромную эффективность медленных нейтронов. О.Ган и Ф.Штрассман открыли деление ядер урана под действием нейтронов. О.Ган и Л.Мейтнер

исследовали продукты распада облученного урана и отыскиали среди них элементы до атомного номера 96. Деление ядер стало установленным фактом.

Тяжелые ядра могут иметь больше нейтронов по отношению к числу протонов по сравнению с легкими ядрами. При расщеплении атома урана освобождается несколько нейтронов. Так открылась возможность цепной реакции. Если в ходе ядерного процесса можно было добиться получения больше чем одного эффективного нейтрона на каждый первоначально затраченный нейтрон, реакция убыстрялась. И если этим процессом не управлять, а дать возможность развиваться, то он приводил к взрыву. В случае же управления мы имеем дело с ядерным реактором. Все это привело к созданию Ферми ядерного реактора, осуществлению цепной реакции деления ядер, атомного и термоядерного оружия, атомных электростанций. (О перипетиях всего этого можно познакомиться в специальной литературе). В истории человечества началась новая атомная эра, открытая атомной физикой.

Считается, что реализация концепций атомной ядерной физики стала примером самого быстрого практического применения науки. Оценивая это, Д.Бернал писал: "Если бы это открытие было совершено в более спокойные времена XIX века, оно разрабатывалось бы в конечном счете для практического применения и, быть может, лет через 50 или около того нашло бы свое воплощение в новых машинах для выработки энергии. Отсутствие материальной заинтересованности и тот факт, что капиталы были вложены в уже существовавшие источники энергии, могли бы, однако, еще на бесконечно долгое время задержать развитие производства атомной энергии. Но, как известно, открытие ядерного деления произошло в канун новой мировой войны. По счастью для правительства Англии и Америки, некоторые из тех, кто был изгнан из своей родины нацистами и фашистами, отдавали себе ясный отчет в военных возможностях сделанного открытия. Однако более удивительным было, быть может, то обстоятельство, что им удалось убедить военные и гражданские власти в необходимости крайне энергичной разработки проекта, главным образом потому, что если бы они этого не сделали, то противник, несомненно, первым создал бы свою бомбу".¹⁸

Так или иначе, появление подобных научных концепций не только определяет характер современной эпохи, но и будущее общества. Появление концепций, неумение распорядиться которыми может грозить уничтожением человечества, активно влияет на характер и формы и формы социального устройства. Человечество, высвободив колоссальные силы, теперь обречено постоянно думать над тем, как распорядиться ими. Эта проблема человечества в практически обозримое время - вечная. Поэтому человечество должно научиться жить с этой проблемой.

7.5. Концепции физики элементарных частиц

7.5.1. Современный статус понятия Элементарной частицы

Представление о том, что все во Вселенной делится на вещество и силы, бытующие и в настоящее время, возникло давно. Еще Аристотель (см. раздел "Аристотельская физика") полагал, что на вещество, состоящее из земли, воздуха, огня и воды, действуют две силы: сила тяжести и сила легкости. Первая влечет землю и воду вниз, вторая поднимает огонь и воздух вверх. Аристотелю вещество представлялось непрерывным, а Демокриту - зернистым, состоящим из атомов. Спор между сторонниками данных концепций дошел до XX века. В его разрешении важный вклад принадлежит Эйнштейну, который в 1905 г. (еще до публикации статьи о специальной теории относительности) высказал предположение, что броуновское движение (нерегулярное, хаотическое движение мельчайших частичек, взвешенных в воде) можно объяснить ударами атомов жидкости об эти частички. Как было показано ранее, первая попытка доказать структурированность атома предпринял Дж.Томсон. В 1911 г. Э.Резерфорд доказал, что атом состоит из положительно заряженного ядра и вращающихся вокруг него, отрицательно заряженных электронов. В 1932 г. Дж.Чэдвик обнаруживает, что ядро кроме положительного протона содержит не заряженный нейтрон с массой почти равной массе протона. В 1969 г. эксперименты М.Гелл-

¹⁸ Бернал Дж. Наука в истории общества. М., 1956. С. 414-415

Мана по взаимодействию движущихся с большими скоростями протонов и электронов показывают, что протоны состоят из Кварков. Таким образом, было установлено, что ни атомы, ни протоны, ни нейтроны не являются неделимыми. Перед физиками и встал вопрос: что же считать элементарными частицами? Может быть при переходе к еще большим энергиям и эти элементарные частицы окажутся делимыми?

Таким образом, понятие элементарных частиц в настоящее время утратило свой первоначальный смысл как частиц далее неразложимых, поскольку многие из частиц, считавшихся элементарными, имеют сложную структуру (например, протоны и нейтроны). Но осталась сама идея о существовании элементарных частиц. Термин "элементарные частицы" сейчас употребляется в менее строгом значении, а именно для названия большой группы мельчайших частиц материи, которые не являются атомами или атомными ядрами (за исключением протона - простейшего ядра атома водорода). Их число велико (с нестабильными частицами насчитывается более 350) и продолжает расти.

В процессе исследования выявленных элементарных частиц устанавливались их свойства. У электронов и протонов были выявлены масса, размеры, электрический заряд, механический и магнитный момент. В рамках теории Бора были установлены механический и магнитный моменты электрона и протона, являвшихся чисто квантовыми свойствами. Было установлено, что спин - собственный момент количества микрочастицы, имеющий квантовую природу и измеряемый в единицах Планка, - может быть целым (0,1,2...) или полуцелым ($1/2$, $3/2$...).

Исследование бета-распада позволило открыть новое свойство элементарных частиц - их превращаемости друг в друга: при бета-распаде из ядра вылетает электрон, который рождается в результате превращения нейтрона в протон и электрон. Было обнаружено при этом, что электроны, вылетающие из ядра при бета-распаде, обладают различными скоростями и энергией, а оставшиеся после бета-распада ядра обладают примерно одинаковой энергией. Измерения установили, что в случае вылета медленных электронов баланс энергии при бета-распаде не сохраняется, что казалось нарушением закона сохранения в микропроцессах. Идея существования нейтрино, рождающегося при бета-распаде и уносящего недостающую энергию, сохранило справедливость закона сохранения энергии и в микромире. Открытие превращения нейтрона в протон и нейтрон положило начало открытиям других форм превращения элементарных частиц друг в друга.

Следующим выявленным свойством элементарных частиц была способность определенных частиц взаимодействовать друг с другом. В классической физике электрическое взаимодействие между заряженными частицами осуществляется с помощью электромагнитного поля. С точки зрения квантовой физики взаимодействие частиц есть процесс обмена фотонами, в котором фотоны пропадают, отдавая свою энергию заряженным частицам. По аналогии с образованием фотонов появилась идея о том, что подобным образом могут рождаться и электроны. Поиски сил, связывающих в ядре протоны и нейтроны, побудили И.Е.Тамма и Д.Д.Иваненко предположить, что ядерные силы есть результат обмена электронами между нуклонами. Эксперимент эту гипотезу не подтвердил. Юкава показал, что ядерные силы могут быть объяснены как результат обмена между нуклонами частицами с массой больше массы электрона и меньшей массы нуклонов (частицы получили название мезонов-промежуточных частиц), которые и были обнаружены в космических лучах. Переносчиками ядерных сил оказались положительно и отрицательно заряженные мезоны с массой, равной 273 массам электрона, получившие название π -мезонов или пионов. У нейтральных мезонов масса оказалась равной 264 массам электрона.

Дирак высказал мысль о существовании античастицы для электрона, которая была открыта и названа позитроном. Оказалось, что свойством элементарных частиц является существование античастиц, имеющих противоположный заряд и противоположно направленные механический и магнитный моменты. При столкновении частицы и античастицы происходит аннигиляция, т.е. их уничтожение с возникновением других частиц. Так, столкновение электрона и позитрона дает два фотона, протона и антипротона - четыре мезона и т.д.

У частиц было установлено также свойство спонтанного превращения. Элементарные частицы имеют "время жизни" - среднее время своего существования. В настоящее время к числу стабильных частиц с бесконечным временем существования относят электроны и позитроны. К стабильным относят также протоны и антипротоны (хотя высказываются соображения о конечном сроке жизни протонов), а также нейтрино, антинейтрино, фотоны. К настоящему времени назрела

необходимость в классификации элементарных частиц (подобной периодической системе Д.И.Менделеева). Эта работа далеко не завершена.

7.5.2. Современные представления о характере фундаментальных физических взаимодействий и типах элементарных частиц

В физике под взаимодействием понимается воздействие тел или частиц друг на друга, приводящее к изменению состояния их движения. В механике Ньютона взаимодействия характеризуются силой, более общей характеристикой взаимодействия является потенциальная энергия. В трактовке взаимодействия исторически сменяли друг друга разные концепции. Первой возникла концепция дальнего действия, сущность которой заключается в представлении, что взаимодействие между телами может осуществляться непосредственно через пустое пространство, которое участвует в передаче взаимодействия не принимает, причем передача взаимодействия происходит мгновенно. После открытия электромагнитного поля возникла концепция ближнего действия. Было установлено, что взаимодействие электрически заряженных частиц осуществляется не мгновенно, а с некоторой конечной скоростью, равной скорости света. Электромагнитное поле выступает посредником, осуществляющим передачу взаимодействия между электрически заряженными частицами. Данная концепция была перенесена и на другие взаимодействия. В рамках данной концепции взаимодействия между телами осуществляется посредством разнообразных полей. В рамках квантовой теории трактовке взаимодействия был придан квантовый характер. Поскольку каждое тело состоит из квантов, то, например, электромагнитное взаимодействие осуществляется путем обмена фотонами и т.п.

Существует четыре разновидности взаимодействия (сил), которые физики надеются представить как проявление одной и той же силы (взаимодействия). Оказалось, что классификацию элементарных частиц удобнее всего осуществлять по типам их взаимодействий.

Все известные частицы принято разделять на две группы, в одну из которых входят частицы со спином $1/2$ (из них состоит вещество Вселенной), а в другую - частицы со спином 0 , 1 и 2 (создающие силы, действующие между частицами вещества). Первые подчиняются принципу запрета Паули, (гласящему, что две одинаковые частицы не могут существовать в одном и том же состоянии). Если бы не действовал принцип Паули, кварки не смогли бы объединиться в протоны и нейтроны, которые, в свою очередь, вместе с электронами не смогли бы объединиться в атомы. В 1928 г. П.Дирак разработал теорию, описывающую эти частицы, которая согласовывалась и с квантовой механикой, и со специальной теорией относительности. Теория объяснила, почему электрон со спином $1/2$ при одном полном обороте не возвращается в прежнее положение и возвращается в него лишь при двукратном обороте. Эта теория предсказывала также существование позитрона (антиэлектрона). Оказалось, что каждой частице соответствует античастица, которые при столкновении аннигилируют (уничтожаются).

Силы между частицами вещества переносятся частицами с целочисленным спином, равным 0 , 1 или 2 . Эти частицы-переносчики не подчиняются принципу запрета Паули. Это значит, что ограничения для числа обмениваемых частиц отсутствуют, поскольку возникающая сила взаимодействия может быть большой:

Первая из них - гравитационная сила, имеющая универсальный характер. Любая частица находится под действием гравитационной силы. Ее величина зависит от массы или энергии частицы. Гравитационная сила действует на больших расстояниях и всегда выступает как сила притяжения. Гравитационные силы по сравнению с другими очень слабые. Считается, что гравитационная сила, действующая между двумя частицами, переносится частицей со спином 2 (ее называют гравитон). Гравитон собственной массой не обладает, поэтому переносимая им сила является дальнедействующей. Считается, что гравитоны распространяются в виде гравитационных волн, которые пока зафиксировать не удастся вследствие их слабой силы.

Вторая сила - электромагнитная, действующая между электрически заряженными частицами. Электромагнитные взаимодействия значительно сильнее гравитационных. Существуют два вида электрического заряда - положительный и отрицательный. Между двумя положительными или отрицательными зарядами действует сила отталкивания, между положительным и отрицательным - сила притяжения. В больших телах электромагнитная сила слаба, поскольку в них положительных

и отрицательных зарядов почти одинаково и они компенсируют друг друга. В малых масштабах ситуация иная - в атомах и молекулах доминируют электромагнитные силы.

Третий тип - слабое взаимодействие, отвечающее за радиоактивность и существующее между всеми частицами вещества со спином $1/2$ - в нем не участвуют частицы со спином 0, 1, 2 (фотоны и гравитоны). В 1967 г. А.Салам и С.Вайнберг разработали теорию, объединяющую слабое взаимодействие и электромагнитное (подобно объединению Максвеллом электричества и магнетизма). (Несколько позже к ним присоединился Ш.Глэшоу.) Теория предсказывала, что частицы, совершенно различные при низких энергиях, при высоких энергиях оказываются одной и той же частицей, но находящейся в разных состояниях.

Четвертый тип - сильное ядерное взаимодействие, удерживающее кварки внутри протона и нейтрона, а протоны и нейтроны - внутри атомного ядра. Переносчиком этого типа взаимодействия считается частица со спином 1 - глюон. Глюоны взаимодействуют лишь с глюонами и кварками.

Существует идея объединить электромагнитное, слабое и сильное взаимодействия в теорию великого объединения (на самом деле она не столь великая, поскольку не учитывает гравитацию, но создание такой теории явилось бы шагом на пути к созданию полной теории объединения, охватывающей все четыре типа взаимодействия - подробнее о концепции объединения физики см. раздел 6). Идея великого объединения заключается в следующем. Известно, что сильные взаимодействия при высоких энергиях становятся слабее, чем при низких. Электромагнитные же и слабые силы при высоких энергиях растут. При каком-то очень большом значении энергии эти три силы могли бы сравняться между собой и стать разновидностями одной силы - при этом частицы со спином $1/2$ (кварки и электроны) перестали бы различаться. Препятствие на этом пути заключается в том, что для ускорения частиц до такой энергии понадобился бы ускоритель размером с Солнечную систему.¹⁹ Так что возможности экспериментально проверить теорию великого объединения нет. Однако возможна проверка низкоэнергетических следствий. Одно из таких следствий - возможность распада протонов, составляющих большую часть массы обычного вещества на более легкие частицы (антиэлектроны).

Такого рода эксперименты, позволяющие дать определенные сведения о распаде протона, затруднены. Однако, как полагает С.Хокинг,²⁰ не исключено, что само наше существование есть следствие обратного процесса - процесса образования протонов или кварков на самой начальной стадии, когда кварков не больше, чем антикварков. Он полагает, что такая картина начала Вселенной выглядит наиболее естественной. Ведь земное вещество в основном состоит из протонов и нейтронов, состоящих в свою очередь из кварков. В нашей Галактике тоже нет ни антипротонов, ни антинейтронов (за исключением тех случаев, когда они рождаются в столкновениях частицы и античастицы при высоких энергиях) - если бы наша Галактика имела участки антивещества, то на границе раздела вещества и антивещества наблюдалось бы излучение высокой энергии вследствие аннигиляции. В пределах одной Галактики смеси вещества и антивеществ быть не может. Поэтому более вероятно предположение о том, что все галактики состоят из кварков, а не из антикварков.

Но почему при образовании Вселенной кварков стало больше, чем антикварков? Ранее считалось, что законы физики одинаковы для частиц и античастиц, т.е. все процессы в природе не меняются (симметричны) при одновременном проведении трех преобразований: переходе от частиц к античастицам (зарядовое сопряжение или преобразование симметрии C), зеркальном отражении (пространственная инверсия или преобразование симметрии P) и замене времени t на $-t$ (обращение времени или преобразование симметрии T).

7.5.3. Связь принципов симметрии физической системы и законов сохранения (теорема Э.Нетер)

Считается, что физические теории по начальному состоянию объекта определяют его поведение в будущем. Принципы симметрии (инвариантности) носят общий характер, т.е. им подчиняются все физические теории. Симметрия физических законов относительно некоторого преобразования означает, что при осуществлении данного преобразования эти законы не меняются. Именно поэтому принципы симметрии оказываются возможным устанавливать на основании известных

¹⁹ Хокинг С. От большого взрыва до черных дыр. Краткая история времени. М., 1990. С.70.

²⁰ Хокинг С. Там же. С.71-72

физических законов. В 1918 г. Э.Нетер была сформулирована теорема, устанавливающая связь между свойствами симметрии физической системы и законами сохранения: если свойства системы не меняются при каком-либо преобразовании переменных, то этому соответствует сохранение некоторой физической величины - независимости свойств системы от выбора начала отсчета времени соответствует закон сохранения энергии. Однако, если теория какого-либо физического явления еще не построена, те симметрии, которые были открыты на опыте, имеют для построения теории большое значение. Отсюда вполне понятна важность экспериментально установленных симметрий сильно взаимодействующих элементарных частиц - адронов, теория которых еще не построена.

В 1956 г. Г.Ли и Ч.Янг показали, что на самом деле законы физики не совсем одинаковы для частиц и античастиц. Оказалось, что слабые взаимодействия не подчиняются симметрии P и симметрии C . Это означало, что в результате слабого взаимодействия развитие Вселенной может быть иным, чем развитие ее зеркального изображения, что Вселенная, состоящая из античастиц будет вести себя иначе, чем наша Вселенная, состоящая из частиц. Была надежда на то, что слабое взаимодействие должно все же подчиняться комбинированной симметрии, т.е., иначе говоря развитие Вселенной должно происходить так, как и развитие ее зеркального отражения, если, отразив Вселенную в зеркале, заменить каждую частицу античастицей. Однако и эта надежда рухнула, когда Д.Кронин и В.Фитч в 1964 г. обнаружили, что нарушается и комбинированная (CP) симметрия. (C - замена частицы античастицей; P - зеркальное отражение, когда левое и правое меняются местами; T - изменение направления движения всех частиц на обратное.) CPT - теорема утверждала, что любая теория, подчиняющаяся принципам квантовой механики и теории относительности, всегда должна быть инвариантна относительно комбинированной симметрии CPT , т.е. поведение Вселенной не изменится, если частицы заменить античастицами, отразить все в зеркале и изменить направление времени на обратное. Результаты, которые получили Д.Кронин и В.Фитч, свидетельствовали о том, что при замене частицы античастицей, осуществлении зеркального отражения, но при сохранении прежнего направления времени, законы физики должны измениться, т.е. они не будут инвариантны относительно симметрии T , следовательно, Вселенная будет вести себя при этих условиях иначе.

Что из этого следует? По мнению С.Хокинга, по мере расширения Вселенной под действием сил, не инвариантных относительно симметрии T , антиэлектроны должны превращаться в кварки чаще, чем электроны в антикварки. После того как Вселенная расширилась и охладилась, антикварки и кварки должны были аннигилировать. Но так как кварков было больше чем антикварков, то кварки должны были остаться в каком-то небольшом избытке. Из этих то кварков и состоит сегодняшнее вещество и мы сами. Поэтому само наше существование можно рассматривать как качественное подтверждение теории великого объединения. Последние не включают в себя гравитационного взаимодействия. С.Хокинг считает это не столь существенным, т.к. гравитационными силами по причине их незначительности можно пренебречь в случаях, когда мы имеем дело с элементарными частицами или атомами. Вместе с тем важно учитывать тот факт, что гравитационные силы являются дальнodelствующими и проявляются как силы притяжения, результаты их воздействия всегда суммируются. Отсюда следует, что при наличии достаточного количества частиц вещества гравитационные силы могут быть больше всех остальных. Поэтому эволюция Вселенной определяется именно гравитацией.²¹

Сейчас можно говорить, что при взаимодействиях и превращениях элементарных частиц действуют законы сохранения (т.е. законы, согласно которым численные значения некоторых физических величин не изменяются с течением времени при различных процессах) - как важнейшие, строгие из них (законы сохранения энергии, импульса, момента количества движения), так и приближенные, справедливые для определенного круга процессов (законы сохранения лептонного заряда, барионного заряда, четности).

7.6. Концепции объединения физики

²¹ Хокинг С. Цит.соч. С.74.

Единую полную теорию всего происходящего во Вселенной построить невозможно, поэтому сначала создаются частные теории, объединяющие какие-то части Вселенной. Надежды на создание непротиворечивой единой теории, в которую войдут все частные теории, не оставляют физиков. Создание такой теории принято называть объединением физики. Его созданию Эйнштейн безуспешно отдал последние годы своей жизни. Но, отказавшись принять реальность квантовой механики, ее принцип неопределенности как фундаментальный принцип мироздания, он не смог достичь успех на этом поприще.

С.Хокинг и другие физики-теоретики с оптимизмом (хотя и осторожным) смотрят на возможность построения единой теории, завершающей поиски окончательных законов природы.

Сейчас имеет место общая теория относительности, представляющая собой частную теорию гравитации. Есть частные теории, описывающие слабые, сильные и электромагнитные взаимодействия, - их можно объединить в теории великого объединения. Но последняя физиками не признается удовлетворительной, поскольку не включает гравитацию и содержит величины, которые не выводятся теоретически, а подбираются путем их наилучшего согласия с экспериментом (например, относительные массы разных частиц). Считается, что основной трудностью построения теории, объединяющей гравитацию с другими силами, является невключенность квантово-механического принципа неопределенности в классическую общую теорию относительности. Поэтому исходным моментом создания единой теории является объединение общей теории относительности и принципа неопределенности квантовой механики. В результате этого объединения черные дыры (см. раздел о концепциях астрономии) перестают быть таковыми, исчезают сингулярности, Вселенная становится замкнутой и безграничной. Но в этом случае возникают трудности, обусловленные тем, что, в соответствии с принципом неопределенности, пространство должно быть заполнено парами виртуальных частиц и античастиц, обладающих бесконечной энергией и бесконечной массой. Создаваемое ими гравитационное притяжение должно привести к сворачиванию Вселенной до бесконечно малых размеров. Подобные парадоксы бесконечности обычно устраняются с помощью перенормировки - процедуры введения новых бесконечностей для компенсации старых. В частных теориях полученные с помощью перенормировки предсказания согласуются с результатами наблюдений. В плане же создания полной теории метод перенормировок не позволяет теоретически предсказывать действительные значения масс и сил, поэтому их приходится подбирать подгонкой к эксперименту. Есть лишь два числа, которые можно подгонять при включении принципа неопределенности в общую теорию относительности. Это - величина гравитационной силы и космологическая постоянная. Однако их изменения не могут устранить бесконечность. Получается, что мы имеем теорию, в соответствии с которой некоторые величины (например, кривизна пространства-времени) являются бесконечными, хотя из изменений вытекает, что они конечны. Поэтому для выхода из положения стали использовать так называемую теорию супергравитации, которая бесконечности устраняла, хотя оставалось сомнение в том, все ли бесконечности устранялись, а затем физики обратились к теориям струн в которых прогнозировалось сокращение бесконечностей.²²

С.Хокинг допускает три варианта ответа на вопрос, возможна ли единая теория. Первый вариант: полная теория может быть сформулирована. Второй вариант: единой полной теории нет, а есть лишь бесконечная последовательность теорий, дающих все более точное описание Вселенной. Третий вариант единой полной теории Вселенной не существует, события в последней происходят произвольно и беспорядочно и не могут быть предсказаны далее некоторого предела. Если ставить цель - найти систему законов, дающих возможность предсказывать события в пределах точности, устанавливаемой принципом неопределенности, то тем самым третий вариант исключается. Вторая возможность, исходящая из существования бесконечной последовательности все более точных теорий, согласуется с нашим опытом. Но последовательность все более точных теорий при переходе к более высоким энергиям может иметь предел. При каких-то энергиях и должна существовать единая теория Вселенной. Столь высокие энергии могли возникнуть на ранних стадиях развития Вселенной. Поэтому изучение ранней Вселенной может привести к созданию полной единой теории.

²² См.: Хокинг С. Цит.соч.С.137-143.

Если бы полная единая теория оказалась математически непротиворечивой и ее предсказания совпадали с опытом, то "этим завершилась бы длинная и удивительная глава в истории интеллектуальной борьбы человечества за познание Вселенной".²³ Но создание такой теории не означает, что мы сможем предсказывать события вообще, ибо возможности предсказаний ограничиваются, во-первых, принципом неопределенности и, во-вторых, неумением находить точные решения описывающих теорию уравнений (а потому необходима разработка приближенных методов, позволяющих предсказывать результаты в реальных ситуациях).

До недавнего времени считалось, что Вселенная не изменяется со временем - из того, что гравитационные силы являются всегда силами притяжения, следует, что Вселенная должна либо расширяться, либо сжиматься. Из общей теории относительности известно, что в прошлом было состояние с бесконечной плотностью и большой взрыв, положивший начало отсчету времени. Если Вселенная начнет сжиматься, то в будущем должно появиться еще одно состояние с бесконечной плотностью произойдет большой хлопок, означающий конец течения времени. В образовавшихся черных дырах возникнут сингулярности, в которых законы перестанут действовать. (См. раздел "Концепции астрономии").

При объединении квантовой механики и общей теории относительности может возникнуть новая возможность, когда пространство и время образуют конечное четырехмерное пространство без сингулярностей и границ. С помощью этой возможности можно было бы объяснить однородность Вселенной в больших масштабах и отклонения от однородности в меньших масштабах (галактики, звезды, человеческие существа), а также существование наблюдаемых стрел времени.

Предположим, что единая полная теория создана - это будет набор правил и уравнений. Но ведь она не отвечает на вопрос, **почему** должна существовать Вселенная, которую описывает эта теория. Пока большинство ученых слишком заняты развитием новых теорий, описывающих, **что** есть Вселенная, и им некогда спросить себя, **почему** она есть. Философы же, чья работа в том и состоит, чтобы задавать вопрос "почему", не могут угнаться за развитием научных теорий. В XVIII веке философы считали все человеческие знания, в том, числе и науку, полем своей деятельности и занимались обсуждением вопросов типа: было ли у Вселенной начало? Но расчеты и математический аппарат науки XIX и XX вв. стали слишком сложны для философов и вообще для всех, кроме специалистов. Философы настолько сузили круг своих запросов, что самый известный философ нашего века Уитгенштейн (Витгенштейн -А.К.) по этому поводу сказал: "Единственное, что еще остается философии, - это анализ языка". Какое унижение для философии с ее великими традициями от Аристотеля до Канта".²⁴

Часть вопросов, относящихся к созданию единой теории поля и некоторых других, будет рассматриваться в разделах, посвященным другим наукам.

²³ См.: Хокинг С. Там же.С.142.

²⁴ Хокинг С. Цит.соч. С.147.

Заключение

Итак, что же представляет собой современная физика и какова тенденция ее развития? Будет целесообразно взглянуть на пройденный физикой путь глазами ее творцов и оценить достигнутое их словами. Прежде всего, что представляет собой физика как целостное образование?

Физика, в представлении В.Вайскопфа, - это дерево, в нижней части ствола которого находятся классическая физика, электродинамика и физика теплоты вместе с широко раскинувшимися ветвями, символизирующими обширные приложения этих направлений. Выше по стволу находятся атомная физика с ее ветвями, такими как химия, материаловедение, электроника и оптика. Еще выше расположена ядерная физика с ее молодыми ветвями, символизирующими науку о радиоактивности, метод меченых атомов, геологию и астрофизические приложения. На вершине, где пока нет ветвей, помещаются современная физика элементарных частиц и космология. Шестьдесят лет назад верхушкой без ветвей была атомная физика.²⁵

Следующий вопрос: какова роль физики в современном мире? По этому поводу В.Гейзенберг выразился следующим образом: "... современная физика представляет собой только одну, хотя и весьма характерную сторону общего исторического процесса, имеющего тенденцию к объединению и расширению нашего современного мира... в двух решающих пунктах, она, по-видимому, помогает направить развитие по мирным рельсам. Во-первых, она показывает, что применение оружия в этом процессе имело бы чудовищные последствия, и, во-вторых, своей доступностью для многих исторически сложившихся способов мышления она пробуждает надежду, что в окончательном состоянии различные культурные традиции, новые и старые, будут сосуществовать, что весьма разнородные человеческие устремления могут быть соединены для того, чтобы новое равновесие между мыслями и действием, между содержательностью и активностью".²⁶

И еще один вопрос: какова цель физической науки? А.Эйнштейн и Л.Инфельд, завершая свою книгу "Эволюция физики",²⁷ отмечают, что физические концепции стремятся представить картину реальности и установить ее связь с миром чувственных восприятий. Одним из первичных понятий выступает понятие объекта. Понятие любого материального объекта создается на основе опыта. Физика фактически начинается с введения понятия массы, силы и инерциальной системы, которые приводят к формулировке механической картины действительности. Для физика XIX века реальность внешнего мира состояла из частиц, между которыми действуют простые силы, которые зависели только от расстояния. Он верил в то, что с помощью этих понятий удастся объяснить все явления природы. Когда физики столкнулись с явлениями электромагнитного характера, было введено понятие электромагнитного поля (ибо понятие электромеханического эфира в объяснении электромагнитных явлений не могло вскрыть их сущность). Для того, чтобы понять, что не поведение тел, а поведение чего-то находящегося между ними, т.е. поля, упорядочивает явления и позволяет понять их сущность, требовались значительные психологические усилия. Дальнейшее развитие науки отбросило старые понятия и ввело новые. Так, теория относительности отбросила понятие абсолютного пространства и времени и ввела понятие четырехмерного пространственно-временного континуума. Квантовая теория раскрыла новые существенные черты реальности: прерывность встала на место непрерывности, вместо законов, управляющих индивидуальными объектами, появились вероятностные законы. Но цель физических теорий осталась прежней - с их помощью мы пытаемся вскрыть сущность наблюдаемых фактов, упорядочить и постичь мир чувственных восприятий. Т.е. мы стремимся к тому, чтобы наблюдаемые факты следовали из нашего понимания реальности. Без веры во внутреннюю гармонию нашего мира, без веры в возможность охватить реальность с помощью теоретических построений не может быть науки.

Огромное разнообразие фактов в области атомных явлений заставляет изобретать и вводить в обиход новые физические понятия. Вещество состоит из элементарных частиц - элементарных квантов вещества. Свет также состоит из фотонов - квантов энергии. Поиски ответов на вопросы,

²⁵ См.: Вайскопф В. Физика в двадцатом столетии. М., 1977. С. 265.

²⁶ Гейзенберг В. Физика и философия. М., 1963. С. 175-176.

²⁷ Эйнштейн А., Инфельд Л. Эволюция физики М., 1965. С. 240-242.

чем является свет - волной или ливнем фотонов, чем является пучок электронов - ливнем элементарных частиц или волной, побуждает еще дальше отступить от механического мировоззрения. Квантовая физика и формулирует законы, управляющие совокупностями, а не индивидуумами. В квантовой физике описываются не свойства, а вероятности, формулируются законы, управляющие изменениями во времени вероятностей, относящиеся к большим совокупностям индивидуумов, а не законы, раскрывающие будущее системы, как это присуще классической физике.

Таким образом, немногим более ста лет назад наука была описательной: описание движения твердых тел или жидкостей в механике и гидродинамике, свойств электрических и магнитных полей в электродинамике, реакции атомов и молекул в химии. Затем цели физики изменились: от описания она перешла к объяснению. Прогресс науки, осуществленный Планком, Эйнштейном, Резерфордом, Бором, Зоммерфельдом, Шредингером, Гейзенбергом, Паули, Дираком, привел к открытию кванта действия, атома, обладающего ядром, квантованных орбит, квантовой механики, динамики атома. Следующий этап в развитии физики открылся работами М.Склодовской-Кюри, позволившими приступить к изучению внутреннего строения атомного ядра. Исследования структуры атома выявили огромное разнообразие элементарных частиц, что заставило физиков искать в этом разнообразии единство и пытаться строить концепцию объединения физики. Классический этап в развитии физики с построением квантовой теории уступил место неклассическому. Сегодня физика начинает переход к постнеклассическому этапу своего развития. Сложившаяся на неклассическом этапе развития физики картина мира является принципиально незавершенной - ощущается все большая потребность в переходе к эволюционной парадигме. Комплекс проблем, касающихся этого перехода, будет рассмотрен в разделе, посвященном синергетике.