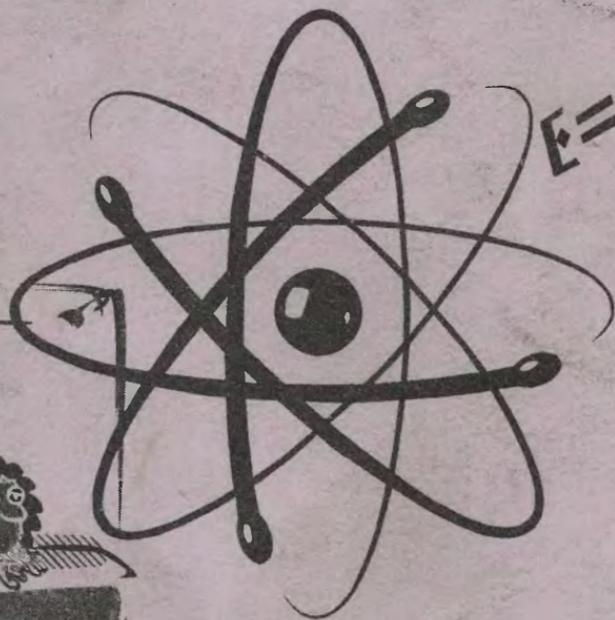


М.А. ГОРЯЕВ



ИСТОРИЯ ФИЗИКИ
ОТ АРХИМЕДА ДО ЭЙНШТЕЙНА



$$E=mc^2$$



Санкт-Петербург
2002

Комитет общего и профессионального образования
Ленинградской области

Ленинградский областной институт развития образования

М.А. Горяев

**ИСТОРИЯ ФИЗИКИ
ОТ АРХИМЕДА ДО ЭЙНШТЕЙНА**

**Санкт-Петербург
2002**

ББК 22.1 г

Г 71

*Печатается по решению кабинета физики
и РИСа ЛОИРО*

Рецензенты: Г.Н. Платонов, канд. тех. наук (ЛОИРО);
А.И. Мамыкин, д-р физ.-мат. наук, проф. (СПбГЭТУ)

Горяев М.А.

Г 71 История физики от Архимеда до Эйнштейна. – СПб.:
ЛОИРО, 2002. – 120 с.

Рассмотрены основные этапы развития физики и ее методологии от древнейших времен до 20 века. Приведены краткие биографии ученых, внесших наибольший вклад в естествознание и формирование физических представлений об окружающем мире. Обсуждается взаимосвязь развития физики и общества.

Пособие предназначено для преподавателей физики средней и высшей школы, а также студентов старших курсов естественно-научных направлений педагогических и технических вузов.

ISBN 5-8290-0486-0

© М.А. Горяев, 2002

© Ленинградский областной институт
развития образования (ЛОИРО), 2002

Введение

История физики занимается вопросами возникновения, становления и развития физической науки, ее методов и идей. При этом рассматриваются процессы появления и изменения основных представлений о природе, вытеснения одних представлений другими, и понимание таких процессов важно для адекватного освоения самой физики.

Здесь мы не будем рассматривать сами физические законы по существу, предполагая, что это в определенной степени известно. Последнее важно в том смысле, что упоминание того или иного этапа развития должно вызвать определенные ассоциации и физика предстанет с иных, непривычных позиций. Это в значительной мере способствует новому осмыслению физической сути конкретных явлений и более глубокому пониманию как самой физики, так и ее методологии.

С другой стороны, изучение истории физики помогает решать важные задачи гуманизации естественнонаучного образования, что диктуется необходимостью подготовки и воспитания разносторонне развитого, культурного во всех отношениях человека.

Развитие физики тесно связано с развитием культуры как материальной, так и духовной. Для появления физических идей нужен вполне определенный уровень технического развития. Это позволяет накапливать разнообразные наблюдения, а в ряде случаев проводить необходимые опыты и получать важные результаты. С другой стороны, сама физика, появление новых открытий позволяет создать принципиально новые технические устройства. Причем взаимное влияние и обогащение физики и техники происходит по спирали, шаг которой определяется многими факторами.

Также важен уровень духовной культуры общества, который необходим для обобщения данных наблюдений и появления новых физических идей и представлений, создания стройной системы знаний. А последние столетия физика, в свою очередь, глубоко проникла в процессы духовного формирования общества.

Физика всегда имела тесный контакт с соседними науками: астрономией, химией, минералогией, биологией. Нередко, особенно в период становления классической физики, ученые были, по существу, энциклопедистами. Да и сейчас физика иногда обращает свое внимание на смежные области, что позволяет получать новые результаты. Естественно, очень тесна связь физики с математикой, которая стала интеллектуальным орудием физики. Часто успехи физики определялись предварительными или одновременными успехами математики. И наоборот, постановка физических задач зачастую обуславливала прогресс в математике. Тесная взаимосвязь физики с другими науками предопределила появление новых самостоятельных дисциплин: математическая физика, физическая химия, астрофизика, геофизика, биофизика и т.д.

Физика своеобразно связана с философией, которая часто стимулировала развитие физики, но порой и тормозила физический прогресс. Нередко в физике работали люди, известные, прежде всего, как философы. Вне всякого сомнения, успехи естествознания оказывали сильное воздействие на всех философов. А многие физики в ряде случаев выдвигали важные философские идеи.

Подобно тому, как история народов и государств отмечает только значительные события и выдающихся людей, история физики рассматривает лишь вершины исследования и тех, кто их достигал. При этом важное место в истории физики занимают биографии выдающихся ученых, и в настоящем пособии приводятся краткие сведения об их жизни. Вместе с тем физика – плод коллективной работы, и нужно помнить о тысячах людей, которые участвовали в создании

науки. В этой связи очень важное значение имеют труды по истории физики самих выдающихся ученых, которые максимально хорошо понимают развитие физических представлений с учетом многих реальных факторов, ускользающих от стороннего наблюдателя.

Следует отметить, что в научном коллективе создается особая атмосфера увлеченности общим делом, и это оказывает сильное влияние на окружающих людей, т.е. окружение заражается присущим ученым энтузиазмом и добросовестным отношением к делу, своим занятиям. Поэтому существенную роль в достижении высоких результатов в физике играют формы организации научных исследований, развитие которых также рассматривается в данном пособии.

Часто говорят об объективности, истине естественнонаучного познания. Но физические представления меняются, и физика никогда не обладала на все времена готовой законченной формой и не претендовала на истину в последней инстанции. И все же существует доказательство ее объективной истинности. История физики постоянно дает примеры того, как две совершенно независимые теории (оптика и термодинамика, волновая теория рентгеновских лучей и атомная теория кристаллов) неожиданно сходятся и свободно соединяются друг с другом.

История может быть рассмотрена с различных точек зрения, и при условии сохранения достоверности любая может быть оправдана. Так, можно придерживаться чистой хронологии, описывая всю совокупность событий, а можно рассматривать отдельные явления в их историческом развитии. Необходимо лишь, чтобы со всех этих позиций появлялось какое-либо новое историческое знание. Изучать историю физики также можно различными путями: либо в виде отдельных специальных курсов, либо по мере изучения того или иного раздела в основном курсе физики дополнять тематический материал сведениями исторического характера.

1. ФИЗИКА АНТИЧНОГО МИРА

У шумеров, вавилонян и египтян по отдельным вопросам физики были определенные ценные знания, которые, однако, производят впечатление чего-то случайного, несистематического. К числу первых наук следует отнести астрономию и математику, которые зародились в Вавилонии, Египте, Индии и Китае. Это было связано с развитием материальной культуры. Астрономия обеспечила создание календаря, измерение времени, что было необходимо для земледелия, предсказания погоды. Математика также возникла в связи с развитием хозяйственной жизни, решением практических задач (расчетов при обмене, измерение земельных участков и т.д.). Но это были зачаточные познания, и науки как системы знаний еще не существовало.

1.1. Натурфилософия и зарождение наук

Важный этап становления наук – установление строгой связи явлений с логическими доказательствами – возникновение древней философии. Это происходило почти одновременно в Индии, Китае и Древней Греции. Последняя оказала определяющее влияние на развитие мирового естествознания. Наличие обширного комплекса знаний и технических навыков, высокий общий культурный уровень, а также отточенный на тонких философских и математических исследованиях язык создали в Греции в 6 веке до н.э., т.е. в период расцвета греческого государства, почву для начала работ по описанию, упорядочению и объяснению явлений природы. Само слово физика происходит от греческого φυσικῶς – природа.

Родоначальниками греческой науки были представители Ионической школы, и прежде всего Фалес Милетский (624–547 гг. до н.э.). Они выдвинули идею о материальной первооснове всех вещей и явлений, например, о воде, воздухе, огне и т.п. Одновременно развивалось и идеалистичес-

кое направление Пифагором (580–500 гг. до н.э.) и его школой, которая приписывала божественную роль числам, управляющим миром. Дальнейшее развитие философии связывается с отказом от праматерии и появлением концепции элементов, атомистики. Ярким представителем этого направления был Демокрит (460–370 гг. до н.э.).

Античные ученые стремились дать цельную картину мира, объясняя все явления на основе небольшого числа “начал”. При этом отсутствие строго установленных фактов компенсировалось догадками, вымыслом, логическими спекуляциями. Эти первые этапы научного мышления, развития естествознания получили название натуральной философии.

Первые результаты систематизации знаний о природе – труды Аристотеля.

Аристотель (384–322 гг. до н.э.) – древнегреческий ученый и философ. Родился в Стагире на севере Греции в семье придворного врача македонских царей. В 367–347 гг. до н.э. учился в Академии Платона в Афинах. После смерти Платона он отправился по Греции, в 343–335 гг. до н.э. был воспитателем Александра Македонского. Последний очень ценил Аристотеля: *“Я чту Аристотеля наравне со своим отцом, т.к. если отцу я обязан жизнью, то Аристотелю обязан всем, что дает ей цену”*. В 335 г. до н.э. Аристотель вернулся в Афины и основал там при всесторонней поддержке венценосного покровителя школу “Ликей”, которой руководил в течение 12 лет. После смерти Александра Македонского школа была закрыта, Аристотель покинул Афины и вскоре умер.

Исследования относятся к области механики, акустики, оптики. В основе мира, по Аристотелю, – геоцентрическая система. Физика Аристотеля основана на целесообразности природы, содержала отдельные правильные положения, но не принимала ряд идей предшественников (гелиоцентризм, атомизм и др.). Учение Аристотеля было канонизировано церковью и тормозило до 16 века развитие естествознания.

Аристотель написал ряд натурфилософских работ (“Физика”, “О небе”, “О возникновении и уничтожении”, “Метеорология”, “Механические проблемы”, “Метафизика” и др.), которые систематизируют все естественнонаучные знания того времени. В них он изложил свои представления о

движении и природе. Первичными качествами материи считал две пары противоположностей: “теплое – холодное” и “сухое – влажное”, основными элементами, или стихиями, землю, воздух, воду и огонь. Наиболее совершенным считал пятый элемент – эфир. Аристотель пытался основать физику на наблюдении и эксперименте, однако стремился охватить и объяснить все. По традиции философов того времени в своих работах он стремился создать законченную научную картину замкнутого и ограниченного мира.

Особый интерес представляет учение о движении, которое, по Аристотелю, есть любое количественное и качественное изменение, благодаря которому явление реализуется. Это учение господствовало в физике до эпохи Возрождения, и, несмотря на выявленные существенные ошибки и заблуждения, ряд принципиальных представлений остался неизменным до сегодняшнего дня. Большой заслугой Аристотелевой кинематики была формулировка точного правила сложения перемещений. К данным современной науки близко стоят его исследования по статике: равновесие рычагов, действие весов и блоков.

Чего не хватало аристотелевой физике, так это аналитической обработки, критичности и осторожности при обобщении. Современная физика относится к данным эксперимента с критической осторожностью, а аристотелева наука – с наивным простодушием. Неудачи Аристотеля – недостаточность его методов исследования.

1.2. Физика эллинистической эпохи

Птолемей I (основатель египетской династии Птолемеев) после смерти Александра Македонского и закрытия школы Аристотеля призвал к своему двору ученика Аристотеля Деметрия Фалерского и поручил ему создать школу по образцу Ликея – Александрийский музей. При Птолемеи II (с 285 г. до н.э.) Музей стал большим культурным и научно-образовательным центром, где ученые жили на государственный счет, были две большие библиотеки (к 48 г. до н.э. – 700

тыс. томов). Все это привлекало в Александрию большое количество ученых со всего мира, и там развивались систематические научные исследования конкретных явлений природы.

Длительное время в Александрии учился и работал Архимед.

Архимед (287–212 гг. до н.э.) – математик, физик и астроном. Родился в Сиракузах (Сицилия) в семье известного астронома Фидия.

Автор многих изобретений: винтов, блоков, военных метательных машин и т.п. Разработал научные основы статики: ввел понятие центра тяжести и момента сил, вывел законы рычага, правило сложения параллельных сил, основал гидростатику. Дошедшие до нас труды – “О равновесии плоских фигур” и “О плавающих телах”. Учился и работал в Александрии. Погиб при защите Сиракуз.

Архимед создал ряд замечательных механических изобретений: винты, полиспаст и др. Очень много военных изобретений использовалось при защите Сиракуз от римлян. Но Архимед подчинялся общей тенденции и пренебрежительно относился к прикладным областям знания и технике, поскольку в то время ремесленничество считалось второсортным занятием для свободного человека.

Архимед вошел в историю, прежде всего, как основатель статики и гидростатики. Его первый научный труд – исследование центров тяжести. Архимед в отличие от Аристотеля выводит условие равновесия из постулатов, полученных из непосредственных опытов с рычагами. Подход Архимеда к решению физических проблем основан на простых, но строгих геометрических доказательствах, так что его можно считать родоначальником математической физики. Общеизвестен гидростатический закон Архимеда, который был сформулирован им также на основе опытных данных. Однако экспериментальным методом он пользовался, веря в непогрешимость одной лишь математики.

Для александрийской механики характерен интерес к изучению простых механизмов, сжатого воздуха, там были проведены также работы по созданию боевых машин, что

было обобщено в “Механике” Филона (~ 250 г. до н.э.). Но эту работу затмил Герон, который создал двухтомный труд по пневматике, а также свою “Механику” – своеобразную энциклопедию античной техники.

Герон Александрийский (вероятно, 1–2 век н.э.) – древнегреческий ученый и инженер. Преподавал в Александрии.

В “Механике” подробно описаны простые (ворот, клин, рычаг, блок и винт) и более сложные механизмы. В двухтомнике “Пневматика” описаны механизмы с использованием нагретого или сжатого воздуха и пара, в “Диоптрре” – устройства для измерения углов и пройденного пути, в “Катоптрике” он выдвинул идею о кратчайшем пути светового луча при отражении.

Математические работы являются энциклопедией античной прикладной математики: Герон дал точные и приближенные формулы расчета различных фигур (формула Герона для определения площади треугольника по трем сторонам), правила численного решения квадратных уравнений и приближенного извлечения квадратных и кубических корней и др.

Механика стала приниматься как наука о простых машинах, к которым в основном относились пять: ворот, рычаг, блок, клин и винт. Грекам были известны простые механизмы, зубчатые передачи, гидростатика, применение сифонов, сжимаемость воздуха, движущая сила пара. Известно изобретение Героном золопила – модели первой модели паровой турбины. Они владели и техническими знаниями, и научным пониманием, чтобы создать индустриальные машины. Однако этого не делалось, а все ограничивалось лишь различными механическими “фокусами”, игрушками для развлечения, приспособлениями для усиления религиозного суеверия народа и единичными примерами военного применения, т.е. общество еще не созрело до серийного претворения знаний в технику.

Другая заслуга александрийской науки – толчок оптическим исследованиям. Оптика существовала еще у философов классического периода (с 6 в. до н.э.), но они интересовались лишь физиологическими, а не физическими проблемами.

Гениальный геометр Евклид создал первый трактат по оптике, который по существу соответствует современным представлениям геометрической оптики, основанным на прямолинейном распространении света.

Евклид (~330–275 г. до н.э.) – древнегреческий математик.

Автор первого дошедшего до нас трактата по математике (“Начала”), создатель геометрии, которая носит его имя и на которой основывается вся классическая физика. В трактатах “Оптика” и “Катоптрика” изложены основы геометрической оптики на базе законов отражения и прямолинейного распространения света.

Но оптика Евклида – скорее, успехи геометрии, а не физики. В частности, в исходных постулатах о прямолинейном распространении света он следует теории зрения Платона о том, что лучи света испускаются глазами. Как математик Евклид систематизировал математические знания своих предшественников и изложил это в своих “Началах”, которые составили основу так называемой евклидовой геометрии.

В духе евклидовой традиции написан и другой античный трактат – “Оптика” Птолемея.

Птолемей Клавдий (2 век н.э.) – древнегреческий астроном, географ, оптик.

Автор трактата “Великое математическое построение астрономии в XIII книгах”, бывшего более тысячелетия энциклопедией астрономии. Завершил построение геоцентрической системы мира. Исследовал астрономическую рефракцию, преломление света.

Великий астроном не ограничился рассмотрением лишь геометрической оптики, он обсуждал и физические процессы, особенно в исследованиях по преломлению света. К сожалению, полученный им закон преломления оказался неверным, но при этом были проведены специально и тщательно поставленные эксперименты. Другой важный вклад Птолемея в оптику – исследование астрономической рефракции. В “Катоптрике” Герона впервые сформулирован по существу принцип Ферма о минимальности оптического пути. Однако это сделано на основе чисто геометрических соображений.

В основном же имя Птолемея связано с его астрономическими исследованиями, известной птолемеевой геоцентрической системой строения мира. Следует сказать, что уже в древнегреческой астрономии были две разные точки зрения на строение мира: геоцентрическая и гелиоцентрическая. Еще пифагорейцы высказали гипотезу о движении Земли, а Архимедом сопоставлялись эти две системы. Однако большинство античных астрономов придерживалось геоцентрических взглядов, и из-за авторитета Аристотеля эта идея превалировала в древнем мире.

Развитие астрономии и попытки объяснить движение небесных тел вызвало развитие механики как науки о движении. В птолемеевой системе движение небесных тел описывается в виде сложной комбинации простых круговых движений. При этом возникал принципиальный вопрос, что же реально: видимое движение тел или простые круговые движения? И натурфилософия сходилась к выводу, что не дело астрономии решать, каково движение в действительности, а ее задача состоит лишь в умении вычислять положение и движение небесных тел.

В связи с развитием астрономии вставал вопрос об относительности механического движения. И хотя этот вопрос не получил окончательного разрешения, но первые модели и представления, которые использовались при обсуждении таких задач, возникли именно в эти времена и широко использовались в дальнейшем (Коперником, Галилеем и др.), например, классическая модель о впечатлении человека, находящегося внутри плывущего корабля.

В заключение следует сказать, что в античности произошли два этапа становления науки: 1 – развитие натурфилософии (науки о природе вещей с отказом от мифических и религиозных представлений); 2 – формирование конкретных наук. Последнее прежде всего относится к математике и астрономии, а также частично к физике: появляются зачатки механики (учение о равновесии тел и жидкостей) и оптики. Физика античного периода оперировала рядом различных

и порой неясных экспериментальных фактов, но на базе которых рациональное мышление и математическая культура греков все же сумели создать основы физики. Однако становления физики как науки, в современном понимании, в античном мире еще не произошло, т.е. экспериментальной физики как таковой в Древней Греции не было. В силу господствующего положения “чистых” наук – философии и математики – существовало пренебрежение к эмпирическому исследованию. Поэтому примеров постановки специальных экспериментов для изучения тех или иных явлений природы, подтверждения или опровержения физических идей практически не было.

Необходимо отметить ряд обстоятельств, способствовавших зарождению физики. Хотя основные достижения античной физики связаны с именами выдающихся ученых (Аристотель, Архимед, Евклид, Птолемей), но эти успехи определяются и тем, что в античном мире были созданы первые научные и образовательные центры: Ликей и Александрийский музей. Еще один важный, несмотря на кажущуюся его второстепенность, фактор, обусловивший развитие физики в древнем мире, – это благосклонное отношение к науке властьпридержащих. И Ликей, и Александрийский музей созданы были и существовали при всесторонней поддержке тогдашних правителей. И эта поддержка носила не только альтруистический характер. Далее мы увидим, что так было почти всегда на протяжении истории развития государств и науки. Это связано в значительной мере с тем, что физика обеспечивает наиболее эффективное развитие производительных сил, а в особенности обороноспособности и военной мощи государства.

2. ФИЗИКА В СРЕДНИЕ ВЕКА И ЭПОХУ ВОЗРОЖДЕНИЯ

После Герона и Птолемея наступил упадок физики. Вместо оригинальных научных исследований мы видим компиляции, повторения и псевдонаучные “пережевывания”.

Римляне из греческой науки периода ее упадка в основном усвоили те моменты, которые могли иметь прямое практическое применение, и широко использовали их, например, в строительстве.

Вместе с тем в римской империи было создано большое число научных энциклопедий, которые в течение многих веков были единственным источником сведений о греческой науке. Но с распадом империи вследствие нашествия варваров традиции греческой школы были надолго забыты на Западе.

На Востоке культурные традиции греческой школы никогда не исчезали, хотя и были ослаблены. Они поддерживались в Византийской империи, а затем были переняты арабами, а от них пришли на Запад уже приблизительно в 13 веке.

2.1. Физика арабского средневековья

Арабы в средние века создали огромную империю. В начальный период ее становления господствовало презрительное недоверие к греческой культуре. Но с середины 8 века наступает пересмотр этого отношения. На первых этапах ассимиляции культур на арабский язык с греческого и сирийского были переведены труды греческих ученых. В этот же период основываются школы по образцу греческих в новых столицах – Дамаске и Багдаде, где началось самостоятельное развитие арабской науки. Здесь наряду с изучением теологических проблем развивались и естественнонаучные исследования.

Вследствие своих греческих корней интерес арабских ученых в основном был обращен к исследованиям в области

механики и оптики. В механике арабы следовали Аристотелю и не внесли значительных новых идей в эту область, за исключением гидростатики. Здесь в 10 веке были введены в употребление гидростатические весы для определения удельного веса, а также объяснено действие артезианских колодезцев на основе принципа сообщающихся сосудов.

Следует отметить заслуги Мухаммеда ибн Ахмеда аль-Бируни (973–1048), который проводил эксперименты по определению удельных весов с помощью специального отливного сосуда. Бируни был энциклопедистом, широко известны его исследования по астрономии и географии, в частности, определение угла наклона эклиптики к экватору, радиуса Земли и т.п. Также широко известна работа среднеазиатского ученого 12 века Аль Хазини “Книга о весах мудрости”, в которой подробно описаны применение закона Архимеда и специально сконструированные весы. При этом обсуждается закон Архимеда для воздуха, зависимость удельного веса воды от температуры, пропорциональность веса количеству вещества, содержащегося в теле.

Наиболее ярким арабским физиком-оптиком был Альхазен, работавший в Египте в начале 11 века.

Альхазен (Ибн Аль-Хайтан, Абу Али Хайсама) (965–1039) – арабский физик, астроном, математик, медик, философ. Родился в Басре. Жил и работал в Каире.

Основные результаты оптических исследований изложены им в трактате, переведенном в 12 веке на латинский язык, где он выдвинул свою теорию зрения, описал работы с камерой-обскурой и по отражению в зеркалах различных видов высказал идею о конечности скорости света.

В своей теории зрения Альхазен основывался на анатомическом описании глаза, известном по античным исследованиям. Но он отказался от представлений древнегреческих ученых, что световые лучи испускаются глазом. Несостоятельность этого он показывает с помощью ряда опытов физико-физиологического характера, например, ослеплением при попадании на глаза солнечного света. По Альхазену,

зрительный образ формируется при воздействии на глаз естественного света и цветовых лучей. Под естественным светом он понимает белый солнечный свет, а под цветовыми лучами – свет, отраженный от цветных предметов.

Главное же принципиальное открытие Альхазена состоит в утверждении того, что каждой точке наблюдаемого предмета соответствует некоторая воспринимающая точка глаза. Если у всех греческих физиков зрение рассматривается как ощущение образа, восприятие всего наблюдаемого тела разом, то по Альхазену, из каждой точки предмета исходит бесконечное число лучей и в зрачок тоже попадает бесконечное число лучей. При этом Альхазен основывает свои суждения не только на геометрических построениях, но и на базе описанных им опытов с камерой-обскурой. Помимо работ по теории зрения известны труды Альхазена по экспериментальному и геометрическому рассмотрению плоских, сферических, цилиндрических и конических зеркал, а также исследования по преломлению света.

Фундаментальные работы по оптике Альхазена были в 12 веке переведены на латинский язык и распространялись в рукописи, но широкой известности в средние века не имели. В большей степени был известен трактат по оптике Эразма Вителлия, вышедший в 70-е годы 13 века, где, по существу, излагались представления Евклида, Птолемея и Альхазена.

2.2. Физика в эпоху Возрождения

В 11–12 веках после периода упадка наблюдается развитие экономической деятельности в Западной Европе. Благодаря этому и контактам с арабским миром происходит интеллектуальное пробуждение в Испании, Лотарингии, Франции, Шотландии. Первый университет был организован еще арабами в Кордове, а затем уже европейцами в Италии и Франции создаются университеты (в Болонье, а затем в Париже). С 13 века появляются университеты в Падуе, Оксфорде, Кембридже, Неаполе, Риме и т.д. Средневековые университеты очень отличались от современных. Там было

всего четыре факультета: богословский, медицинский, юридический и подготовительный (искусств). Однако до нашего времени сохранились ученые степени доктора и магистра, звания профессора и доцента, лекция как основная форма обучения. До сих пор в европейских университетах торжественные речи читаются, а дипломы пишутся на латинском языке.

В 12 и 13 веках в Испании и Италии были переведены труды Аристотеля, Евклида и Птолемея, а труды Архимеда и Герона почти не были известны. Такое одностороннее изучение физики, а также тот факт, что университеты создавались при монастырях, привело к развитию схоластики, и вклад этого периода в естествознание весьма незначителен. Схоластическая наука базировалась на принципе – истина уже открыта в священном писании и в трудах богословских авторитетов, и нужно только изучать и комментировать эту истину.

Однако благодаря университетам в Европе поднялся общий уровень образования и культуры, и именно в этой среде появлялись ученые, искавшие новые пути познания. К ним следует отнести францисканского монаха Роджера Бэкона (1214–1294), который занимался в Оксфорде научными исследованиями. Он резко выступал против всеобщего увлечения книгами Аристотеля, считая, что ученый не должен ограничиваться толкованием авторитетов. Наука, по Бэкону, должна строиться на строгих аргументах и точном опыте, который доказывает теоретическое заключение. Он сам проводил химические и физические эксперименты, делал астрономические наблюдения, объяснял радугу преломлением световых лучей в каплях воды.

Следует отметить появление в этот период понятия составляющих силы тяжести при рассмотрении сил давления на наклонную плоскость, а также развитие понятий о равнопеременном движении с графическим представлением движения. Известно, что к середине 14 века довольно широкое распространение получили очки. Однако линзы, скорее всего, были случайным открытием средневековых ремесленников.

Магнетизм – единственный раздел физики чисто средневекового происхождения, и связано это с появлением в 11 веке морского компаса – прибора исключительной практической важности. История компаса начинается в Китае, где еще во 2 веке было известно свойство намагниченной иглы указывать направление на север. По всей видимости, арабам из Китая стало известно свойство ориентации магнитной иглы, и они использовали это в мореплавании, а затем все страны Средиземноморья внесли существенный вклад в совершенствование конструкции компаса, в частности, введением подвижной катушки. В середине 13 века появился первый трактат по магнетизму Пьетро Перегрино, в котором указываются отличительные черты хороших магнитов, а также приводятся экспериментальные методы определения полярности магнитов и описание явления магнитной индукции. Однако рассмотренная там теория не выдерживает никакой критики, т.к. основывается на астрологии.

В эпоху средневековья происходит интенсивное развитие техники, появляются новые более мощные источники энергии (водяные и ветряные мельницы), огнестрельное оружие, более легкие конструкции в строительстве, корабли с большим водоизмещением, стекольное производство, производство бумаги, появляются первые мануфактуры и т.п. Иоганн Гутенберг (1401–1468) изобретает книгопечатание отдельными вырезными буквами и печатный станок. Это, с одной стороны, изменяло социальные условия и образ мышления широких слоев населения, а с другой – ставило новые проблемы перед естествознанием. Развитие техники и слабость университетской “книжной науки” создали предпосылки для обновления науки, что характерно для эпохи Возрождения. В этот период возникает новый идеал человека, который не должен быть знающим, но не творящим, или творящим, но не знающим, но, как писал Джованни Баттиста делла Порта (1535–1615) в своей “Натуральной магии”, был бы человеком, который делает, чтобы знать, и знает, чтобы делать. Наиболее ярким представителем этой эпохи Ренессанса является Леонардо да Винчи.

Леонардо да Винчи (15.04.1452–02.05.1519) – итальянский живописец, скульптор, архитектор, ученый и инженер. Родился в селении Анкино около городка Винчи между Флоренцией и Пизой, внебрачный сын зажиточного нотариуса. В 1472 г. закончил обучение в флорентийской мастерской живописи и скульптуры, где также приобретал знания по математике, оптике, механике и технике, после чего работает в цехе флорентийских художников. 1482–1499 гг. – военный инженер, архитектор, скульптор и живописец у миланского герцога, 1499–1507 гг. – живописец во Флоренции, 1507–1513 гг. – живописец у французского посланника в Милане, где также занимается анатомией, 1513–1516 гг. – работа в Риме, 1516–1519 гг. – живописец и архитектор при дворе французского короля, где продолжает работы по анатомии.

Научные работы посвящены математике, механике, физике, астрономии, геологии, ботанике, анатомии и физиологии человека. Сконструировал много машин, проектировал каналы, исследовал механическое движение, трение, волны на поверхности воды, капиллярность, движение птиц, сопротивление воздуха, подъемную силу, формирование изображений в камере-обскуре и глазе.

Леонардо был незнатного происхождения, поэтому не имел в юности возможности познакомиться с академическими латинскими трудами своего времени. В силу этого его творчество не было сковано схоластической наукой, не подавлялось господством авторитетов, в первую очередь Аристотеля, что побудило его к непосредственному наблюдению природы и ее изучению. Леонардо осознает, что его понимание мира, достигнутое опытом, более надежно и правильно, чем почерпнутое из книг понимание ученых того времени: *“...Хотя я не умею так, как они, цитировать авторов, я буду цитировать гораздо более достойную вещь – опыт, наставника из наставников”*.

Леонардо был величайшим изобретателем не только эпохи Возрождения, но и всех времен и народов. История техники насчитывает сотни его изобретений: стальные цепные передачи, различные сцепления (конические, спиральные, ступенчатые), роликовые опоры, “карданово” соединение, различные станки, приспособления для опытов с трением и

по проверке сопротивления металлических нитей растяжению, боевые машины, землечерпалки, шлюзы и т.д. Следует отметить, что многие его изобретения создавались в процессе непосредственной инженерной работы и тут же реализовывались в конкретных сооружениях. Но глубина мышления Леонардо толкала его к переходу от чистой техники к обобщениям, от непосредственных технических применений тех или иных идей к выделению самих идей и их отдаленным применениям, характерным для науки.

Леонардо долго и внимательно изучал полет птиц, сформулировав при этом сознательный метод научного исследования, что и является одной из его главных научных заслуг.

В области механики наиболее значительным было исследование Леонардо центров тяжести плоских и объемных фигур. Здесь, подобно Архимеду, он основывается на математических доказательствах нахождения центра тяжести тетраэдра. В статике он развил учение о моменте силы, а также сформулировал и доказал “теорему об опорном многограннике”: тело, опирающееся на горизонтальную плоскость, остается в равновесии, если основание вертикали, проведенной из его центра тяжести, попадает внутрь площади опоры.

Леонардо был не только разносторонним человеком, но и универсальным ученым. В динамике он вплотную подошел к формулировке принципов инерции и равенства сил действия и противодействия, создал теорию движения волн на море, открыл изменение атмосферного давления и создал разновидность рычажного барометра. В оптике он дал первое описание камеры-обскуры и использовал ее для развития теории зрения: обосновал перевернутое изображение внутри глаза и объемное зрение.

Принято считать Леонардо основателем экспериментального метода. Он высоко ценил опыт: *знание – дочь опы-*

та, – и широко использовал его, считая, что всякое знание начинается с чувств, поэтому нужно ограничивать рассуждение опытом. Но опыт сам по себе – сырой материал, и дело разума – включить его в единую физическую концепцию явлений природы и показать, почему данный опыт должен идти именно так.

Было много споров о влиянии Леонардо да Винчи на последующее развитие науки. Это основано на том, что его рукописи были не опубликованы до конца 18 века. Однако многие идеи Леонардо содержатся в трудах крупных ученых 16 века: Николо Тарталья (1499–1552), Иеронима Кардана (1501–1576), Джованни Баттисты Бенедетти (1530–1590). Вообще 16 век был веком интенсивной интеллектуальной деятельности, веком борьбы против господства авторитетов, в особенности авторитета церкви. В этом веке революционное учение Коперника вызвало резонанс во всем научном мышлении.

Коперник Николай (19.02.1473–24.05.1543) – польский астроном. Родился в Торуне в семье купца. Учился сначала в Краковском университете (1491–95), затем в Болонье и Падуе. С 1503 г. был секретарем и врачом у своего дяди – епископа Ваченроде, а с 1512 г. занимал должность каноника во Фромберке.

Является создателем гелиоцентрической системы мира. Обладал обширными знаниями в области математики, астрономии, права, медицины, философии, греческих и новых языков. Во Фромберке руководил не только церковными, но и хозяйственными, дипломатическими и военными делами епархии. Он не прекращал научной работы, но его основной труд “О вращениях небесных сфер” в 6 томах был опубликован перед самой его смертью, т.к. была еще сильна церковь, и труд предвзяло “предохранительное” предисловие. В этом предисловии отмечалось, что данный труд не посягает на религиозные устои и является лишь математической гипотезой для удобства описания движения планет.

Однако идеи Коперника нашли полное понимание в научном мире, и в результате их распространения обновлялась философия и все научное мировоззрение. В числе первых про-

тивников Аристотеля и приверженцев Коперника был Бернардино Телезий (1509–1588), церковь резко выступила против учения, появилась первая жертва – Джордано Бруно (1548–1600), и в 1616 г. оно было запрещено.

Успехи физики 16 века кажутся незначительными, но они являются первыми завоеваниями новой культуры, освобождающейся от груза средневековых традиций. Здесь можно отметить исследования криволинейности траектории летящего снаряда (Тарталья), независимости скорости падения тел от их веса (Бенедетти), равновесия тела на наклонной плоскости (голландский ученый Симон Стивен (1548–1620)). Также заметны работы по оптике итальянского ученого Франческо Мавролика (1494–1575), который рассмотрел хрусталик глаза как линзу и первым исследовал преломление света в призме. В 16 веке появилась подзорная труба, но ее случайно создали мастера ремесленники по изготовлению очков, а не ученые, т.к. оптические теории того времени не только не приводили к открытию трубы, а даже уводили от него. В это время были сделаны великие географические открытия: открытие Америки Христофором Колумбом в 1492 г., в 1519–1522 гг. осуществилась первая кругосветная экспедиция Фердинанда Магеллана.

В этот период продолжились также работы по исследованию магнетизма: были открыты магнитное склонение (Христофор Колумб – 1492 г.) и магнитное склонение (Георг Гартман – 1544 г.). В Италии Порта в седьмой книге своей “Натуральной магии” описывает оригинальные экспериментальные исследования с помощью железных опилок, использование железной пластины в качестве магнитного экрана и обнаружение исчезновения магнитных свойств при нагреве магнита. Гильберт при исследовании магнита сферической формы сделал вывод о соответствии его магнитных свойств магнитным свойствам Земли, т.е. впервые лабораторные результаты сопоставляются с явлениями космического масштаба.

Гильберт Уильям (24.05.1544–30.11.1603) – английский физик. Родился в Колчестере. Учился в Кембридже и Оксфорде. Был придворным врачом королевы Елизаветы.

В 1600 г. издал сочинение “О магните, магнитных телах и большом магните – Земле...”, где описал свои исследования магнитных и электрических явлений и построил первые теории электричества и магнетизма. Рассматривал теплоту как движение частиц. Выступал с критикой Аристотеля и способствовал распространению в Англии учения Коперника.

Гильберту принадлежит заслуга в зарождении науки об электричестве: он обнаружил и исследовал электризацию ряда новых веществ (электризация янтаря была известна еще в античные времена), создал первый электроскоп.

2.3. Становление экспериментальной физики

Следует сказать, что в средневековье развития физики в Европе практически не было, а отдельные открытия делались случайно (компас, линза). В эпоху Возрождения появляется новый подход к исследованию, в полной мере начинает развиваться экспериментальный метод – предпосылка для создания классической физики, которая зарождается с конца 16 века. Ведущая роль здесь принадлежит Галилею.

Галилей Галилео (15.02.1564–08.01.1642) – итальянский физик и астроном. Член Академии деи Линчеи (1611). Родился в Пизе в семье музыканта и композитора. В 1581 г. поступил в Пизанский университет, где изучал медицину, но, увлекшись геометрией и механикой (по трудам Евклида и Архимеда), оставил университет и четыре года самостоятельно изучал математику во Флоренции. С 1589 г. – профессор Пизанского университета, в 1592–1610 гг. – Падуанского университета, далее – придворный философ герцога Медичи. Умер в Арчтри близ Флоренции.

Основоположник экспериментального естествознания. Физические работы в области механики, оптики, молекулярной физики. Установил законы свободного падения, движения тел по наклонной плоскости, сложения движений, изохронизма маятника, сформулировал принцип инерции и относительности. Построил подзорную трубу – первый телескоп, с помощью которой сделал астрономические открытия: горы на Луне, спутники Юпитера, фазы Венеры, пятна на Солнце и др. Построил микроскоп, выдвинул идею о конечности скорости света и предложил способ ее

измерения. Изобрел термоскоп, определил удельный вес воздуха. За отстаивание учения Коперника о гелиоцентрической системе осужден инквизицией в 1633 г. и был вынужден отказаться от своих убеждений.

Нет однозначных свидетельств, что Галилей был знаком с трудами Леонардо да Винчи, но ряд историков физики считают, что мысли Леонардо распространялись устным путем среди итальянских ученых и могли дойти до Галилея. К тому же, как уже отмечалось, многие идеи Леонардо содержались в трудах Тарталья, Кардана и Бенедетти.

Галилей с самого начала научной деятельности (в 1589 г. он был назначен профессором математики) проявляет независимость своего мышления. В трактате “О движении” (1590) он выступает с четко антиаристотелевых позиций. Здесь он показывает несостоятельность теории движения, поддерживаемого воздухом, а также аргумента Аристотеля против существования пустоты. Приводимые доказательства строятся на четких экспериментальных данных.

Галилей, как и многие ученые того времени, работал во многих областях физики, и не только физики. К числу его наиболее существенных результатов следует отнести открытие законов движения. Это является вершиной достижений Галилея, он заложил два краеугольных камня современной динамики: принцип инерции и классический принцип относительности. В соответствии с принципом относительности законы механики инвариантны по отношению к преобразованиям Галилея.

Основные принципиальные положения в области механики изложены в двух знаменитых трудах Галилея: “Диалог о двух главнейших системах мира – птолемеевой и коперниковой”, вышедший во Флоренции в 1632 г., и “Беседы и математические доказательства, касающиеся двух новых отраслей науки, относящихся к механике и местному движению” (в те времена под механикой понималось движение небес-

ных тел), опубликован в Лейдене в 1638 г. В этих работах он окончательно развенчивает последователей Аристотеля – перипатетиков. Здесь же появляются рассуждения о конечности скорости света и рассматривается способ ее измерения. В последней работе уже математически четко формулируются законы равнопеременного движения: пропорциональность скорости времени движения, квадратичная зависимость пути от времени, принцип сложения перемещений, параболичность траектории брошенного тела.

Главной же заслугой Галилея является то, что он ввел в исследование новый образ мышления, использовал в полной мере экспериментальный метод. Его наряду с Леонардо следует считать основоположником экспериментального метода в физике. При этом Галилей нигде не дает абстрактного изложения этого метода. Но суть его видна в конкретных постановках и обсуждении исследований частных явлений природы, где можно выделить четыре основные фазы исследования:

- 1) восприятие явления, *чувственный опыт*;
- 2) *аксиома* или рабочая гипотеза с критическим рассмотрением результатов чувственного опыта;
- 3) *математическое развитие*, нахождение логических следствий из принятой гипотезы;
- 4) *опытная проверка*, высший критерий всего пути открытия.

Во времена Галилея было и другое направление физики, одним из представителей которого был Декарт.

Декарт Рене (Картезий) (31.03.1596–11.02.1650) – французский философ, физик, математик и физиолог. Родился в Лаэ близ Тура в знатной, но небогатой семье. Окончил иезуитский колледж Ла-Флеш в Анжу (1614) и университет в Пуатье (1616). Был некоторое время военным, путешествовал. В 1628–49 гг. жил в Голландии, в 1649 г. переехал в Стокгольм, где и умер.

Физические работы в области механики, оптики и строения Вселенной. Ввел понятия количества движения, сформулировал закон его сохранения (но без учета того, что скорость – вектор). Стремился построить общую картину природы, в которой все явления объяснялись бы как результат движения больших и малых частиц, образованных из единой материи. Злоупотреблял гипотетическими построениями, не имея достаточной экспериментальной основы.

В математике первым ввел понятие переменной и функции, заложил основы аналитической геометрии, которые были представлены в работе “Геометрия” (1637). Основоположник рационализма в теории познания, считал, что человеческий разум играет главную роль при оценке результатов научных исследований.

По Декарту, физика должна иметь цель сделать людей “господами и хозяевами природы”. Он считал, что физика должна отвечать на вопрос, *почему* происходят явления, тогда как, по мнению Галилея, она должна исследовать, *как* они происходят. Декарт поставил задачу математизации физики по типу евклидовой геометрии: небольшое количество очевидных аксиом, на которые опирается упорядоченная последовательность выводов. Однако развитие физики в целом показало несостоятельность рассуждений Декарта, но ряд положений сыграл положительную роль в развитии науки, в частности, принцип причинности в общей механике.

Учение Галилея распространялось по Европе, его “Механика” в 1634 г. была переведена на французский язык. Таким образом, у Галилея появились последователи, в числе которых были не только его непосредственные ученики.

Из прямых учеников Галилея наиболее блестящим был Торичелли.

Торичелли Эванжелиста (15.10.1608–25.10.1647) – итальянский физик и математик. Родился в Фазнице в небогатой семье, воспитывался у дяди, бенедиктинского монаха. Учился в иезуитском колледже, а затем в Риме у Б.Кастелли, друга и ученика Галилея. В 1641 г. переехал в Арчетри, где помогал Галилею. В 1642 г. стал придворным математиком герцога Тосканского и профессором математики и физики Флорентийского университета.

Основные работы в области пневматики и механики. В 1643 г. открыл атмосферное давление, стимулировал изучение вакуума (Торичеллева пустота), нанеся удар по утверждению: “природа боится пустоты”. Усовершенствовал воздушный термоскоп Галилея, переделав его в спиртовой термометр. Объяснил ветер изменениями атмосферного давления. В трактате “О движении свободно падающих и брошенных тяжелых тел” (1641) установил параболичность траектории тел, брошенных под углом к горизонту, доказал другие теоремы баллистики. Сформулировал (1641) закон вытекания жидкости из отверстий сосуда (формула Торичелли).

Первые работы Торичелли были посвящены исследованию механического движения: формулировка принципа движения центра тяжести, изучение движения тела, брошенного под произвольным углом, и истечения жидкости из отверстия в дне сосуда. Он выдвинул гипотезу, эквивалентную закону сохранения энергии. Основным же достижением Торичелли является открытие и исследование атмосферного давления, что вызвало большой резонанс среди физиков. Он также по существу сформулировал закон о распространении давления газа во все стороны. Последователем Торичелли был французский ученый Блез Паскаль (1623–1662), который экспериментировал с атмосферным давлением, а также сделал свои замечательные открытия с гидростатическим давлением, сформулировал закон о полной передаче жидкостью производимого на нее давления.

Еще одно открытие Галилея – изохронизм маятника – позволило ему разработать конструкцию маятниковых часов, но она им не была реализована. Гюйгенс, считая себя продолжателем Галилея и Торичелли, создал маятниковые часы, о чем сообщил в 1657 г.

Гюйгенс Христиан (14.04.1629–08.07.1695) – голландский физик, механик, математик и астроном, член Парижской АН, первый иностранный член Лондонского королевского общества. Родился в Гааге в богатой и знатной семье крупного политического деятеля. Учился в университетах Лейдена (1645–47) и Бреда (1647–49). В 1665–81 гг. жил и работал в Париже, с 1681 г. – в Гааге.

Работы в области механики, оптики, молекулярной физики. Сконструировал первые маятниковые часы (1656) и разработал их теорию, вывел законы упругого удара. В 1678 г. в мемуарах в Парижскую АН разработал волновую теорию света (“Трактат о свете” – 1690). Ввел понятие оси кристалла при исследовании двойного лучепреломления, открыл в 1678 г. поляризацию света. Совместно с Р.Гуком установил (1665) постоянные точки термометра – температуры таяния льда и кипения воды. Показал (1667), что при замерзании вода расширяется. Усовершенствовал телескоп (окуляр Гюйгенса, ввел диафрагмы). Открыл кольцо Сатурна и его первый спутник – Титан. Первым пришел к выводу о сплюснутости Земли у полюсов, высказал идею об измерении ускорения свободного падения с помощью секундного маятника.

В 1673 г. в Париже был опубликован шедевр Гюйгенса “Качающиеся часы, или о движении маятника”, в котором описаны кроме часов движение тел по циклоиде, движение кругового маятника, центробежная сила. Он начал построение динамики нескольких тел, в частности, вывел законы соударения упругих тел, ввел, по существу, представление о сохранении кинетической энергии при ударе, т.е. утверждал, что произведение “каждого тела” на квадрат его скорости до и после удара не меняется.

В 17 веке широко проводились исследования по аэростатике, которые активизировались после открытия Торичелли атмосферного давления и пустоты. Отто фон Герике (1602–1686) были проведены первые работы по созданию пневматических машин и насосов для откачки воздуха, широко известен его опыт с магдебургскими полушариями.

Бойль, один из наиболее проницательных ученых, воспитанных на трудах Галилея, также вел широкие эксперименты с воздухом: определение веса воздуха, измерение степени разрежения воздуха, доказательство невозможности без воздуха горения, жизни, распространения звука.

Бойль Роберт (25.01.1627–30.12.1691) – английский химик, физик и философ, член Лондонского королевского общества (1663). Родился в Лисморе (Ирландия) в многодетной (14 детей) семье графа Корка. Учил-

ся в Итоне, Швейцарии, Италии. С 1654 г. жил в Оксфорде, в 1668 г. переехал в Лондон.

Физические работы в области молекулярной физики, световых и электрических явлений, гидростатики, акустики, теплоты, механики. В 1660 г. усовершенствовал воздушный насос Герике, установил новые факты, которые изложил в “Новых физико-химических опытах, касающихся упругости воздуха”. Показал зависимость точки кипения воды от степени разрежения окружающего воздуха и доказал, что подъем жидкости в узкой трубке не связан с атмосферным давлением. В 1661 г. открыл закон Бойля, сконструировал барометр и ввел название “барометр”. Сделал первые исследования упругости твердых тел, был сторонником атомизма. В 1663 г. открыл цветные кольца в тонких слоях (кольца Ньютона). В 1661 г. сформулировал понятие химического элемента и ввел в химию экспериментальный метод, положил начало химии как науки.

Бойль сочетал выдающуюся способность к аналитическому мышлению с талантом наблюдателя и экспериментатора. Отличался редкой скромностью и приверженностью к непосредственной научной работе: отказался от предложения стать президентом Лондонского королевского общества, которое было основано во многом благодаря усилиям Бойля.

Бойль открыл свой закон об упругости (давлении) и объеме воздуха, но значение его он сам сначала не понял. Аналогичные исследования независимо провел настоятель монастыря в Дижоне Эдм Мариотт (1620–1684), который опубликовал свои наблюдения в 1676 г. в работе “О природе воздуха” и пришел также к закону Бойля, который французы называют законом Мариотта.

В это же время бурно развивается промышленность, мануфактурное производство. Получили распространение различные машины: водяные двигатели, станки и т.п. При этом возникает необходимость применения естествознания в промышленности для решения задач освоения и передачи механического движения, что дополнительно стимулирует развитие науки.

3. СТАНОВЛЕНИЕ КЛАССИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

Говоря о формировании классической физики, естественно в первую очередь сказать об отце классической механики в ее современном виде – Ньютоне.

Ньютон Исаак (04.01.1643–31.03.1727) – английский механик, оптик, астроном и математик, член Лондонского королевского общества (1672, с 1703 – президент), Парижской АН (1699). Родился в Вулстропе в семье фермера. Окончил Кембриджский университет (1665 – бакалавр, 1668 – магистр), в 1669–1701 гг. возглавлял в нем кафедру. В 1688–90 гг. – член парламента, с 1695 г. – смотритель, с 1699 г. – директор Монетного двора.

Заложил основы современного естествознания. Физические работы в области механики, акустики, оптики. Сформулировал основные законы классической механики, открыл закон всемирного тяготения, дисперсию света, разработал дифференциальное и интегральное исчисления (независимо от Лейбница). “Математические начала натуральной философии” (1687) содержали основные понятия и аксиоматику механики, три закона динамики и закон всемирного тяготения. Открытие закона всемирного тяготения ознаменовало переход от кинематического описания Солнечной системы к динамическому, он развил теорию формы Земли, теорию приливов и т.п. Установил основной закон внутреннего трения в жидкостях и газах, получил формулу для скорости распространения волн.

Создал физическую картину мира (Ньютонова теория пространства и времени): пространство и время абсолютны. Выдвинул идею дальности действия – мгновенной передачи действия на расстояние по пустому пространству.

В 1666 г. разложил при помощи призмы белый свет в спектр, открыл хроматическую аберрацию. В 1668 г. и 1671 г. сконструировал зеркальный телескоп – рефлектор без абберации. Исследовал интерференцию и дифракцию (кольца Ньютона в тонких слоях). В 1675 г. предпринял попытку создать компромиссную корпускулярно-волновую теорию света.

По мировоззрению – второй после Декарта великий представитель механистического материализма в естествознании 17–18 веков.

В его честь названа единица силы – *ньютон*.

Первые работы Ньютона относятся к области оптики, но затем от экспериментальных исследований он перешел к обобщениям и увлекся вопросами механики.

3.1. Механика

Именно в механике Ньютон достиг вершин своего творчества. Он обобщил все исследования предшественников и основные положения механики изложил в своей книге “Математические начала натуральной философии”. В своих “Началах” Ньютон сформулировал три закона движения, обобщив при этом принцип инерции и понятие силы, ввел понятие массы и распространил действие законов механики на всю Вселенную. Если оптике Ньютона, как мы увидим ниже, присущи гениальность постановки и разносторонность опытов, то в механике его талант проявился, прежде всего, в упорядочении и обобщении частных результатов предшественников. Так, закон всемирного тяготения был сформулирован на основе существовавших в то время экспериментальных данных о движении планет, которые содержали только кинематическое описание, а Ньютон вскрыл причину такого движения, введя количественную характеристику гравитационного взаимодействия. И все же гениальные обобщения в механике были бы вряд ли возможны, если бы Ньютон не имел опыта экспериментатора, общей физической культуры, полученных им в оптике.

В этом же трактате Ньютон сформулировал правила рассуждения, которые должны составлять основу всякого физического исследования. Он не ставит задачи отыскания причины явления и противопоставляет “физике гипотез” Декарта “физику принципов”, базирующихся на обобщении опытов. В соответствии с этим при провозглашении закона тяготения Ньютон не собирается определять причину тяготения: *“Причину этих свойств силы тяготения я до сих пор не мог вывести из явлений, гипотез же я не измышляю. Все же, что не выводится из явлений, должно называться гипо-*

тезой, гипотезам же метафизическим, физическим, механистическим, скрытым свойствам не место в экспериментальной философии. В такой философии предложения выводятся из явлений и обобщаются с помощью индукции. Так были изучены непроницаемость, подвижность и напор тел, законы движения и тяготение. Довольно того, что тяготение на самом деле существует и действует согласно изложенным нами законам и вполне достаточно для объяснения всех движений небесных тел и морей”.

Согласно ньютоновскому правилу индукции, можно перенести действие законов на все тела, хотя эксперимент можно поставить лишь на некоторых. И в соответствии с правилами рассуждения следует считать правильным всякое утверждение, полученное из опыта с помощью индукции, до тех пор, пока не будут обнаружены другие явления, которые ограничивают это утверждение или противоречат ему.

Если Галилея мы называем основоположником экспериментального метода в физике, то величие Ньютона определяется не только тем, что он открыл фундаментальные законы физики, но и тем, что он создал основы физического мышления. Его путь построения физического знания, “метод принципов” оказался необычайно плодотворным, и все последующие фундаментальные теории (электродинамика, термодинамика, теория относительности и квантовая теория) созданы по этим правилам.

Следует сказать еще об одной заслуге Ньютона – его мемуарах о дифференциальном и интегральном исчислении, которые были для него и остаются поныне важным средством для раскрытия физических закономерностей. Однако в своих “Началах” Ньютон принял геометрическую форму изложения, по всей вероятности, для того, чтобы их могло понять возможно большее число читателей.

По существу, принципов Ньютона достаточно для решения любой задачи механики. Этот успех, с одной стороны, обусловил огромный авторитет Ньютона в глазах следующих поколений ученых, а с другой – предопределил

развитие механистических представлений, которые долго превалировали во всех областях физики.

На всем пути развития физики, начиная с Аристотеля, в науке просматривается стремление объяснения всех явлений природы с единых позиций. В 18 веке такую попытку физического синтеза предпринял один из крупнейших итальянских ученых (хорват по происхождению) Рожер Иосип Боскович (1711–1787). Основные свои идеи он наиболее полно изложил в работе “Теория натуральной философии, сведенная к единственному закону сил, существующих в природе”, которая была опубликована в 1759 г. По Босковичу, материя состоит из малых материальных точек, подчиняющихся законам динамики Ньютона. Для взаимодействия между ними характерно притяжение или отталкивание в зависимости от расстояния: по мере сближения частиц притяжение возрастает, достигает максимума, а затем уменьшается и переходит во все возрастающее отталкивание. С помощью этой теории можно объяснить все механические и физические явления: непроницаемость, протяженность, соударения, тяжесть, твердость, капиллярность, оптические явления, химические действия и все что угодно. Несмотря на всеобщее восхищение, эта, скорее, общеполитическая работа в 18 веке последователей не имела, но уже в 19 веке оказала большое влияние на формирование современной атомистики.

Главное направление развития физики 18 века было скорее аналитическое, чем синтетическое. В это время широко организуются физические лаборатории, улучшаются приборы для исследований, анализируются и проверяются как экспериментальные результаты, так и выдвинутые ранее теории. 18 век по сравнению с предыдущим столетием был менее ярким, он не дал новых великих идей и ученых масштаба Галилея, Гюйгенса, Ньютона.

В области механики наиболее яркое достижение 18 века – создание аналитической механики, где с помощью применения методов математического анализа к исследованию физических явлений отдельные научные достижения связы-

вались в одну упорядоченную картину. Механика Ньютона была изложена на геометрическом языке, а усилиями механиков 18 века она была представлена в аналитическом виде. Здесь следует упомянуть работы французских математиков Жана Батиста Даламбера (1717–1783), который в “Трактате о динамике” (1758) излагает свой принцип с рассмотрением механической системы со связями, сводящий любую задачу динамики к задаче равновесия, и Пьера Луи Моро де Мопертюи (1698–1759), сформулировавшего принцип наименьшего действия, а также швейцарского ученого, который в основном работал в Петербургской и Берлинской Академиях наук, Леонарда Эйлера (1707–1783), изложившего аналитические основы движения материальной точки и твердого тела. Работы этих и ряда других ученых 18 века превратили механику в рациональную науку, основанную на небольшом числе определений и аксиом. Рациональная механика окончательно сформулирована в “Аналитической механике” французского ученого Жозефа Луи Лагранжа (1736–1813). Здесь из единых принципов развиваются основные разделы механики: статика и гидростатика, динамика и гидродинамика. Принимая понятия и постулаты Галилея и Ньютона, он в силу своего математического таланта сводит все к известным динамическим уравнениям Лагранжа. С тех пор теоретическая механика стала, по сути, разделом математики, а не физики.

Помимо формулировки законов движения в среде без сопротивления, Ньютон рассматривал движение в жидкости, им разработана теория волнового движения в плотных средах – основа акустики. В 18 веке с применением математических методов английский математик Бруге Тейлор (1685–1731) решил основную задачу акустики о колебаниях струны, положив начало математической физике. Отцом экспериментальной акустики считают немецкого физика Эрнста Хладни (1756–1827), который первым точно исследовал колебания камертона. Все акустические явления объяснялись движением колеблющегося тела и частиц среды.

3.2. Оптика

В числе первых работ в области классической оптики следует отметить труды Кеплера, который развил идеи Аль-Хазена и рассматривал конусы лучей, исходящие из каждой точки.

Кеплер Иоганн (27.12.1571 – 15.11.1630) – немецкий физик, математик и астроном. Родился в Магсштадте (Вюртенберг) в семье обедневшего дворянина – солдата. Окончил Тюбингенский университет (1593). В 1594–1600 гг. работал в Высшей школе в Граце. В 1600 г. переехал в Прагу к датскому астроному Тихо Браге, вскоре после смерти которого стал математиком при дворе императора Рудольфа II. В 1612 г. переехал в Линц, в 1626 г. – в Ульм. Последние годы жизни провел в бедности и странствиях.

Основные физические работы в области оптики. В трактате “Дополнения к Вителлию” (1604) изложил основы геометрической оптики и механизм видения. В 1604 г. сформулировал закон об обратной пропорциональной зависимости освещенности и квадрата расстояния от источника. Сконструировал телескоп – труба Кеплера, описал явление полного внутреннего отражения, получил формулу линзы. Предложил понятие силы как причины ускорения.

Используя наблюдения Т.Браге и свои собственные, открыл три закона движения планет (законы Кеплера), является одним из творцов небесной механики, был активным сторонником учения Коперника. Трактат “Сокращение Коперниковой астрономии” был занесен Ватиканом в список запрещенных книг. В 1627 г. – последняя крупная работа “Рудольфовы таблицы”, по которым несколько поколений астрономов с высокой точностью вычисляли положение планет в любой момент времени.

Кеплером, по сути, построена современная геометрическая оптика. Обсуждая восприятие изображения, Кеплер приходит к выводу, что глаз не знает, какой путь прошли лучи, а помещает светящуюся точку на их продолжении. Он вводит важный экспериментальный метод, переходя от физиологической оптики к современной геометрической: в эксперименте целесообразнее получать изображение на экране, а не рассматривать его глазом. При исследовании преломле-

ния в шаре с использованием диафрагмирования Кеплер приходит к фундаментальному открытию: одна точка изображения соответствует одной точке предмета, а параллельный пучок сходится в одной точке, которую он назвал фокусом. При рассмотрении механизма зрения Кеплер окончательно делает заключение о формировании перевернутого изображения на сетчатке глаза. Он рассматривает комбинацию линз, четко формулируя положение о том, что изображение от одной линзы является предметом для другой. Эти результаты он применил в конструкции подзорной трубы с выпуклым окуляром (труба Кеплера), а также построил теорию подзорной трубы Галилея.

Кеплер также пытался найти закон преломления, но безуспешно. Закон преломления был экспериментально открыт в 1621 г. голландским ученым Виллебродом Снелиусом (1591–1626). В то же время (1627) с помощью простых геометрических рассуждений к закону преломления пришел Декарт, предложив в соответствии с идеями Альхазена разложить скорость света на две составляющие – вдоль и поперек границы раздела сред. Своим результатам он предваряет философские рассуждения о природе света, но их не понимали даже его истые последователи (Гюйгенс) – так они были противоречивы. Тем не менее, на основе полученного закона после проведения оригинальных экспериментов Декарту удалось объяснить образование радуги. Это было получено в результате серии хорошо задуманных, тщательно проведенных и подкрепленных расчетом опытов, которые можно считать образцом физического исследования.

В споре с Декартом о правомерности применения механических аналогий к свету французский математик Пьер Ферма (1608–1665) сформулировал свой принцип, что свет распространяется по пути, проходимом в кратчайшее время, из которого также следует закон преломления Декарта. Он сосредотачивал свое внимание больше на математической стороне задачи, чем на физической. А физические осно-

вы у Ферма были шаткими, они подвергались резкой критике, но сам принцип сохранился в физике и истории науки до сих пор.

К числу принципиальных открытий в оптике следует отнести обнаружение явления дифракции – отклонения света – итальянским ученым Франческо Мариа Гримальди (1618–1663). Это было сделано в экспериментах на маленьких отверстиях, а также подтверждено в опытах на тонких нитях. В своих объяснениях Гримальди прибегает к аналогии с волнами, образующимися от брошенного в воду камня и огибающими препятствие, т.е. прибегает к волновой гипотезе света. Этим же он объясняет природу цветов по аналогии со звуком, который, по Галилею, определяется различными колебаниями воздуха. Подобные же опыты в Англии провел Роберт Гук (1635–1703), который также успешно экспериментировал с микроскопом Галилея, в частности заметил окрашивание тонких пленок в пучке света.

Принципиальными с точки зрения конечности скорости света были астрономические наблюдения, т.к. земные эксперименты по способу Галилея в 17 веке не дали положительных результатов. Основные результаты по этому вопросу, полученные при исследовании движения спутников Юпитера, были в окончательном виде сформулированы датским ученым Олафом Ремером (1644–1710).

Первые работы по физике у Ньютона были в области оптики и начинались с 1664 г. В 1672 г. он представил первый доклад в Королевское общество, и этот доклад вызвал критические замечания (в частности у Гука) и долгую полемику. Ньютона это очень огорчило, он был человеком весьма раздражительным и чувствительным к критике. Тем не менее он упорно продолжал свои работы, но свою фундаментальную работу “Оптика” опубликовал лишь в 1704 г., через год после смерти Гука. В этой работе изложены основы современной физической оптики. Прежде всего следует упомянуть его результаты по дисперсии света и природе цветов, его блестящие опыты с разложением света призмой и

смещением цветов. Ньютон разработал зеркальный телескоп, за создание которого был избран в члены Королевского общества и который стал отправной точкой прогресса инструментальной астрономии. Широко известны его экспериментальные работы в области интерференции, классические кольца Ньютона.

В части интерпретации экспериментальных результатов по оптике Ньютон не придерживался определенной позиции в выборе волновой или корпускулярной теории света, и это вызывало ряд затруднений. Здесь, в отличие от механики, он изменяет своим принципам не выдвигать гипотез, его объяснения громоздки и трудновоспринимаемы, а в ряде случаев и ошибочны. В последнем издании своей “Оптики” Ньютон приводит почти одинаковое число аргументов в пользу как волновой, так и корпускулярной концепции. Тем не менее в течение 18 века его считали приверженцем корпускулярной теории. Это, вероятно, было обусловлено затруднениями волновой теории в объяснении прямолинейности распространения света и преклонением перед механистическими представлениями Ньютона.

Подводя итоги 17 века, следует сказать о вкладе в оптику Гюйгенса, который издал в Лейдене в 1690 г. “Трактат о свете”. В этой работе изложены основы волновой теории света с постулированием некоторой эфирной материи. Он предложил принцип построения огибающей волны, который и сегодня известен под его именем. Гюйгенс объяснил явления преломления света, подвел физическую основу под принцип Ферма. Он также интерпретировал двойное лучепреломление, которое было обнаружено в 1669 г. датским ученым Эразмом Бартолином (1635–1698) в опытах с кристаллами исландского шпата.

Из-за огромного авторитета Ньютона и отсутствия решающих научных аргументов в пользу волновой теории в 18 веке в основном придерживались корпускулярной теории света. Однако сохранялись и традиции волновой оптики, поскольку корпускулярная теория все же не могла объяс-

нить многие экспериментальные данные. В частности Эйлер в работе “Новая теория света и цветов” (1746) считает различную длину волн физической причиной различия цветов.

В 18 веке зарождается фотометрия как самостоятельный раздел оптики. Французским ученым Пьером Бугером (1698–1758) были проведены первые систематические исследования потери интенсивности при прохождении света через среду и предложена конструкция фотометра, а также замечено избирательное поглощение различных цветов и сформулирован экспоненциальный закон поглощения. Основы фотометрии были четко сформулированы немецким математиком и физиком Иоганном Ламбертом (1728–1777) в работе “Фотометрия, или об измерениях и сравнениях света, цветов и тени” (1760). Здесь он вводит понятия яркости и освещенности и выводит основные законы фотометрии о зависимости освещенности от расстояния, угла падения света, характеристик освещающего источника.

После почти векового господства корпускулярной теории в оптике в самом начале 19 века были проведены работы, ознаменовавшие триумф волновой теории. Это сделал в первую очередь Юнг, врач по профессии, но имевший весьма разносторонние интересы.

Юнг Томас (13.06.1773–10.05.1829) – английский ученый, член Лондонского королевского общества (1794, с 1802 – секретарь), Парижской АН. Родился в Милвертоне в семье торговца. С ранних лет обнаружил незаурядные способности: в 2 года бегло читал, в 4 года знал на память стихи многих английских поэтов, в 8–9 лет овладел токарным ремеслом и делал различные физические приборы, к 14 годам познакомился с дифференциальным исчислением по Ньютону, изучил много языков. Учился в Лондонском, Эдинбургском, Геттингенском и Кембриджском университетах, где сначала изучал медицину, а потом физику, одновременно проводя научные исследования. В 1801–03 гг. – профессор Королевского института, с 1811 г. – врач в больнице Святого Георгия (Лондон), одновременно с 1818 г. – секретарь бюро долгов, руководил изданием “Морского календаря.

Работы в области оптики, акустики, теплоты, механики, математики, астрономии, геофизики, филологии, зоологии. Объяснил (1793) ак-

комодацию глаза изменением кривизны хрусталика. В трактате “Опыты по звуку и свету” (1800) провел аналогию между явлениями акустики и оптики, применил принцип суперпозиции и сформулировал принцип интерференции, которым в 1801 г. объяснил интерференцию, кольца Ньютона. В 1802 г. сделал первый демонстрационный эксперимент по наблюдению интерференции света, получив два когерентных источника. Показал потерю полуволны при отражении света от более плотной среды. В теории упругости в 1807 г. ввел модуль растяжения (Юнга). В последние годы составлял египетский словарь.

Самой неясной Юнгу представлялась ньютоновская теория “приступов” для объяснения окрашивания тонких пластин. В докладах Королевскому обществу с 1801 по 1803 гг., цитируя рассуждения Ньютона об аномальных приливах на Филиппинском архипелаге как результате наложения волн, он вводит общий принцип интерференции и подкрепляет это опытами с двумя отверстиями, развивая представления Гримальди о дифракции. Рассматривая интерференцию света различных длин волн, Юнг выводит полученные Ньютоном эмпирически законы для его колец. Он с поразительной точностью определил длины волн различных цветов: для красного – 0,7 мкм и фиолетового – 0,42 мкм. Работы Юнга были первым экспериментальным подтверждением гипотез Ферма и Гюйгенса. Он также ввел сам термин “физическая оптика”.

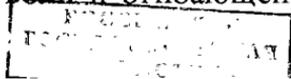
Однако эти принципиальные работы Юнга были восприняты с недоверием отчасти из-за того, что он иногда подкреплял свои рассуждения недостаточно строгими математическими доказательствами. К тому же появились работы французского военного инженера Этьенна Малюса (1775–1812) по поляризации света, который для объяснения найденного им закона поляризации привлекал теорию Ньютона. Исследования по поляризации света были продолжены во Франции Жаном Батистом Био (1774–1862), обнаружившим круговую поляризацию, и Домиником Франсуа Араго (1786–1853), установившим поляризацию лунного света и радуги (доказательство отраженного света), а также открывшим хроматическую поляризацию. В Англии Дэвид Брюстер (1781–1868) открыл закон о поляризации отраженного и

преломленного лучей, а шотландский ученый Уильям Николь (1768–1851) разработал призму, которая пропускала только необыкновенный луч. Все эти работы проводились под флагом корпускулярной теории, которая, казалось, получает в поляризации света важное подтверждение. Но это возрождение корпускулярной теории продолжалось недолго. В 1815 г. молодой дорожный инженер Френель представил Парижской Академии наук два мемуара, которые он написал по результатам работ по дифракции, выполненных на примитивном оборудовании после увольнения со службы за антинаполеоновские выступления во времена “100 дней”.

Френель Огюстен Жан (10.05.1788–14.07.1827) – французский физик, член Парижской АН (1823), Лондонского королевского общества (1825), медаль Румфорда. Родился в Брولي в семье архитектора. Окончил Политехническую школу (1806) и школу мостов и дорог (1809) в Париже. Работал инженером по ремонту и строительству дорог в различных департаментах Франции, с 1817 г. – в Политехнической школе.

Работы в области волновой оптики. В 1811 г. под влиянием Э. Малюса стал самостоятельно изучать физику и начал эксперименты по оптике. В 1815 г. переоткрыл принцип интерференции, в 1816 г. дополнил принцип Гюйгенса. В 1818 г. разработал теорию дифракции света. Выполнял опыты с бизеркалами (1816) и бипризмами (1819). В 1821 г. доказал поперечность световых волн. Открыл в 1823 г. эллиптическую и круговую поляризацию света. Установил (1823) законы отражения и преломления света на плоской неподвижной поверхности раздела двух сред. Исследовал влияние движения Земли на оптические явления, положив начало оптике движущихся тел (1818).

После реферирования мемуаров Френеля Араго добился, чтобы тот был приглашен в Париж для повторения опытов в более благоприятных условиях. Исследуя тени, отбрасываемые, как и у Гримальди, тонкими препятствиями, Френель вторично открыл принцип интерференции. Развивая идеи волновой оптики, он провел классические опыты с бизеркалами и бипризмой. Гениально объединив принцип интерференции с предложенными Гюйгенсом принципами элементарных волн и огибающей, он окончательно постро-



ил основы волновой оптики. При этом было преодолено основное затруднение волновой теории – невозможность объяснения прямолинейности распространения света.

После создания теории дифракции Френель и Араго установили, что перпендикулярно поляризованные два пучка света никогда не интерferируют. Это привело его к выводу о поперечности колебаний световых волн. Вместе с тем такая гипотеза, объясняющая основные свойства поляризованного света, требовала от эфира – носителя световых волн – безумного сочетания свойств: он должен быть тончайшим и невесомым флюидом и одновременно наитвердейшим телом, т.к. только твердые тела передают поперечные колебания. Это было очень смелым шагом, и даже явно поддерживающий Френеля Араго не смог разделить такие взгляды. Используя свою гипотезу эфира, Френель построил механистическую модель света, обсчет которой позволил получить формулы для поведения света на границе двух сред, хорошо согласующиеся с экспериментом и использующиеся до настоящего времени в вычислительной оптике.

Вместе с тем вследствие, прежде всего, такой “грубой” идеи эфира позиции волновой теории не были общепринятыми. В этих условиях ирландский ученый Уильям Роуан Гамильтон (1805–1865) задумал создать формальную теорию, которая согласовывалась бы как с волновой, так и с корпускулярной теорией по аналогии с аналитической механикой Лагранжа. Гамильтон развивает целую научно-философскую доктрину. В эволюции науки есть две стадии: 1 – восхождение от отдельных фактов к законам с использованием индукции и анализа и 2 – переход от законов к следствиям с использованием дедукции и синтеза. На первой стадии научное воображение позволяет вскрыть внутренние законы, способствующие пониманию единства всего разнообразия явлений, а на второй – из этого единства вновь получается новое разнообразие, которое дает возможность проникать в будущее.

Гамильтон применил такой подход, рассматривая принцип наименьшего действия как принцип экстремального действия и говоря о стационарном или варьируемом действии. Он пришел к формулировке своего принципа, согласно которому некоторая физическая величина (гамильтониан), точно определенная математически, стационарна при распространении света. Так удается рационализировать геометрическую оптику, превратив ее в формальную теорию, не прибегая к волновой или корпускулярной гипотезе. Затем Гамильтон в 1834–35 гг. распространил свою теорию на механику, т.е. был достигнут синтез оптики и механики. Общее применение этой теории было развито немецким математиком Карлом Густавом Якобом Якоби (1801–1854), который упростил и обобщил ее, и такую, уже ставшую классической теорию называют теорией Гамильтона-Якоби.

К середине 19 века были проведены измерения скорости света в “земных” условиях для различных сред, которые, по мнению Араго (противника корпускулярной, но не очень последовательного приверженца волновой теории), должны были установить, какая из теорий справедлива. В 1849 г. французский физик Арманд Ипполит Физо (1819–1896) с помощью вращающегося колеса со щелями, через которые проходили исходный и отраженный от находящегося на расстоянии 8633 м зеркала лучи, удалось реализовать идеи Галилея и измерить скорость света. А его соотечественник Леон Жан Бернар Фуко (1810–1868), применив вращающееся зеркало и стробоскопический метод наблюдения, в 1850 г. показал, что скорость света в воде составляет $3/4$ скорости света в воздухе. Это подтвердил несколькими днями позже и Физо, который вначале работал вместе с Фуко, а потом они устроили между собой соревнование. Таким образом, было показано, что в более преломляющих средах скорость света меньше, и это было одним из решающих аргументов в пользу волновой теории.

Но оставалась еще проблема эфира, в частности, движется ли эфир, сконцентрированный в теле, вместе с этим телом. В 1842 г. австрийский физик Христиан Допплер (1803–1853) теоретически показал, что движение тел, испускающих свет или звук, меняет период колебаний, т.е. при приближении источника света цвет излучения смещается в сторону более коротких длин волн. Эффект Допплера был использован для обнаружения степени увлечения эфира телами. Поставленные эксперименты, а также ряд других опытов давали противоречивые результаты, и эти противоречия удалось преодолеть только с появлением теории относительности.

Важные открытия 19 века в оптике определяются исследованиями “невидимого” излучения. То, что световые и тепловые лучи связаны между собой, было известно с античных времен, а в эпоху Возрождения были проведены эксперименты по действию тепловых и световых лучей. Само понятие “фокус” (на латинском языке означает *огонь*) в применении к линзам и зеркалам говорит больше о концентрации тепловых лучей. Отмечалось, что зеркала концентрируют не только *тепло*, но и *холод*.

В 1800 г. английский ученый Вильгельм Гершель (1738–1822) открыл инфракрасное излучение в опытах по перемещению чувствительного термометра по солнечному спектру. Он заметил, что максимум излучения достигается за красной областью спектра в противоречии с принятым мнением о равномерности распределения тепловых лучей по спектру. Он также исследовал невидимое излучение, испускаемое несветящимся нагретым железным цилиндром, и показал его преломление в линзах. А в 1802 г. немецкий физик Иоганн Риттер (1776–1810) повторил опыты Гершеля, используя для регистрации фотохимическое действие света на хлористое серебро, и обнаружил ультрафиолетовое излучение. Следует отметить, что успехи фотохимии галоидосеребряных солей в работах французских исследователей Луи Даггера (1789–1851) и Жозефа Нисефера Ньепса (1765–1833) и английского изобретателя Уильяма Генри Фокса Тальбота (1800–1877) способ-

ствовали развитию фотографии. Высокая чувствительность и возможность проведения количественных измерений при фотографической регистрации света обеспечили ее широкое применение в физических исследованиях.

В результате многих экспериментов и, прежде всего, благодаря работам Мачедонио Меллони (1798–1854) по преломлению, поляризуемости, интерференции было показано, что лучистое тепло (инфракрасное излучение), видимый свет и химические лучи (ультрафиолетовое излучение) – сходные излучения, различающиеся лишь длиной волны.

Большой вклад в развитие оптики внес Фраунгофер, обнаруживший при исследовании дисперсии света яркую желтую линию натрия, которая всегда находится в одном и том же месте спектра.

Фраунгофер Иозеф (06.03.1787–07.06.1826) – немецкий физик. Родился в Штраубинге в семье стекольщика. В 12 лет остался круглым сиротой и стал учеником в зеркальной и стекльной мастерской. До 14 лет был неграмотным. Через два года после пребывания в мастерской там произошла авария, в результате которой он остался единственным выжившим из работавших. После этого благодаря покровительству банкира Утцшнайдера получил возможность посещать школу. В 1806 г. Утцшнайдер определил его оптиком-механиком в оптической мастерской в Мюнхене, совладельцем которой являлся банкир. В 1809 г. стал управляющим мастерской, а в 1811 г. возглавил всю оптическую промышленность Баварии. С 1823 г. – хранитель физического кабинета и профессор Мюнхенского университета.

Работы в области прикладной оптики. Внес существенный вклад в исследование дисперсии и создание ахроматических линз. Изобрел метод точного определения формы линз, машину для шлифования ахроматических линз, что оказало большое влияние на практическую оптику. Сконструировал спектрометр, ахроматический микроскоп, окулярный микрометр и гелиометр. Создал фирму “Утцшнайдер и Фраунгофер”, которая производила первоклассные оптические инструменты, получившие мировую известность. Независимо от У. Волластона наблюдал (1814–15), первый исследовал и объяснил темные линии в солнечном спектре, измерил с помощью дифракции их положение в спектре. Дифракцию изучал в параллельных лучах сначала от одной, а затем от многих щелей. С 1821 г. широко применял дифракционные решетки для исследования спектров.

Фраунгофером было обнаружено большое число ярких линий с постоянным положением в спектрах солнечного света и электрических искр, а также темные линии, обусловленные поглощением, т.е. заложены основы спектрального анализа.

Опыты Фраунгофера по исследованию спектров испускания были продолжены в Англии Брюстером, Джоном Гершелем (1792–1871) и Тальботом. В 1835 г. английский физик Чарльз Уитстон (1802–1875), исследуя спектр электрической искры, установил, что линии спектра определяются лишь материалом электродов и не зависят от газа, в котором происходит искровой разряд. А в 1855 г. шведский ученый Андерс Йонас Ангстрем (1814–1874) показал, что при разрежении можно исключить влияние электродов и получать чистые спектры газов.

Окончательно принципы спектрального анализа были сформулированы немецкими учеными Кирхгофом и Робертом Бунзеном (1811–1899).

Кирхгоф Густав Роберт (12.03.1824–17.10.1887) – немецкий физик, член Берлинской (1875) и Петербургской Академий наук (1862). Родился в Кенингсберге в семье юриста. Окончил Кенингсбергский университет (1846), профессор Бреславльского (с 1850), Гедельбергского (с 1854) и Берлинского (с 1875) университетов.

Работы во многих областях физики. В 1845–47 гг. открыл закономерности протекания электрического тока в разветвленных цепях (правила Кирхгофа), в 1857 г. построил общую теорию тока в проводниках. Совместно с Бунзеном в 1859 г. разработал метод спектрального анализа и открыл новые элементы: цезий (1860) и рубидий (1861). Установил (1859) один из основных законов теплового излучения, предложил (1862) модель абсолютно черного тела. Открыл обращение спектров (1860), объяснил происхождение фраунгоферовых линий. Развил (1882) строгую теорию дифракции, усовершенствовал теорию магнетизма Пуассона. Исследовал упругость твердых тел, колебания пластин и дисков, форму свободной струи жидкости, движение тел в жидкой среде.

На основании своих экспериментов и данных других исследователей Кирхгоф и Бунзен установили, что каждая ли-

ния в спектре характерна для излучающего его элемента и все газы поглощают в точности те же длины волн, которые способны испускать. Спектральный анализ со второй половины 19 века стал мощным инструментом физических исследований.

3.3. Термодинамика и молекулярная физика

Учение о теплоте зародилось в 18 веке. До этого времени понятия температуры и теплоты практически не различались. Работами ученых 18 века было начато количественное исследование тепловых явлений. В разработку шкал для измерения температуры основной вклад внесли немецко-голландский физик Габриэль Даниэль Фаренгейт (1686–1736), французский ученый Рене Антуан Фершо де Реомюр (1683–1757) и шведский ученый Андерс Цельсий (1701–1744). Голландский физик Питер ван Мушенбрек (1692–1761) провел первые исследования теплового расширения твердых тел и использовал расширение железного бруска для измерения температуры плавления ряда металлов.

Количественные исследования смешивания воды разных температур, проведенные российским физиком Георгом Вильгельмом Рихманом (1711–1753), изучение шотландским ученым Джозефом Блэком (1728–1799) процессов плавления и испарения и другие работы в области тепловых явлений привели к разделению понятий теплоты и температуры. Были введены единицы измерения количества тепла (калория), понятия теплоемкости, теплот плавления и парообразования. Для объяснения природы теплоты использовались две теории: по одной теплота связывалась с движением частиц, а по другой рассматривалась специальная материя – теплород. Следует отметить работы в этом направлении Ломоносова, который был ярким противником теории теплорода.

Ломоносов Михаил Васильевич (19.11.1711–15.04.1765) – русский ученый-энциклопедист. Родился в с. Денисовка Архангельской губернии в семье крестьянина. В 1731–35 гг. учился в Славяно-греко-латинской академии в Москве, в 1735–36 гг. – в университете при Петербургской АН, в 1736–41 гг. – за границей в Марбурге и Фрейберге. С 1742 г. – адъютант, с 1745 г. – академик Петербургской АН.

Работы в области физики, химии, астрономии, горного дела, металлургии и др. Экспериментально доказал (1756) закон сохранения вещества, который был окончательно подтвержден А.Лавуазье в 1774 г. Представлял природу как единое целое, где все взаимосвязано и не исчезает бесследно (закон сохранения материи и движения Ломоносова). Был основоположником внедрения физических методов в химию, разработал конструкции различных приборов (около 100). Был непримиримым противником невесомых (флюидов), является одним из основоположников молекулярно-кинетической теории теплоты. Нагревание связывал с возрастанием поступательного и вращательного движения, что изложил в работе “Размышления о причине теплоты и холода” (1747–48). Вместе с Г.В. Рихманом проводил исследования по электричеству, используя для этого изобретенный Рихманом “электрический указатель” – прообраз электрометра. Разработал теорию атмосферного электричества. Сконструировал телескоп-рефлектор (ночезрительная труба), с помощью которой в 1761 г. наблюдал прохождение Венеры по диску Солнца и открыл на ней атмосферу.

Велик вклад Ломоносова в развитие науки, культуры и образования, он заложил основы естествознания в России. В 1755 г. по его инициативе и проекту был открыт Московский университет, носящий теперь его имя. АН СССР учредила Золотую медаль им. М.В.Ломоносова.

Ломоносов заложил основы молекулярно-кинетической теории, правда, представляя молекулы в виде вращающихся шариков, т.к. упругих столкновений между ними быть, по его представлениям, не могло. Но преимущество в 18 веке в соответствии с распространенной общей научной методологией того времени, широко использовавшей представления о различных флюидах, отдавалось теории теплорода, как более наглядной и допускающей простые аналогии, а несостоятельность ее была показана позднее.

В 19 веке развивалось учение о теплоте и были сформулированы основные положения термодинамики и молекуляр-

но-кинетической теории. В конце 18 – начале 19 века проводилось много исследований теплового расширения тел. Особое внимание обращалось на его равномерность, и был установлен ряд аномалий для твердых и жидких тел: анизотропия расширения кристаллов, максимум плотности воды при 4°C , сжатие иодистого серебра при нагреве от -10 до 70°C и др. Для теплового расширения воздуха Вольтой в 1793 г. была установлена равномерность расширения, а в 1802 г. французский физик и химик Жозеф Луи Гей-Люссак (1778–1850) сформулировал на основе собственных экспериментов и исследований своего соотечественника Жака Шарля (1746–1823) закон о том, что все газы расширяются равномерно и одинаково, и рассчитал коэффициент расширения.

Вольта Алессандро (18.02.1745–05.03.1827) – итальянский физик, химик и физиолог, член Лондонского королевского общества и Парижской АН, медаль Копли (1794). Родился в Комо в знатной дворянской семье. Учился в школе ордена иезуитов. В 1774–79 гг. преподавал физику в гимназии в Комо, с 1779 г. – профессор Павийского университета, в 1815–19 гг. – директор философского факультета Падуанского университета.

Работы в области электричества, молекулярной физики. Развил теорию лейденской банки (1769), построил смоляной электрофор (1775), электроскоп с соломинками (1781), конденсатор (1783), электрометр и другие приборы, описал действие телеграфа. В 1792 г. начал повторять опыты Л.Гальвани с “животным” электричеством и пришел к выводу, что причиной кратковременного тока является наличие цепи из двух классов разнородных проводников (двух металлов и жидкости). В конце 1799 г. сконструировал первый источник длительного гальванического тока – вольтов столб. Открыл (1795) взаимную электризацию разнородных металлов при контакте и составил ряд напряжений для металлов (1801). Исследовал тепловое расширение воздуха, наблюдал диффузию, установил проводимость пламени (1787). Обнаружил метан (1776) и объяснил его образование разложением животных и растительных останков. Его именем названа единица напряжения – *вольт*.

В том же 1802 г. Дальтон сформулировал свой закон о парциальных давлениях.

Дальтон Джон (06.09.1766–27.07.1844) – английский химик и физик, член Лондонского королевского общества (1822), Парижской АН. Родился в Иглсфилде в бедной семье. Образование получил самостоятельно. Был учителем математики в Манчестере, с 1799 г. читал частные лекции.

Физические исследования в области молекулярной физики: адиабатическое сжатие и расширение, насыщенный и перегретый пар, зависимость растворения газов от их парциального давления.

Один из основоположников атомистических представлений в химии, открыл закон кратных отношений, ввел понятие атомного веса и составил первую таблицу атомных весов элементов. В 1794 г. провел физиологические исследования, открыл слепоту к отдельным цветам (дальтонизм).

Многочисленные работы привели к заключению о различии теплоемкостей воздуха при постоянном объеме и постоянном давлении. На это различие обратил внимание Лаплас, и в 1816 г. он объяснил несоответствие экспериментального значения скорости звука в воздухе получаемому из теории Ньютона изменением температуры при чередующихся сжатиях и разрежениях воздуха.

Лаплас Пьер Симон (28.03.1749–05.03.1827) – французский астроном, физик и математик, член Парижской (1785) и Петербургской (1802) Академий наук. Родился в Бомон-ан-Оже. Учился в школе бенедиктинцев. С 1771 г. – профессор Военной школы в Париже, с 1790 г. – председатель Палаты мер и весов.

Основные работы в области небесной механики подытожены в пятитомнике “Трактат о небесной механике” (1798–1825). Сделал почти все, чего не могли сделать его предшественники для объяснения движения тел Солнечной системы на основе закона всемирного тяготения. Предложил гипотезу происхождения Солнечной системы (1796). В небесной механике видел образец окончательной формы научного познания. Лапласовский детерминизм стал нарицательным обозначением механистической методологии классической физики.

Физические исследования относятся к молекулярной физике, теплоте, акустике, электричеству, оптике. В 1821 г. установил закон изменения плотности воздуха с высотой (барометрическая формула). В 1806–07 гг. разработал теорию капиллярности, вывел формулу для скорости звука

в газах с поправкой на адиабатичность. Активно выступал против теории флогистона, вместе с А. Лавуазье впервые применил для измерения линейного расширения тел зрительную трубу, при помощи сконструированного им ледяного калориметра определил удельные теплоемкости многих веществ (1783).

В математике известен “оператором Лапласа”, “преобразованием Лапласа”, “интегралом Лапласа”, “теоремой Лапласа”, является одним из создателей теории вероятностей. Как председатель Палаты мер и весов активно внедрял в жизнь метрическую систему мер. Активно участвовал в реорганизации высшего образования во Франции, в частности в создании Нормальной и Политехнической школ. Участвовал в политической жизни, при всяком перевороте поддерживая победителей. Активный член Якобинского клуба, при Наполеоне был министром внутренних дел, членом сената, получил титул графа. В 1814 г. проголосовал за низложение Наполеона, при реставрации Бурбонов получил пэрство и титул маркиза.

Лаплас ввел в формулу Ньютона поправку, соответствующую отношению теплоемкостей при постоянном давлении и объеме, что устранило несоответствие и послужило основой для экспериментального метода определения этого отношения для всех газов.

Одновременно в основном усилиями химиков развивалась атомистика. Один из создателей ее основ Дальтон в 1803 г. сформулировал закон кратных отношений, и в 1808 г. он опубликовал труд “Новая система химической философии”, в котором изложил атомистическую теорию. По этой теории соединения состоят из атомов (по Демокриту) элементов, которые различаются по атомному весу. Шведский химик Иенс Якоб Берцелиус (1779–1848) внес большой вклад в атомистическую теорию и в 1826 г. опубликовал таблицу атомных весов, которые в основном совпадают с принятыми в настоящее время. Он также предложил химические символы элементов по первым буквам их латинского названия.

На основе атомных весов с учетом химических свойств элементов Менделеев сделал самое гениальное открытие в

химии 19 века – периодический закон и составил периодическую таблицу химических элементов.

Менделеев Дмитрий Иванович (08.02.1834–2.02.1907) – русский ученый, член-корреспондент Петербургской АН (1876), член многих иностранных академий наук и обществ, в его честь назван 101-й химический элемент – *менделевий*. Родился в Тобольске в семье директора гимназии. Окончил Главный педагогический институт в Петербурге (1855). В 1857–90 гг. преподавал в Петербургском университете (с 1865 – профессор). В 1890 г. покинул университет из-за конфликта с министром просвещения. С 1892 г. – ученый-хранитель Депо образцовых гирь и весов, которое по его инициативе в 1893 г. реорганизовано в Главную палату мер и весов, ее управляющий в 1893–1907 гг.

Основные работы в области химии, а также физики, метрологии, метеорологии и др. Открыл в 1869 г. один из фундаментальных законов природы – периодический закон химических элементов и на его основе создал периодическую таблицу. Исправил значения атомных весов многих элементов, предсказал существование и свойства новых, еще не открытых элементов (галлий, германий, скандий) и вычислил приблизительно их атомные веса. Последующие открытия блестяще подтвердили эти предсказания и периодический закон. Предсказал существование критической температуры (1860), обобщив уравнение Клайперона, вывел в 1874 г. общее уравнение состояния идеального газа (уравнение Клайперона-Менделеева). В 1887 г. осуществил беспилотный полет воздушного шара для наблюдения солнечного затмения и изучения верхних слоев атмосферы. Разработал физическую теорию весов, конструкцию коромысла и арретира, точные приемы взвешивания. В 1888 г. выдвинул идею подземной газификации угля.

АН СССР учредила премию и золотую медаль Менделеева за лучшие работы по химии.

В 1808 г. Гей-Люссак экспериментально открыл закон объемных отношений, по которому образующие соединения газы занимают объемы в отношении кратных целых чисел. Интерпретация этого закона в ряде случаев противоречила данным Дальтона, что вызвало резкие выступления последнего. Но в 1811 г. итальянский химик Амедео Авогадро (1776–1856) сформулировал свой закон о том, что при одинаковых внешних условиях (температура и давление) в рав-

ных объемах газов содержится равное число частиц. При этом допускалось, что молекула газа может состоять из нескольких атомов, что разрешало противоречие между результатами Гей-Люссака и Дальтона.

Успехи учения об атомно-молекулярном строении вещества, в особенности газов, безусловно, оказали влияние на становление термодинамики и молекулярной физики и способствовали развитию механической теории теплоты.

Во второй половине 18 века господствовала теория теплорода, но уже в начале 19 века она стала уступать свои позиции механической теории теплоты. Этому в немалой степени способствовали начатые еще в 1765 г. Уаттом методические экспериментальные изучения паровой машины, которые затем были продолжены широким кругом исследователей.

Уатт Джеймс (19.01.1736–19.08.1819) – шотландский изобретатель, член Эдинбургского (1784) и Лондонского (1785) королевских обществ, Парижской АН (1814). Родился в Гриноке. С 1756 г. работал механиком в университете в Глазго.

Исследовал свойства водяного пара. При детальном изучении паровой машины Ньюкомена ввел много усовершенствований: конденсатор, центробежный регулятор ввода пара, золотник, паровую рубашку вокруг цилиндра, механизм передачи движения от поршня к балансиру и др. В 1784 г. создал универсальный паровой двигатель с непрерывным вращением с высокой эффективностью, получивший широкое распространение и сыгравший большую роль в промышленной революции 19 века. Ввел первую единицу мощности – лошадиную силу. Сконструировал ряд приборов: ртутный манометр и вакуумметр, водомерное стекло, индикатор давления. Изобрел индикаторные чернила, установил состав воды. Его именем названа единица мощности – *ватт*.

Именно в итоге работ по решению практической проблемы увеличения эффективности паровой машины Карно сформулировал основные положения термодинамики об эквивалентности работы и теплоты (1-е начало) и о необходимости холодильника в тепловой машине.

Карно Никола Леонард Сади (01.04.1796–24.08.1832) – французский физик и инженер. Родился в Париже в семье выдающегося военачальника, политического деятеля и ученого Л.Карно. Окончил Политехническую школу (1814). В 1814–19 и 1826–27 гг. – на военной службе в качестве инженера.

Является одним из создателей термодинамики. В 1824 г. в сочинении “Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развить эту силу”, исходя из невозможности создания вечного двигателя, впервые показал, что полезную работу можно получить только при переходе тепла от нагретого тела к более холодному (2-е начало термодинамики). Только разность температур нагревателя и холодильника обуславливает отдачу тепловой машины, а природа рабочего тела не играет никакой роли (теорема Карно). Ввел понятия кругового и обратимого процессов, показал преимущества применения в паровых машинах пара высокого давления и его многократного расширения, сформулировал принцип работы газовых тепловых машин.

Но идеи Карно поначалу остались почти незамеченными, что объясняется, прежде всего, их новизной. И лишь в 1834 г. французский физик и инженер Бенуа Поль Эмиль Клайперон (1799–1864) обратил внимание на эти работы, заменил первоначальный цикл Карно циклом из двух изотерм и двух адиабат и ввел уравнение состояния газа, объединившее законы Бойля и Гей-Люссака.

Окончательно же идею об эквивалентности работы и теплоты в 1842–43 гг. сформулировали немецкий врач Юлиус Роберт Майер (1814–1878) и Джоуль, которые также численно определили механический эквивалент теплоты.

Джоуль Джеймс Прескотт (24.12.1818–11.10.1889) – английский физик, член Лондонского королевского общества (1850). Родился в Солфорде в семье владельца пивоваренного завода. Получил домашнее образование. Первые уроки по физике ему давал Дальтон, под влиянием которого были начаты экспериментальные исследования.

Работы в области электромагнетизма, теплоты, кинетической теории газов. Установил в 1841 г. зависимость выделяемого тепла от величины проходящего тока и сопротивления проводника (закон Джоуля-Ленца). Исследовал тепловые явления при сжатии и расширении газов, показал, что внутренняя энергия идеального газа не зависит от его объема. Совместно с У.Томсоном в 1853–54 гг. открыл явление охлаждения

газа при его адиабатическом протекании через пористую перегородку (эффект Джоуля-Томсона). Построил термодинамическую температурную шкалу, теоретически определил теплоемкость ряда газов. Вычислил скорость движения молекул газа и установил ее зависимость от температуры, давление считал результатом ударов частиц газа о стенки сосуда. Открыл явление магнитного насыщения (1840) и магнитострикции (1842). Его именем названа единица энергии – *джоуль*.

В 1847 г. Гельмгольц вводит понятие энергии, которая не уничтожается, а лишь переходит из одной формы в другую, т.е. сформулировал закон сохранения энергии во всех физических явлениях.

Гельмгольц Герман Людвиг Фердинанд (31.08.1821 – 08.09.1894) – немецкий естествоиспытатель, член Берлинской (1871), Петербургской (1868) и других академий наук и научных обществ. Медаль Копли (1873). Родился в Потсдаме в семье преподавателя гимназии. Учился в Военно-медицинском институте и университете в Берлине. В 1842 г. получил степень доктора по физиологии. В 1849–55 гг. – профессор физиологии Кёнигсбергского, в 1858–71 гг. – Гейдельбергского университетов, в 1871–88 гг. – профессор физики Берлинского университета и с 1888 гг. – президент Физико-технического института (Берлин-Шарлоттенбург).

Физические исследования в областях электродинамики, оптики, теплоты, акустики, гидродинамики. Разработал термодинамическую теорию химических процессов, введя понятия свободной и связанной энергии. Показал колебательный характер электрических процессов в контуре из индуктивности и конденсатора, развил теорию электродинамических процессов в проводящих неправильных телах, теорию аномальной дисперсии света.

Существенные успехи в физиологической акустике и физиологии зрения, разработал количественные методы физиологических исследований, впервые измерил скорость распространения нервного возбуждения.

Заложил основы теории вихревого движения в гидродинамике и теории разрывных движений в аэродинамике. Разработанный Гельмгольцем принцип механического подобия объяснил ряд метеорологических явлений и механизм образования морских волн.

Взгляды Гельмгольца стали основой энергетической школы, для которой, в отличие от механистической концепции мира с понятиями материя и сила, энергия – единствен-

ная физическая реальность, а материя – лишь кажущийся ее носитель.

Основателем механической теории теплоты был Клаузиус, начавший в 1850 г. исследования принципа эквивалентности теплоты и работы и закона сохранения энергии.

Клаузиус Рудольф Юлиус Эммануэль (02.01.1822–24.08.1888) – немецкий физик, член-корреспондент Берлинской АН (1876), член Петербургской (1878) и других академий наук и научных обществ. Родился в Кеслине в семье пастора. Окончил Берлинский университет, степень доктора (1847). Преподавал в Королевской артиллерийской технической школе в Берлине. С 1855 г. преподавал в Цюрихском политехникуме, с 1867 г. – профессор Вюрцбургского и с 1869 г. – Боннского университетов.

Работы в области молекулярной физики, термодинамики, теоретической механики, математической физики. В 1850 г. независимо от У. Ранкина получил общее соотношение между теплотой и работой (1-е начало термодинамики) и разработал идеальный термодинамический цикл паровой машины (цикл Ранкина-Клаузиуса). Дал математическое выражение 2-го начала как в случае обратимых круговых процессов, так и необратимых, показал, что изменение энтропии определяет направление протекания процесса. Ввел в кинетическую теорию газов статистические представления, понятие о сфере действия молекул, первый теоретически вычислил давление газа на стенке сосуда. Доказал в 1870 г. теорему вириала, связывающую среднюю кинетическую энергию системы частиц с действующими на нее силами. Обосновал связь температуры плавления вещества с давлением (уравнение Клайперона-Клаузиуса).

Теоретически обосновал закон Джоуля-Ленца, развил теорию термоэлектричества, ввел представление об электролитической диссоциации. Разработал теорию поляризации и независимо от О. Моссотти вывел соотношение между диэлектрической проницаемостью и поляризуемостью диэлектрика (формула Клаузиуса-Моссотти).

Клаузиус ввел понятие внутренней энергии и придал 1-му началу точную математическую форму, а также переформулировал 2-е начало термодинамики: невозможен самопроизвольный переход тепла от более холодного к более нагретому телу. В 1865 г. он ввел новую величину – энтропию, сыгравшую фундаментальную роль в термодинамике. Эта величина постоянна в идеальных обратимых процессах и возрастает для реальных процессов.

Реализация связи между механическими процессами и тепловыми явлениями была осуществлена в кинетической теории газов. Гельмгольц в 1847 г. первым выдвинул гипотезу о том, что внутренняя причина взаимопревращения механической работы и теплоты лежит в сведении тепловых явлений к явлениям механического движения. Этот путь был найден в 1856 г. немецким физиком Августом Карлом Кренингом (1822–1879), а годом позже Клаузиусом, они оба и построили кинетическую теорию. Было получено уравнение состояния с учетом средней кинетической энергии молекул и введена связь ее с температурой. Кинетической теории удалось объяснить многие явления: диффузию, растворение, теплопроводность и др. Учет взаимодействия между молекулами и конечности их размеров позволил голландскому физику Иоганнесу Дидерику Ван дер Ваальсу (1837–1923) в 1873 г. ввести поправки в уравнение идеального газа и описать поведение реальных газов.

Формулировка 2-го начала термодинамики не соответствовала традиционным механическим представлениям, где все процессы обратимы. Кинетическая теория делает это несоответствие противоречием. Эти трудности были преодолены Максвеллом и Больцманом, которые ввели понятие вероятности физических явлений и поставили на место динамических законов в механике статистические законы в термодинамике.

Максвелл Джеймс Клерк (13.06.1831–05.11.1879) – английский физик, член Эдинбургского (1855) и Лондонского (1861) королевских обществ. Родился в Эдинбурге в семье юриста. Учился в Эдинбургском (1847–50) и Кембриджском (1850–54) университетах. По окончании последнего преподавал в Тринити-колледж, в 1856–60 гг. – профессор Абердинского университета, в 1860–65 гг. – Лондонского королевского колледжа, с 1871 г. – первый профессор экспериментальной физики в Кембридже. Под его руководством создана Кавендишская лаборатория в Кембридже.

Работы в области электродинамики, молекулярной и статистической физики, оптики, механики, теории упругости. Установил статистический закон распределения молекул газа по скоростям (распределение Максвелла), развил теорию переноса, применив ее к процессам диффу-

зии, теплопроводности и внутреннего трения. Создал теорию электромагнитного поля (уравнения Максвелла), введя понятие тока смещения и само определение электромагнитного поля. Развил идею электромагнитной природы света и раскрыл связь между оптическими и электромагнитными явлениями. Установил соотношения между основными теплофизическими параметрами, развивал теорию цветного зрения. Сконструировал ряд приборов.

Впервые (1879) опубликовал рукописи работ Г.Кавендиша, был известным популяризатором физических знаний. Его именем названа единица магнитного потока – *максвелл*.

Больцман Людвиг (20.02.1844–05.09.1906) – австрийский физик, член Австрийской (1895), Петербургской (1899) и других академий наук. Родился в Вене в семье служащего. Окончил Венский университет (1866). Профессор университетов в Граце (1869–73 и 1876–89), Вене (1873–76 и 1894–1900 и с 1903), Мюнхене (1889–94), Лейпциге (1900–02).

Работы в области кинетической теории газов, термодинамики и теории излучения. Вывел закон распределения молекул газа по скоростям (статистика Больцмана). Применив статистические методы, вывел кинетическое уравнение газов, являющееся основой физической кинетики. Связал энтропию системы с вероятностью ее состояния и доказал статистический характер 2-го начала термодинамики. Статистическая интерпретация 2-го начала вместе с Н-теоремой Больцмана легли в основу теории необратимых процессов.

Впервые применил принципы термодинамики к излучению и теоретически получил закон теплового излучения, который был экспериментально установлен Й.Стефаном. Из термодинамических соображений подтвердил существование по гипотезе Д.Максвелла давления света.

Непрерывные нападки со стороны противников кинетической теории газов вызвали у Больцмана манию преследования, что, возможно, привело к самоубийству.

Второе начало термодинамики уже рассматривается не как достоверный закон природы, а как вероятный. Здесь впервые классическая физика сталкивается с дуализмом явлений природы.

Следует сказать, что термодинамика только в самых своих истоках опиралась на представления механической теории теплоты. По мере развития она превратилась в самостоятельный раздел физики, методология и мощный аппарат

которого стали применяться в различных областях физики и химии. Этому в немалой степени способствовали достаточно общие представления о термодинамических потенциалах, основной вклад в развитие которых внес американский физик Джозайя Уиллард Гиббс (1839–1903). В частности, введением понятий “свободная энергия” и “химический потенциал” он, по существу, положил начало новой дисциплине – физической химии и одному из основных ее направлений – термодинамике химических реакций.

3.4. Электромагнетизм

В 18 веке продолжались работы по электризации тел, начатые Гильбертом. Многочисленные эксперименты, проведенные в различных лабораториях, позволили обнаружить не только новые материалы, способные электризоваться при трении, но и открыть ряд новых свойств этого явления. Английский физик Стивен Грей (1670–1735) показал, что электричество может распространяться по некоторым телам, т.е. ввел понятия проводника и изолятора. Были усовершенствованы устройства для получения электричества – электростатические машины, созданы конденсаторы (лейденская банка).

Интерес к новым явлениям широко распространялся в обществе благодаря различным фокусам и демонстрациям на публике. Систематические исследования с электрическими явлениями провел Франклин и сформулировал в 1747 г. свою теорию с использованием понятия электрического флюида, избыток или недостаток которого обуславливает электризацию тел.

Франклин Бенджамин (17.01.1706–17.04.1790) – американский физик, член Лондонского королевского общества (1756), Петербургской АН (1789), видный политический и общественный деятель, медаль Копли (1753). Родился в Бостоне в семье предпринимателя. Образование получил самостоятельно. В 1727 г. организовал в Филадельфии собственную типографию, в 1731 г. – первую в Америке публичную библиотеку, в 1743 г. – американское философское общество (первое в Америке науч-

но-исследовательское учреждение), в 1751 г. – Пенсильванский университет. 1737–53 гг. – почтмейстер Пенсильвании, 1753–74 гг. – североамериканских колоний. Участвовал в составлении “Декларации независимости” и конституции США.

В 1746–54 гг. провел экспериментальные исследования по электричеству, объяснил действие лейденской банки, построил первый плоский конденсатор, изобрел в 1750 г. молниеотвод, доказал в 1753 г. тождественность земного и атмосферного электричества, электрическую природу молнии. Разработал (1750) теорию электрических явлений, ввел понятия положительного и отрицательного электричества. Исследовал вопросы теплопроводности металлов, распространения звука в воздухе и воде. Автор ряда изобретений (применение искры для взрыва пороха и др.).

Работы Франклина Лондонское королевское общество признало недостойными публикации, и они были опубликованы его другом английским физиком Питером Коллинсоном (1694–1768) за свой счет. Успех публикации был огромен, а после того, как в 1752 г. был реализован его эксперимент с молниеотводом, подтверждающий эквивалентность электрической искры и молнии, научный энтузиазм к исследованию электрических явлений распространился очень широко. Королевское общество в 1753 г. присудило Франклину Коплеевскую медаль, а в 1756 г. избрало своим членом.

Общая, уже сложившаяся к тому времени методология научных исследований требовала количественных измерений. И основателем электрической метрологии был Вольта, который также сконструировал весьма точные электрометры. Блестящие исследования в области электричества провел Кулон.

Кулон Шарль Огюст (14.06.1736–23.08.1806) – французский физик и военный инженер, член Парижской АН (1803). Родился в Ангулеме в семье чиновника. Окончил военно-инженерную школу в Мезьере (1761), после чего несколько лет находился на военной службе на Мартинике, где руководил строительством флота. После возвращения во Францию служил в военно-инженерном корпусе, уделяя со временем все больше внимания научным исследованиям.

Работы в области механики, электричества и магнетизма. Первая научная работа, начатая еще на Мартинике, “О приложении правил мак-

симумов и минимумов к некоторым проблемам статики, относящимся к архитектуре” определила прогресс строительной механики 18–19 веков. Сформулировал в 1781 г. законы трения скольжения и качения. Исследовал и сконструировал в 1784 г. крутильные весы, с помощью которых в 1785 г. установил основной закон электростатики, а в 1788 г. распространил его на взаимодействия магнитных полюсов. Выдвинул гипотезу магнетизма, по которой магнитные жидкости не свободны, а связаны с отдельными молекулами, поляризующимися в процессе намагничивания. Сконструировал магнитометр (1785). Его именем названа единица заряда – *кулон*.

Кулон сконструировал крутильные весы высокой чувствительности, установив предварительно, что сила закручивания нити зависит от вещества нити, пропорциональна углу закручивания и четвертой степени диаметра нити и обратно пропорциональна ее длине. С помощью этих весов Кулон экспериментально установил, что силы притяжения и отталкивания зарядов обратно пропорциональны квадратам расстояний. Кулоном же была постулирована пропорциональность силы взаимодействия произведению электрических зарядов, т.е. за четыре года интенсивной работы с 1785 по 1789 г. им был заложен фундамент современной электростатики. Поскольку электростатические силы так же зависят от расстояния, как и ньютоновские, то здесь можно использовать все свойства ньютоновских сил, найденные в теоретической механике.

Следует отметить, что, используя также крутильные весы, Кавендиш в 1798 г. доказал справедливость закона тяготения для обычных (не небесных) тел.

Кавендиш Генри (10.10.1731–24.02.1810) – английский физик и химик, член Лондонского королевского общества (1760). Родился в Ницце в семье лорда. В 1749–53 гг. учился в Кембриджском университете. Большую часть жизни провел в одиночестве, полностью отдаваясь научной работе в собственной лаборатории.

Публиковал только те статьи, в которых был полностью уверен, из-за чего многие работы по электричеству оставались неизвестными.

Изданные в 1879 г. Дж. Максвеллом эти работы показали, что еще в 1771 г. он пришел к выводу об обратной пропорциональности силы электростатического взаимодействия квадрату расстояния. Ввел понятие емкости, открыл влияние среды на емкость конденсатора и определил диэлектрическую проницаемость ряда веществ. В 1798 г. измерил гравитационную силу притяжения двух небольших сфер, определил гравитационную постоянную, массу и среднюю плотность Земли. Получил в 1766 г. водород и определил его свойства, установил состав воды и показал, что ее можно получить искусственным путем, определил содержание кислорода в воздухе (1781).

С первых же случаев поражения электрическим разрядом возникли предположения о “животном электричестве”, регуляторе жизни животных. В 1773 г. появился мемуар Джона Уолша об электрическом скате, а у физиологов возникла гипотеза о “животной эссенции”, которая подобно электрическому флюиду ответственна за перенос нервных сигналов.

Профессор анатомии Болонского университета Луиджи Гальвани (1737–1798) провел электрофизиологические опыты и пришел к выводу об одинаковом эффекте сокращения мышц лягушки от физиологического и электрического воздействия. Результаты поразили Вольту, особое внимание которого привлекла одна особенность гальванического опыта: передача сигнала для сокращения мышцы проводниками однородными или составленными из разных металлов осуществлялась по-разному.

Вольт вначале провел опыт с обнаружением кислото-го вкуса на языке, если к кончику его прикладывать один конец, а к середине – другой конец дуги, составленной из разных металлов. Затем он приступил к чисто физическим исследованиям контактного электричества и получил закон контактных напряжений, расположив металлы в “ряд напряжений”. В итоге Вольт изобрел новый прибор, который сначала назвал “искусственным электрическим органом”, а потом “электродвижущим аппаратом”. Французы позже стали называть его “гальваническим, или вольтовым столбом”.

Изобретение гальванических элементов (гораздо более удобных электрических источников, чем электростатические машины) существенно расширило круг исследований по электричеству. Прежде всего, была показана идентичность электрического и гальванического “флюидов”, разница между которыми сначала проявлялась в ряде физиологических и химических процессов (электрический удар, химическое действие тока и т.п.).

Уже после первых исследований в области электричества и магнетизма возникали предположения о связи между ними. Поиски этой связи интенсифицировались после открытия законов Кулона. Решающий эксперимент в этой области в 1820 г. поставил Эрстед, который обнаружил отклонение магнитной стрелки проводником с током.

Эрстед Ханс Кристиан (14.08.1777–09.03.1851) – датский физик, неприменный секретарь Датского королевского общества (с 1815), почетный член Петербургской (1830) и других академий наук. Родился в Рудкёбинге в семье аптекаря. Окончил Копенгагенский университет: диплом фармацевта (1797), степень доктора (1799). С 1806 г. – профессор этого университета, с 1829 г. одновременно директор Копенгагенской политехнической школы.

Работы в области электричества, акустики, молекулярной физики. Для научного творчества Эрстеда характерен поиск взаимосвязи между различными явлениями природы. Обнаружение им действия электрического тока на магнитную стрелку привело к возникновению новой области физики – электромагнетизма. В 1822–23 гг. независимо от Ж.Фурье перероткрыл термоэлектрический эффект и построил первый термоэлемент. Экспериментально изучал сжимаемость и упругость жидкостей и газов, изобрел пьезометр.

Был блестящим лектором и популяризатором, организовал в 1824 г. Общество по распространению естествознания, создал первую в Дании физическую лабораторию. Его именем названа единица напряженности магнитного поля – *эрстед*.

Следует отметить один важный факт в опыте Эрстеда: обнаруженный эффект не вписывался в ньютоновскую концепцию взаимодействия, где все силы были центральными. В том же 1820 г. французские физики Био и Феликс Савар

(1791–1836) экспериментально исследовали зависимость величины магнитного поля от расстояния от проводника с током до точки наблюдения. Однако такой зависимости в общем виде им получить не удалось. Эта задача была решена Лапласом, и полученный им общий закон носит название закона Био-Савара-Лапласа.

Одновременно Ампер открыл взаимодействие токов, которое он назвал электродинамическим.

Ампер Андре Мари (22.01.1775–10.06.1836) – французский физик, математик и химик, член Парижской (1814), Петербургской (1830) и других академий наук. Родился в Лионе в семье коммерсанта. Получил домашнее образование. В 1801 г. стал преподавать физику и химию в центральной школе г. Бурга. В 1805–24 гг. работал в Политехнической школе в Париже (с 1809 г. – профессор), с 1824 г. – профессор Коллеж де Франс.

Физические работы посвящены электромагнетизму. Установил закон взаимодействия электрических токов (закон Ампера), разработал теорию магнетизма. Согласно этой теории все магнитные взаимодействия сводятся к взаимодействию круговых электрических молекулярных токов, каждый из которых эквивалентен плоскому магниту – магнитному листку. Ампер впервые указал на тесную связь между электрическими и магнитными процессами. Открыл (1822) магнитный эффект катушки с током – соленоида, который является эквивалентом постоянного магнита, выдвинул идею усиления магнитного поля путем помещения внутрь соленоида железного сердечника. В 1820 г. предложил использовать электромагнитные явления для передачи сигналов, изобрел коммутатор, электромагнитный телеграф. Сформулировал понятие “кинематика”, проводил исследования в области философии и ботаники. Его именем названа единица тока – *ампер*.

Ампер также предложил гипотезу, согласно которой магнит представляет собой совокупность токов, и вывел формулу взаимодействия элементов тока. Развитая им теория позволяла объяснить различные виды взаимодействия: магнитостатические, электромагнитные и электродинамические. Проведенные Эрстедом, Ампером и другими учеными исследования действия магнитов на проводники с током и обнаруженное в 1821 г. Фарадеем вращение провод-

ника с током в магнитном поле легли в основу создания гальванометров, которые в различных модификациях широко использовались при исследовании электромагнитных явлений.

Фарадей Майкл (22.09.1791–25.08.1867) – английский физик, член Лондонского королевского общества (1824), Петербургской АН (1830). Родился в Лондоне в семье кузнеца. С 12 лет работал разносчиком газет, затем подмастерьем в переплетной мастерской. Учился самостоятельно. В 1813 г. стал ассистентом Г.Дэви в Королевском институте в Лондоне, в 1825 г. – директором лаборатории, сменив на этом посту Г.Дэви, в 1833–62 гг. – профессор кафедры химии.

Работы в области электричества, магнетизма, магнитооптики, электрохимии. Открытое Фарадеем вращение магнита вокруг проводника с током и проводника с током вокруг магнита стало основой лабораторной модели электродвигателя и наглядно выявило связь между электрическими и магнитными явлениями, что в итоге привело к открытию и установлению законов электромагнитной индукции. Открыл в 1835 г. экстратоки при замыкании и размыкании. Доказал тождественность различных видов электричества: “животного”, “магнитного”, гальванического, термоэлектричества и электричества, возникающего при трении. В результате работ по исследованию природы электрического тока в растворах кислот, солей и щелочей открыл в 1833 г. законы электролиза (законы Фарадея), которые были важным аргументом в пользу дискретности электричества. Ввел понятия: подвижность, катод, анод, ионы, электролиз, электролиты, электроды; изобрел вольтметр. В 1845 г. открыл диамагнетизм, в 1847 г. – парамагнетизм. Обнаружил вращение плоскости поляризации света в магнитном поле (эффект Фарадея), что явилось доказательством связи света с магнетизмом и положило начало магнитооптике.

Фарадей первым ввел понятие поля, представление об электрических и магнитных силовых линиях. Идея поля кардинально изменила существовавшее у Ньютона и его последователей представление о дальнем действии и пространстве как только пассивномместилище тел и электрических зарядов. В 1837 г. обнаружил влияние диэлектриков на электрическое взаимодействие и ввел понятие диэлектрической проницаемости. Высказал идею о распространении электрического и магнитного взаимодействий через промежуточную среду, мысль о единстве сил природы (различных видов энергии) и их взаимном превращении. Его именем названа единица емкости – *фарада*.

Первые исследования в области электричества были в основном сосредоточены на активных элементах – источниках электродвижущей силы, а пассивным проводникам практически не уделялось внимания. Ом провел систематические экспериментальные и теоретические исследования проводимости и сформулировал в 1827 г. свои законы в интегральной и дифференциальной формах, введя понятия и точные определения электродвижущей силы, электропроводности и силы тока.

Ом Георг Симон (16.03.1789–06.07.1854) – немецкий физик, член-корреспондент Берлинской (1839), член Туринской и Баварской АН, Лондонского королевского общества (1842), медаль Копли (1841). Родился в Эрлангене в семье слесаря. Окончил Эрлангенский университет, доктор философии (1811). Преподавал математику, затем физику в ряде гимназий. С 1833 г. – профессор Нюрнбергской высшей политехнической школы (с 1839 – ректор), 1849–52 гг. – Мюнхенского университета.

Работы в области электричества, акустики, оптики. В 1826 г. экспериментально открыл основной закон электрической цепи (закон Ома), а в 1827 г. вывел его теоретически. Установил, что ухо воспринимает как простой тон только звук, вызванный простым гармоническим колебанием, остальные звуки – как основной тон и добавочные – обертона (акустический закон Ома). Его именем названа единица электрического сопротивления – *ом*.

При этом Ом проводил свои работы, используя аналогию электрического тока с тепловыми потоками французского математика и физика Жана Батиста Жозефа Фурье (1768–1830) между двумя телами с различной температурой. Однако его работы в течение десяти лет оставались незамеченными. Одновременно с опытами Ома проводили исследования во Франции Антуан Сезар Беккерель (1788–1878), который определил зависимость сопротивления от длины и сечения проводника, и в Англии – Питер Барлоу (1776–1862), подтвердивший постоянство тока во всей цепи. Ряд частных законов, полученных в это время независимо от Ома, в 1845 г. обобщил Кирхгоф в своих правилах.

Большой толчок к проведению электрических измерений дало первое практическое использование электрических явлений в телеграфии. Создание воздушного и подводного телеграфов потребовало разработки новых методов электрических измерений. В 1840 г. Уитстон предложил свой метод моста для точных измерений сопротивлений. Гаусс заложил основы электромагнитной метрики, взяв за основные три механические единицы (времени, длины и массы) и выразив через них все остальные, а также разработав ряд новых приборов.

Гаусс Карл Фридрих (30.04.1777–23.02.1855) – немецкий математик, астроном и физик, член Лондонского королевского общества (1804), Парижской (1820) и Петербургской АН (1824). Родился в Брауншвейге в семье водопроводчика. Учился в 1795–98 гг. в Гёттингенском университете, в 1799 г. получил доцентуру в Брауншвейге, с 1807 г. – профессор Гёттингенского университета и директор астрономической обсерватории.

Работы во многих областях физики. В 1832 г. создал абсолютную систему мер, в 1833 г. совместно с В.Вебером построил первый в Германии электромагнитный телеграф. В 1839 г. в сочинении “Общая теория сил притяжения и отталкивания, действующих обратно пропорционально квадрату расстояния” изложил основы теории потенциала (теорема Остроградского-Гаусса). В 1840 г. в работе “Диоптрические исследования” разработал теорию построения изображений в сложных оптических системах. В 1845 г. пришел к мысли о конечности распространения электромагнитных взаимодействий. В 1829 г. сформулировал принцип наименьшего принуждения (принцип Гаусса). Одним из первых высказал в 1818 г. гипотезу о существовании неевклидовой геометрии. Его именем названа единица магнитной индукции – *гаусс*.

Работу по метрологии продолжили немецкий физик Вильгельм Эдуард Вебер (1804–1891) и Максвелл. В итоге появилась идея создания единой системы мер и в 1881 г. Международный конгресс в Париже установил международные единицы измерения.

Огромный вклад в развитие электромагнетизма был сделан работами Майкла Фарадея. Одной из ведущих философских идей физики 19 века было то, что все физические явле-

ния представляют собой проявления одной и той же сущности. Следуя этому принципу, в 1831 г. Фарадей обнаружил явление электромагнитной индукции. Он предложил теорию этого явления, впервые введя понятия линий магнитных сил и электромагнитного поля и высказав идею о распространении магнитных возмущений во времени. В 1833 г. американский физик Джозеф Генри (1797–1878) обнаружил явление самоиндукции, а российский ученый Эмиль Христианович Ленц (1804–1865) сформулировал в 1834 г. свое правило о направлении индукционных токов.

В 1833–34 гг. Фарадей установил основные законы электролиза, положив начало электрохимии. Им также было экспериментально доказано, что электрическое действие распространяется не только по прямой, но и по кривым линиям, а промежуточная среда существенно влияет на это действие. Таким образом, он подтверждал, что взаимодействие двух тел осуществляется через посредство среды, а не происходит в соответствии с теорией дальнего действия на расстоянии, что использовалось в наиболее простых моделях для математического истолкования явлений.

В результате опытов со сферическими конденсаторами с различными изолирующими прокладками Фарадей сформулировал свою теорию диэлектрической поляризации, которая была развита итальянским физиком Оттавиано Фабрицио Моссотти (1791–1863).

В 1845 г. при пропускании света через электромагнит Фарадей обнаружил поворот плоскости поляризации, что он объяснил присутствием магнитных полей в свете. Также им было обнаружено явление диамагнетизма.

Помимо многочисленных экспериментальных открытий, в конце жизни Фарадей в борьбе с атомистическими представлениями о непрерывности только пространства выдвигает оригинальную идею: развивая концепцию Босковича, вводит понятие поля. Он говорит, что материя не только взаимопроницаема, но и каждый ее атом простирается на всю солнечную систему, сохраняя свой собственный центр.

Также велико практическое значение открытий Фарадея, т.к. все машины современной электротехнической промышленности – генераторы (первый генератор тока был создан самим Фарадеем), трансформаторы, электромоторы – основаны на электромагнитной индукции. Сюда же следует отнести и телефон.

В середине 40-х годов немецкими учеными Францем Эрнстом Нейманом (1798-1895), Вебером и Гельмгольцем были построены теории индукции, учитывающие, что взаимодействие электрических зарядов зависят как от расстояния между ними, так и от скоростей. К 60-м годам 19 века благодаря их работам электродинамика считалась уже окончательно сформировавшейся наукой с четко определенными границами. Однако оригинальные идеи Фарадея заинтересовали Максвелла, и он задумал придать им математическую форму. Введя понятия токов смещения и напряженности поля, Максвелл сначала создал электродинамику диэлектриков, используя теорию Моссотти. Распространяя эти представления с поправками на магнетизм, он создает и теорию электромагнитной индукции. В итоге все построение сводится к знаменитым шести уравнениям Максвелла. Эти уравнения устанавливают непрерывность явлений, определяют изменения поля в отличие от ньютоновской модели, где законы определяют изменения поведения материальных частиц. Они связывают события, смежные в пространстве и во времени. Многие усматривали ряд логических ошибок и непоследовательностей при построении Максвеллом теории. Но она очень многое объясняла, и к концу 19 века крупнейшие физики придерживались мнения, которое высказал Герц: нужно принять уравнения Максвелла как гипотезу, постулаты, на которые и будет опираться вся теория электромагнетизма.

Герц Генрих Рудольф (22.02.1857–01.01.1894) – немецкий физик, член-корреспондент Берлинской АН (1889), член ряда академий наук и научных обществ, награды Венской, Парижской, Туринской академий наук, Лондонского королевского общества и др. Родился в Гамбурге в

семье адвоката. Окончил Берлинский университет, где получил степень доктора (1880) и был ассистентом у Г.Гельмгольца. С 1883 г. – приват-доцент Кильского университета, в 1885–89 гг. – профессор Высшей технической школы в Карлсруэ, с 1889 г. – Боннского университета.

Основные работы относятся к электродинамике и механике. В 1887 г. в работе “Об очень быстрых электрических колебаниях” предложил удачную конструкцию генератора электромагнитных колебаний (вибратор Герца) и метод их обнаружения (резонатор Герца), впервые разработав теорию вибратора, излучающего электромагнитные волны в пространстве. Экспериментально доказал существование электромагнитных волн, распространяющихся в свободном пространстве в соответствии с теорией Максвелла. Придал уравнениям электродинамики симметричную форму, которая наглядно демонстрировала полную взаимосвязь между электрическими и магнитными явлениями (электродинамика Максвелла-Герца). В 1887 г. наблюдал внешний фотоэффект, заметив, что электрический разряд более интенсивен при облучении электродов ультрафиолетовым светом. В работе “О прохождении катодных лучей через тонкие металлические слои” (1891) открыл проникаемость металлов для катодных лучей, заложив основу для изучения этих лучей и строения вещества. Построил механику с введением неголономных связей, трактовкой механической системы как системы с большим числом степеней свободы и применением принципа кратчайшего пути или наименьшей кривизны. Его именем названа единица частоты – *герц*.

Следуя своим уравнениям и идеям Фарадея о природе света, Максвелл строит электромагнитную теорию света, описывающую распространение поперечных электромагнитных волн. Дополнительные предпосылки к этому были также получены Вебером и Кирхгофом при определении скорости распространения электромагнитной индукции по проводу: она оказалась равной скорости света. К этому времени были обнаружены и исследованы колебания электрического разряда конденсатора в цепи с индукционной катушкой, а в 1884 г. Герц показал, что эти колебания вызывают в пространстве появление волн, состоящих из поляризованных перпендикулярно друг к другу электрических и магнитных колебаний. Он также обнаружил отражение, преломление и интерференцию таких волн. Важным подтверждением электромагнитной теории были опыты русского физика Петра

Николаевича Лебедева (1866–1912), который в 1900 г. измерил величину светового давления в полном соответствии с теорией Максвелла.

Итальянский физик Аугусто Риги (1850–1920) развил эти работы, и их результаты обобщены им в 1897 г. в книге “Оптика электрических явлений”, само название которой говорит о революционности такого вывода в развитии физики.

Одним из самых замечательных результатов практического применения электромагнитных волн явилось изобретение в 1895 г. радиотелеграфии Поповым и итальянским исследователем Гульельмо Маркони (1874–1937).

Попов Александр Степанович (16.03.1859–13.01.1906) – русский физик и электротехник. Родился в п. Турьинские Рудники (Екатеринбургская губерния) в семье священника. Окончил Петербургский университет (1882). В 1883–1901 гг. преподавал в военных заведениях Кронштадта. С 1901 г. – профессор Петербургского электротехнического института (с 1905 – ректор).

Работы в области электротехники и радиотехники. В 1888 г. повторил опыты Г.Герца и в 1889 г. впервые указал на возможность использования электромагнитных волн для передачи сигналов. В 1894 г. сконструировал генератор электромагнитных колебаний и приемник с чувствительным элементом – когерером, а также изобрел первую приемную антенну. Установил, что приемник антенны реагирует на грозовые разряды, и создал грозоотметчик. 7 мая 1895 г. продемонстрировал свой грозоотметчик на заседании физического отделения Российского физико-химического общества и высказал мысль о возможности его применения для передачи сигналов на расстояние. На заседании 24 марта 1896 г. продемонстрировал передачу сигналов на расстояние 250 м. Несколько позже Г.Маркони создал подобные приборы, провел с ними эксперименты и положил начало широкому применению радиосвязи, а в 1909 г. получил за эти работы Нобелевскую премию, когда Попов уже умер. В 1897 г. обнаружил отражение электромагнитных волн от предметов (кораблей), находящихся на пути их распространения, что было положено в основу радиолокации.

Таким образом, к концу 19 века в основном завершилось построение классической физики.

4. СОВРЕМЕННАЯ ФИЗИКА

В конце 19 – начале 20 века в физике были сделаны важные открытия, которые в значительной мере видоизменили классическую физику и внесли революционные идеи в понимание окружающих нас физических явлений, прежде всего на уровнях микро- и мегамира. При этом всё развитие новейшей физики, в особенности учения о строении материи, поразительно точно соответствует гениальному пророчеству Ньютона, которое он высказал в своей “Оптике”: *“Мельчайшие частицы материи могут сцепляться посредством сильнейших притяжений, составляя большие частицы, но более слабые; многие из них могут также сцепляться и составлять еще большие частицы с еще более слабой силой - и так в ряде последовательностей, пока прогрессия не закончится самыми большими частицами, от которых зависят химические действия и цвета природных тел; при сцеплении таких частиц составляются тела заметной величины... Таким образом, в природе существуют агенты, способные сжимать вместе частицы тел весьма сильными притяжениями. Обязанность экспериментальной философии – их разыскать”*.

4.1. Теория относительности

Во второй половине 19 века появились труднопреодолимые противоречия в классической физике. Одно из них связано с опытом Альберта Майкельсона (1852–1931), в котором он установил, что эфир движется вместе с Землей, что противоречило наблюдениям по аберрации света. С другой стороны, уравнения Максвелла инвариантны относительно преобразований Галилея. В 1904 г. Лоренц нашел, что эти противоречия снимаются при другом виде преобразований, которые получили название лоренцовых.

Лоренц Хендрик Антон (18.07.1853–04.02.1928) – нидерландский физик, член Нидерландской и многих других академий наук и научных обществ, иностранный член-корреспондент Петербургской АН (1910),

почетный член АН СССР (1925). Родился в Арнеме. Учился в Лейденском университете, степень доктора (1875). В 1878–1913 гг. – профессор Лейденского университета и заведующий кафедрой теоретической физики. С 1913 г. – директор физического кабинета Тейлеровского музея в Гарлеме.

Работы в области электродинамики, термодинамики, статистической механики, оптики, теории излучения, теории металлов, атомной физики. Создал классическую электронную теорию как теорию электрических, магнитных и оптических свойств вещества и электромагнитных явлений на основе теории Максвелла-Герца и анализа движения дискретных электрических зарядов (уравнения Лоренца-Максвелла). Вывел формулу связи диэлектрической проницаемости с плотностью диэлектрика и зависимость показателя преломления вещества от его плотности (формула Лоренца-Лоренца), дал выражение для силы, действующей на электрический заряд в электромагнитном поле (сила Лоренца), объяснил зависимость электропроводности вещества от его теплопроводности, развил теорию дисперсии света. Предсказал расщепление спектральных линий в магнитном поле и после открытия в 1896 г. этого явления П.Зееманом разработал его теорию (Нобелевская премия, 1902).

Независимо от Дж.Фитцджеральда в 1892 г. выдвинул гипотезу о сокращении размеров тел в направлении их движения (сокращение Лоренца-Фитцджеральда), ввел в 1895 г. понятие о местном времени. Вывел формулы, связывающие пространственные координаты и моменты времени одного и того же события в различных инерциальных системах отсчета, получил зависимость массы электрона от скорости, подготовив переход к теории относительности.

Был организатором и председателем (1911–27) Сольвеевских конгрессов физиков.

Однако применение преобразований Лоренца было чисто формальным решением проблемы. В 1904–05 гг. Пуанкаре показал, что невозможно обнаружить абсолютное движение, исходя из представлений об эфире и уравнений Максвелла-Лоренца, и в 1905 г. в работе “О динамике электрона” развил математические следствия постулата относительности.

Пуанкаре Жюль Анри (29.04.1854–17.07.1912) – французский математик, физик, астроном и философ, член Парижской АН (1887), почетный член многих академий наук, член-корреспондент Петербургской АН (1895), медали Дж.Сильвестера, Н.И. Лобачевского и др. Родился в

Нанси. Учился в Политехнической школе, окончил горную школу (1879). С 1881 г. работал в Парижском университете (с 1886 – заведующий кафедрой). В 1883–97 гг. – репетитор, в 1904–08 гг. – профессор Политехнической школы, с 1902 г. – также заведующий кафедрой Высшей школы ведомства связи.

Физические работы относятся к области теории относительности, термодинамики, электричества, оптики, теории упругости, молекулярной физики. Независимо от А.Эйнштейна высказал принцип относительности в качестве всеобщего положения. В математике большой цикл работ относится к теории дифференциальных уравнений, Пуанкаре провел важные исследования в теории трансцендентных функций, топологии. Широко применил свои математические результаты в небесной механике и физике.

Радикально согласовать механику и электродинамику удалось лишь с появлением в 1905 г. работы Эйнштейна “К электродинамике движущихся тел”.

Эйнштейн Альберт (14.03.1879–18.01.1955) – физик-теоретик, член многих академий наук и научных обществ, иностранный член АН СССР (1926), медали Копли, Франклина и др., в его честь назван 99-й химический элемент – *эйнштейний*. Родился в Ульме в семье предпринимателя. Окончил Федеральный технологический институт в Цюрихе (1901), получил степень доктора в Цюрихском университете (1905). В 1902–08 гг. работал в патентном бюро в Берне, в 1909–12 гг. – профессор Цюрихского политехникума, в 1911 г. – профессор Немецкого университета в Праге, в 1914–33 гг. – профессор Берлинского университета и директор Института физики. После установления фашизма в Германии в 1933 г. переехал в США, где до конца жизни работал в Принстонском институте перспективных исследований.

Создатель специальной и общей теории относительности, коренным образом изменивших представление о пространстве, времени и материи. Эти теории заставили пересмотреть основные положения классической физики в случае движения со скоростями, соизмеримыми со скоростью света. Все положения и выводы специальной теории относительности подтвердились в многочисленных экспериментах. В 1905 г. открыл закон взаимосвязи массы и энергии, который лежит в основе расчета энергетического баланса ядерных реакций, всей ядерной физики.

Эйнштейн сыграл важную роль в создании квантовой теории, ввел в 1905 г. представление о квантовой структуре самого излучения, теоре-

тически открыл фотон, экспериментально обнаруженный А.Комптоном в 1922 г. Исходя из квантовых представлений, объяснил фотоэффект, правило Стокса для флуоресценции, фотоионизацию и другие световые явления, которые не могла объяснить электромагнитная теория света (Нобелевская премия, 1921). В 1907 г. распространил идеи квантовой теории на процессы тепловых колебаний в твердом теле, объяснив уменьшение теплоемкости при понижении температуры и разработав первую квантовую теорию теплоемкости твердых тел. В 1909 г. рассмотрел корпускулярно-волновой дуализм для излучения, получил формулу для флуктуаций энергии равновесного излучения. В 1912 г. установил основной закон фотохимии: каждый поглощенный фотон вызывает элементарную фотореакцию. Предсказал в 1916–17 гг. явление индуцированного излучения, ввел вероятности спонтанного и вынужденного излучения (коэффициенты Эйнштейна).

В статистической физике развил молекулярно-статистическую теорию броуновского движения, в 1924–25 создал квантовую статистику частиц с целым спином (статистика Бозе-Эйнштейна). В 1915 г. предсказал и совместно с В. де Гаазом экспериментально обнаружил изменение механического момента при намагничивании тела (эффект Эйнштейна-де Гааза).

В 1915 г. завершил создание общей теории относительности или современной релятивистской теории тяготения, установившей связь между пространством-временем и материей. В ее основе лежат принципы эквивалентности (отношение инертной и гравитационной масс одинаково для всех тел) и относительности. Общая теория относительности объясняет сущность тяготения, состоящую в изменении геометрических свойств, искривления четырехмерного пространства вокруг тел, которые создают поле тяготения. Она экспериментально подтвердилась в искривлении светового луча в поле тяготения Солнца, смещении перигелия Меркурия и гравитационном красном смещении. В 1916 г. постулировал гравитационные волны и в 1918 г. вывел формулу для мощности гравитационного излучения. Начиная с 1933 г. Эйнштейн занимался вопросами космологии и единой теории поля, но построить последнюю не удалось.

Эйнштейн прежде всего обратил внимание на асимметрию уравнений Максвелла для движущихся тел и поставил задачу добиться инвариантности законов и механики, и электродинамики во всех инерциальных системах (принцип относительности). Другой принцип новой теории – посто-

яньство скорости света. В релятивистской теории пересматривается такое фундаментальное понятие, как время, а также меняется представление о массе, которая в определенном смысле становится эквивалентной энергии. Эти положения специальной теории относительности, конечно, были очень новы, но почти сразу же получили дополнительные экспериментальные подтверждения, в частности, по релятивистскому изменению массы в ряде ядерных явлений.

Вслед за этим Эйнштейном была сформулирована и общая теория относительности, в которой утверждался принцип эквивалентности поля тяготения и ускоренного движения. Основным постулатом теории опять же стало требование инвариантности законов физики в любых системах отсчета, в том числе и неинерциальных. Эта теория также получила экспериментальное подтверждение по исследованию отклонения светового луча в гравитационном поле и в других астрономических наблюдениях.

Теперь уже теория относительности считается частью классической физики, т.к. основным ее законам не противоречит, а лишь раздвигает границы ее применимости. Кроме того, объединив понятия пространства и времени, энергии и массы, тяготения и инерции, эта теория в определенной степени воплотила основную идею 19 века по созданию единой картины мира.

4.2. Квантовая теория

К концу 19 века физика разделилась на две большие части: физику материи и физику излучения. Одна из важных термодинамических проблем состояла в описании взаимоотношений материи и энергии. В 1859 г. Кирхгоф показал, что, когда все тела внутри замкнутой системы достигают одинаковой температуры, устанавливается точное равновесие между поглощенной и отданной энергиями. Он ввел понятие абсолютно черного тела и сформулировал свой закон о том, что излучательная способность тела пропорциональ-

на его поглощательной способности. Позднее венский профессор Иозеф Стефан (1835–1893) экспериментально открыл, а Больцман, исходя из термодинамики, подвел теоретическую основу под интегральный закон излучения черного тела о пропорциональности энергии излучения четвертой степени абсолютной температуры. В 1884 г. немецкий физик Вильгельм Вин (1864–1928), развивая идеи Больцмана, сформулировал свой закон смещения, что удельная интенсивность излучения пропорциональна пятой степени температуры и некоторой функции от произведения длины волны на температуру. Эту функцию пытались найти сам Вин, а также английские физики лорд Рэлей (Джон Уильям Стретт, 1942–1919) и Джеймс Хопвуд Джинс (1877–1946), но единого закона, описывающего и коротковолновую, и длинноволновую область излучения найти не удалось. Эту задачу объединения двух законов в 1900 г. решил Планк, предложив эмпирическую формулу для распределения излучения по длинам волн.

Планк Макс Карл Эрнст Людвиг (23.04.1858–04.10.1947) – немецкий физик, член Берлинской АН (1894, неперменный секретарь в 1912–38), Лондонского королевского общества (1926), иностранный член АН СССР (1926). Его именем названо научное общество Германии, учреждена медаль М.Планка. Родился в Киле в семье профессора гражданского права. Окончил Мюнхенский университет (1878), где в 1879 г. получил степень доктора философии и работал в 1880–85 гг. В 1885–88 гг. – профессор Кильского университета, 1889–28 гг. – профессор Берлинского университета и директор Института теоретической физики.

Работы относятся к термодинамике, теории теплового излучения, теории относительности, квантовой теории, истории и методологии физики, философии науки. В 1900 выдвинул гипотезу квантов, предположив, что атомные осцилляторы излучают энергию дискретно и последняя пропорциональна частоте колебаний, и вывел закон распределения энергии в спектре излучения абсолютно черного тела. Ввел фундаментальную постоянную (постоянная Планка) с размерностью действия. Гипотеза квантов стала основой квантовой теории и положила начало развитию практически всех областей современной физики.

Планк одним из первых принял теорию относительности, вывел уравнения релятивистской динамики, получив выражения для энергии и

импульса электрона. В 1907 г. провел обобщение термодинамики в рамках специальной теории относительности. Дал вывод законов химического равновесия в газах и разбавленных растворах (1887).

Планк ввел в рассмотрение новую величину – квант действия, означающую, что энергия колеблющимся осциллятором излучается только дискретно – квантами. По решению дополнительно возникающей проблемы распространения излучения Планк, не склонный к революционным шагам, занимает половинчатую позицию: испускание и поглощение излучения дискретно, а само излучение – непрерывно в соответствии с волновым характером распространения света и тепла. Только Эйнштейн в 1905 г. предложил порвать с классической оптикой и постулировать дискретность излучения в целом.

В течение долгого времени ведущие физики рассматривали гипотезу квантов лишь как форму объяснения, а не как физическую реальность. И только постепенно квантовая теория добивалась признания физической реальности квантов вследствие способности предсказывать новые явления и объяснять с их помощью другие закономерности. Планк получил Нобелевскую премию лишь в 1918 г., когда теория уже имела широкое признание. Кроме того, сама теория достаточно легко уживается с классической физикой в обычных границах в силу чрезвычайно малой величины постоянной Планка.

Подтверждения квантовой теории были разнообразны: квантовая теория позволяла рассчитать число Авагадро, которое хорошо совпадало со значениями, полученными другими методами, объяснить отклонения от закона Дюлонга и Пти об удельной теплоемкости при низких температурах. Основное же подтверждение и признание квантовая теория получила после введения в 1905 г. Эйнштейном квантов света и объяснения с их помощью фотоэлектрического эффекта, а также открытия в 1922 г. эффекта Комптона и в 1923 г. комбинационного рассеяния индийским физиком Чандра-секхара Раманом (1888–1970).

Комптон Артур Холли (10.09.1892–15.03.1962) – американский физик, член Национальной (1927) и многих академий наук, медали Румфорда (1927), Маттеучи (1933), Франклина (1940), Хьюза (1940) и др. Родился в Вустере в семье пресвитерианского священника, профессора философии. Окончил Вустерский колледж (1913) и Принстонский университет: магистр (1914) и доктор (1916). С 1916 г. проработал год преподавателем физики в Миннесотском университете, затем инженером-исследователем в “Вестингаус лэмп компани” (Питсбург). С 1919 г. провел год в Кавендишской лаборатории. В 1920–23 гг. и 1953–61 гг. – профессор университета Дж. Вашингтона (Сент-Луис) (1945–53 – ректор), в 1923–45 гг. – Чикагского университета, в 1942–45 гг. возглавлял Металлургическую лабораторию.

Работы в области атомной и ядерной физики, физики космических лучей. Открыл явление изменения длины волны рентгеновского излучения при рассеянии его электронами вещества (эффект Комптона) и независимо от П. Дебая построил его теорию (Нобелевская премия, 1927). Наблюдал явление полного внутреннего отражения рентгеновских лучей и разработал метод измерения длины их волны. В 1932 г. открыл (независимо от Я. Клея) широтный эффект космических лучей и наличие в них заряженных частиц, в 1921 г. пришел к идее спина.

Одновременно с получением подтверждения своей правомочности продолжалось и развитие самой квантовой теории. Предложенный Бором механизм испускания и поглощения излучения создал предпосылки для переосмысления взаимодействия материи и излучения.

Бор Нильс Хенрик Давид (07.10.1885–18.11.1962) – датский физик, член Датского королевского общества (1917, с 1939 – президент), более 20 академий наук, иностранный член АН СССР (1929), медали Планка, Копли и др., в его честь назван 105-й химический элемент – *нильсборий*. Родился в Копенгагене в семье профессора физиологии. Окончил Копенгагенский университет (1907), там же получил степень магистра (1909) и доктора (1911). В 1911–12 гг. работал в Кембридже у Дж.Дж.Томсона, в 1912–13 гг. – в Манчестере у Э.Резерфорда. С 1916 г. – профессор Копенгагенского университета и с 1920 г. – директор созданного им Института теоретической физики (Институт Нильса Бора).

Важная заслуга Бора состояла в том, что он нашел принципиально новый подход для создания физической картины атомных процессов. Он ориентировал физиков на исследование противоречивых сторон фи-

зической реальности микромира, сформулировал идею о дискретности энергетических состояний атомов, в свете новых идей построил атомную модель, открыв условия устойчивости атомов, и объяснил большой круг явлений.

В 1913 г., исходя из идеи М.Планка о квантовании энергии с использованием модели атома Резерфорда, Бор создал теорию водородоподобного атома, основанную на двух постулатах, которые прямо противоречили классическим представлениям и законам. Он постулировал наличие в атоме стационарных разрешенных орбит, двигаясь по которым электрон не излучает энергию, но может перейти на другую разрешенную орбиту, испустив или поглотив при этом квант энергии, равный разности энергий атома в этих стационарных состояниях. Бор разработал некоторые правила квантования, нашел основные законы спектральных линий и электронных оболочек атомов. В 1923 г. объяснил особенности периодической системы химических элементов, предложив свой вариант ее изображения, и пришел к представлению об оболочечной структуре атома, основанной на классификации электронных орбит по главному и азимутальному квантовым числам. За создание квантовой теории планетарного атома в 1922 г. награжден Нобелевской премией.

В 1918 г. Бор сформулировал важный для новой атомной теории принцип соответствия, показывающий, когда именно существенны квантовые ограничения, а когда можно пользоваться и классической физикой. В 1927 г. сформулировал важный для понимания квантовой механики принцип дополнительности.

Бор много сделал и для развития ядерной физики. В 1936 г. предложил теорию составного ядра, он является одним из создателей капельной модели ядра и теории деления атомного ядра, предсказал спонтанное деление ядра.

Бор создал большую интернациональную школу физиков: Ф. Блох, О. Бор, В. Вайскопф, О. Клейн, Х. Крамерс, Л.Д. Ландау, А. Пайс, Л. Розенфельд, Дж. Уилер и др.

В 1917 г. Эйнштейн внес крупный вклад в квантовую теорию, предложив статистические законы электронных переходов в атоме, в соответствии с которыми вероятность переходов пропорциональна интенсивности излучения и числу возбужденных атомов. Используя такие представления, ему удается получить формулу Планка, не прибегая к использованию аналогий с линейными осцилляторами. Одновремен-

но обостряется проблема волны – частицы, т.к. при элементарном акте излучения происходит испускание импульса в совершенно случайном направлении, что исключало описание излучения с использованием представлений сферических волн. Причем это уже было не расхождение между различными учеными 18 века, которые для объяснения одних и тех же явлений привлекали либо волновую, либо корпускулярную теорию. В 20 веке противоречие содержалось в самой физике: одни явления (дифракция) интерпретировались с волновых позиций, а другие (фотоэффект) – с корпускулярных.

Разрешение этого противоречия было предложено в 1923 г. де Бройлем, приписавшим волновые свойства частице – волны де Бройля.

Бройль Луи де (15.07.1892–19.03.1987) – французский физик, член Парижской АН (1933, 1942–75 – неперемный секретарь), Лондонского королевского общества, иностранный член АН СССР (1927), медаль Пуанкаре (1929). Родился в Дьеппе в семье герцога. Окончил Парижский университет: бакалавр по истории (1910), ученая степень по физике (1913). Там же в 1928–62 гг. был профессором.

Работы в области классической и квантовой механики, теории поля, квантовой электродинамики, истории и методологии физики. В 1923 г. распространил идею А.Эйнштейна о двойственной природе света на вещество, предположив наличие у материальных частиц волновых свойств, однозначно связанных с массой и энергией. Эту идею о всеобщности корпускулярно-волнового дуализма Э.Шредингер использовал при создании своей волновой механики. За открытие волновой природы электрона де Бройль в 1929 г. удостоен Нобелевской премии.

В 1925 г. Гейзенберг, следуя, как и Эйнштейн, принципу соответствия Бора, предложил матричный вариант квантовой механики, которая позволяла объяснить существование стационарных квантованных энергетических состояний и рассчитать энергетические уровни различных систем.

Гейзенберг Вернер Карл (05.12.1901–01.02.1976) – немецкий физик, почетный член многих академий наук и научных обществ, медали Маттеучи, Планка, Бора и др. Родился в Дуйсбурге в семье профессора древнегреческого языка. Окончил Мюнхенский университет (степень докто-

ра, 1923), после чего был ассистентом М. Борна в Геттингенском университете. В 1924–27 гг. работал у Н. Бора в Копенгагене, 1927–41 гг. – профессор теоретической физики Лейпцигского университета, 1941–45 гг. – директор Института физики кайзера Вильгельма и профессор Берлинского университета, 1946–58 гг. – директор Физического института и профессор Геттингенского университета, с 1958 г. – директор Института физики и астрофизики и профессор Мюнхенского университета.

Работы в области квантовой механики, квантовой электродинамики, релятивистской квантовой теории поля, теории ядра, магнетизма, физики космических лучей, теории элементарных частиц, философии естествознания. В 1925 г. разработал матричную механику – первый вариант квантовой механики (Нобелевская премия, 1932). В 1926 г. объяснил отличия двух систем термов для пара- и ортогелия, в 1927 г. сформулировал принцип неопределенности, ограничивающий применение к микрообъектам классических представлений.

Совместно с П. Дираком в 1928 г. выдвинул идею обменного взаимодействия и независимо от Я.И. Френкеля разработал первую квантовомеханическую теорию ферромагнетизма, основанную на обменном взаимодействии электронов. В 1929 г. совместно с В. Паули предпринял попытку дать формулировку квантовой электродинамики, введя общую схему квантования полей. Развил (1934–36) теорию дырок Дирака, вслед за ним постулировал (1934) существование эффекта поляризации вакуума.

Вслед за Д.Д. Иваненко пришел к протонно-нейтронной модели ядра (1932), ввел понятие изотопического спина, показал, что ядерные силы насыщающие. Построил теорию ядерных сил, развив идею обменного взаимодействия Иваненко-Тамма. В 1943 г. в квантовой теории поля ввел матрицу рассеяния (S – матрицу) – важный инструмент для описания взаимодействия. В 1958 г. проквантовал нелинейное спинорное уравнение (уравнение Иваненко-Гейзенберга), занимался созданием единой теории поля.

Практически одновременно, развивая идеи волновой механики, в 1926 г. Шредингер предложил свое волновое уравнение и метод квантования, которые приводили к тем же результатам, что и квантовая механика Гейзенберга. Фактически это означало тождественность волновой и квантовой механики, хотя их математические методы существенно различаются.

Шредингер Эрвин (12.08.1887–04.01.1961) – австрийский физик, член ряда академий наук и научных учреждений, иностранный член АН СССР (1934), медали Маттеучи, Планка и др. Родился в Вене в семье предпринимателя. Окончил Венский университет, доктор философии (1910). Работал в Венском и Йенском университетах, 1920–21 гг. – профессор Высшей технической школы в Штуттгарте и университета в Бреслау, 1921–27 гг. – профессор Цюрихского, 1927–33 гг. – Берлинского, 1933–36 гг. – Оксфордского, 1936–38 гг. – Грацкого университетов. 1941–55 гг. – директор Института высших исследований в Дублине, с 1956 г. – профессор Венского университета.

Основные достижения в области квантовой теории и квантовой механики. Исходя из идей де Бройля о волнах материи и принципа Гамильтона, разработал теорию движения микрочастиц, в основу которой положил уравнение (уравнение Шредингера), играющее в атомных процессах такую же фундаментальную роль, как законы Ньютона в классической механике, и ввел для описания состояний микрообъекта волновую функцию. В 1926 г. доказал эквивалентность своей волновой механики и матричной механики Гейзенберга. В том же году построил квантовую теорию возмущений – приближенный метод в квантовой механике. За создание волновой механики удостоен Нобелевской премии (1933). Придерживаясь классических традиций полного детерминизма, Шредингер не принял квантовую механику как завершенную теорию.

Дальнейшие работы Шредингера относятся к теории мезонов, термодинамике, нелинейной электродинамике, общей теории относительности, разработке единой теории поля. Он имел разносторонние интересы: занимался лепкой, написал книгу по греческой философии, изучал проблемы генетики, опубликовал томик стихов и т.д.

В 1927 г. американский физик Клинтон Джозеф Дэвиссон (1881–1958) в лаборатории “Белл телефон” и английский физик Джордж Паджетт Томсон (1892–1975) в Абердинском университете (Шотландия) независимо друг от друга открыли дифракцию электронов, экспериментально доказав наличие волновых свойств у частиц (Нобелевская премия по физике, 1937). А в 1929 г. немецкие физики Отто Штерн (1888–1969) и Иммануэль Эстерман (1900–1973) в опытах с атомарными пучками водорода также наблюдали дифракцию, показав, что любым корпускулярным пучкам присущи

волновые свойства. Явление дифракции электронов нашло широкое применение в физических исследованиях поверхностных слоев и тонких пленок, а также в электронной микроскопии. Сейчас уже без волновой механики нельзя себе представить ни одной современной науки.

Шредингер, выводя свое уравнение, использовал подходы классической механики. В 1928 г. Дирак предложил свою теорию, которая включала представления о квантах, теории относительности и спине (такое понятие введено американскими физиками Джорджем Юджином Уленбеком (р.1900) и Самуэлем Абрахамом Гаудсмитом (1902–1979) в 1925 г.) и позволяла учитывать релятивистские эффекты.

Дирак Поль Адриен Морис (08.08.1902–20.10.1984) – английский физик, член Лондонского королевского общества (1930), почетный член ряда академий наук и научных обществ, иностранный член АН СССР (1931), Королевская медаль (1939), медаль Копли (1952), премия Опенгеймера и др. Родился в Бристоле в семье учителя французского языка. Окончил Бристольский университет (1921), в 1926 г. защитил докторскую диссертацию в Кембридже. 1932–68 гг. – профессор Кембриджского, с 1969 г. – Флоридского университета.

Работы в области квантовой механики, квантовой электродинамики, квантовой теории поля, теории элементарных частиц, теории гравитации. Разработал математический аппарат квантовой механики – теорию преобразований, предложил метод вторичного квантования. В 1927 г. применил принципы квантовой теории к электромагнитному полю и разработал первую модель квантованного поля. Предсказал тождественность вынужденного и первичного излучений, лежащую в основе квантовой электроники. В 1928 г. с В.Гейзенбергом открыл обменное взаимодействие.

Построил релятивистскую квантовую механику, предложив волновое уравнение, описывающее движение электронов и удовлетворяющее релятивистской инвариантности. Создал теорию дырок (1930), в 1931 г. предсказал существование античастиц, рождение и аннигиляцию электронно-позитронных пар, постулировал эффект поляризации вакуума (1933). За создание квантовой механики в 1933 г. был награжден Нобелевской премией.

Независимо от Э.Ферми в 1926 г. разработал статистику частиц с полужелым спином. В 1932 г. совместно с В.А. Фоком и Б. Подольским

предложил многовременной формализм – предшественник современной квантовой электродинамики. В 1936 г. построил общую теорию классических полей. Высказал (1937) гипотезу изменения гравитации со временем, работал над проблемой гамильтоновой формулировки теории гравитации для дальнейшего квантования гравитационного поля. В 1942 г. ввел понятие индефинитной метрики для устранения бесконечности собственной энергии электрона, в 1962 г. разработал теорию мюона, описываемого как колебательное состояние электрона.

Из теории Дирака следовало существование позитрона, который действительно был обнаружен в 1932–33 гг. при ядерных распадах под действием космических лучей (открыты в 1911–13 гг. австрийским физиком Виктором Францем Гессом (1883–1964)) американским физиком Карлом Дэвидом Андерсоном (р.1905) (Нобелевская премия по физике, 1936), а также английским физиком Патриком Мейнардом Стюардом Блэккетом (1897–1974) и итальянским физиком Джузеппе Оккиалини (р.1907).

Развивались и статистические методы описания поведения квантовых объектов. В 1924–25 гг. индийский физик Шатвендранат Бозе (1894–1974) и Эйнштейн создали новую квантовую статистику для фотонного газа, получив распределение Планка, а в 1926 г. почти одновременно Ферми и Дирак вывели с учетом запрета Паули свою статистику для электронов.

Ферми Энрико (29.09.1901–28.11.1954) – итальянский физик, член Национальной академии деи Линчеи (1935), многих академий наук и научных обществ, иностранный член АН СССР (1929). В США учреждена премия его имени, в его честь назван 100-й химический элемент – *фермий*, его имя присвоено Чикагскому институту ядерных исследований. Родился в Риме в семье железнодорожного служащего. Окончил Пизанский университет (1922). В 1923–24 гг. работал у М. Борна в Геттингенском и у П. Эренфеста в Лейденском университетах, с 1926 г. – профессор Римского университета. В 1938 г. эмигрировал в США: 1939–42 гг. – профессор Колумбийского, 1942–45 гг. – Чикагского университетов (1944–45 – заведующий отделом Лос-Аламосской лаборатории), с 1946 г. – профессор Института ядерных исследований (Чикаго).

Работы в области атомной и ядерной физики, статистической механики, физики космических лучей, физики высоких энергий, астрофизики, технической физики. В 1926 г. разработал независимо от П. Дирака статистику частиц с полуцелым спином, в 1928 г. дал схему описания и расчета основного состояния многоэлектронных атомов (модель Томаса-Ферми). В 1929–30 гг. разработал канонические правила квантования поля, в 1933–34 гг. создал количественную теорию бета-распада, положив начало теории слабых взаимодействий. В 1934 г. открыл искусственную радиоактивность, обусловленную нейтронами, обнаружил и дал теорию явления замедления нейтронов (Нобелевская премия, 1938), высказал идею получения новых элементов при облучении урана нейтронами, в 1936 г. открыл селективное поглощение нейтронов. Все это положило начало нейтронной физике.

В 1939 г. независимо от Ф. Жолио-Кюри, Л. Сцилларда и других доказал, что при делении урана под действием медленных нейтронов излучаются 2–3 новых нейтрона и возможно осуществление цепной ядерной реакции. Построил первый ядерный реактор и 2 декабря 1942 г. впервые получил самоподдерживающуюся цепную реакцию.

В 1949 г. разработал теорию происхождения космических лучей, в 1950 г. – статистическую теорию множественного образования частиц (мезонов), в 1952 г. открыл адронный резонанс – изотопический квадруплет. Вместе с Ч. Янгом в 1949 г. предложил первую составную модель элементарных частиц (модель Ферми-Янга).

Паули Вольфганг (25.04.1900–14.12.1958) – австрийско-швейцарский физик, член Швейцарского физического и ряда других научных обществ, медали Франклина, Планка. Родился в Вене в семье профессора химии. Окончил Мюнхенский университет (степень доктора – 1921). В 1921–22 гг. – ассистент М. Борна в Геттингенском университете, в 1922–23 гг. – Н. Бора в Институте теоретической физики в Копенгагене, в 1923–28 гг. – доцент Гамбургского университета, с 1928 г. – профессор Политехникума в Цюрихе (кроме 1935–36, 1940–45, 1949–50, 1954, когда работал в Принстонском институте перспективных исследований).

Работы во многих областях теоретической физики, в развитии которых он принимал непосредственное участие: квантовая механика, квантовая электродинамика, квантовая теория поля, теория относительности, теория твердого тела, ядерная физика, физика элементарных частиц. В 1924 г. выдвинул гипотезу ядерного спина для объяснения сверхтонкого расщепления спектральных линий, предложив существование спинового и магнитного моментов ядер. В 1924–25 гг. сформулировал важ-

нейший принцип невозможности нахождения двух тождественных частиц с полуцелым спином в одном состоянии – запрет Паули (Нобелевская премия, 1945). Объяснил парамагнетизм электронного газа в металле (1927), структуру электронных оболочек атомов. В 1927 г. ввел в квантовую механику для описания спина электрона матрицы (спиновые матрицы Паули), создал теорию спина электрона. Совместно с В.Гейзенбергом в 1929 г. заложил основы систематической теории квантования поля. Объяснил (1928) сверхтонкую структуру атомных спектров.

Высказал в 1931 г. гипотезу о существовании нейтрино и описал в 1933 г. его основные свойства. Автор фундаментальных исследований по теории элементарных частиц и квантовых полей, мезонной теории ядерных сил. В 1940 г. доказал теорему о связи статистики и спина, в 1941 г. показал связь закона сохранения заряда с инвариантностью относительно калибровочных преобразований. В 1955 г. в окончательном виде сформулировал СРТ-теорему, отражающую симметрию элементарных частиц.

Таким образом, в результате развития квантовой теории появились две статистики: Бозе-Эйнштейна для бозонов (частиц с целым спином) и Ферми-Дирака для фермионов (с полуцелым спином).

Для разрешения дилеммы волна–частица в 1927 г. Гейзенбергом был сформулирован принцип неопределенности, в соответствии с которым нельзя одновременно точно определить координату и импульс (или энергию состояния и время пребывания в нем частицы). Здесь встает принципиальный вопрос о возмущении, которое вносит прибор и метод измерения в определение физической характеристики объекта. Это вызвало большие философские споры о реальности физического мира и физических представлений о реальном мире. Частично возникшие противоречия снимаются принципом дополнительности Бора, по которому любой частице присущи и волновые, и корпускулярные свойства, они друг друга взаимоисключают и взаимодополняют. Эти дискуссии о дуализме – волна–частица, детерминизм–неопределенность – продолжаются в современной физике.

В начале 50-х годов 20 века произошло крупное открытие в оптике: советские физики Николай Геннадиевич Басов

(1922–2001) и Александр Михайлович Прохоров (1916–2002), а также американский физик Чарльз Хард Таунс (р.1915) обнаружили стимулированное излучение в молекулярных системах (Нобелевская премия по физике, 1964), предсказанное в 1917 г. Эйнштейном при описании взаимодействия электромагнитного излучения с молекулами. Это послужило основой создания оптических квантовых генераторов, а в начале 60-х годов были сконструированы первые лазеры, которые во многом определили развитие современной оптики. Лазеры широко применяются в спектроскопии, голографии, оптоэлектронике, информационных технологиях, медицине и других областях науки и техники.

4.3. Строение материи

К середине 19 века атомно-молекулярная теория строения вещества заняла уже достаточно прочные позиции, продолжались работы по более глубокому проникновению в микромир. Во второй половине 19 века после появления хороших вакуумных насосов при исследовании электрического разряда в газах были обнаружены катодные лучи, которые вызывали флуоресценцию стекла газоразрядной трубки. Английский ученый Уильям Крукс (1832–1919), который проводил работы в своей частной лаборатории в Лондоне, установил, что они имеют материальную природу и отклоняются в магнитном поле. Он выдвинул гипотезу, что это четвертое “ультрагазообразное” состояние материи. В 1895 г. в споре со сторонниками волновой природы катодных лучей французским физиком Жаном Батистом Перреном (1870–1942) было показано, что это отрицательные электрические заряды. В 1897 г. Томсон экспериментально с использованием воздействия электрического и магнитного полей подтвердил материальную природу новых частиц – электронов и определил для них отношение заряда к массе и скорость.

Томсон Джозеф Джон (18.12.1856–30.08.1940) – английский физик, член Лондонского королевского общества (1884, 1916–20 – президент), многих академий наук, в частности АН СССР (1925), медали Франклина, Фарадея, Хьюза, Копли и др. Родился в Четхем Хилле в семье книготорговца. Окончил Манчестерский (1876 – инженер) и Кембриджский (1880 – бакалавр математики) университеты. В 1884–1919 гг. – профессор Кембриджского университета и директор Кавендишской лаборатории, в 1905–18 гг. – также профессор Королевского института, с 1918 г. возглавил Тринити-колледж в Кембридже.

Работы по проблемам прохождения электрического тока в газах, катодных и рентгеновских лучей, атомной физики. При исследовании катодных лучей открыл первую элементарную частицу – электрон (Нобелевская премия, 1906). В 1897 г. выдвинул гипотезу о внутриатомных электронах. Обнаружил в 1899 г. электроны в фототоке и при термоэлектронной эмиссии. Разработал теорию движения электрона в электрическом и магнитном полях. Объяснил происхождение сплошного спектра рентгеновских лучей.

В 1903 г. предложил одну из первых моделей атома, в 1904 г. ввел представление о разделении электронов в атоме на группы, различная конфигурация которых определяет периодичность химических элементов. В 1907 г. предложил принцип масс-спектрометрии, разработал в 1911 г. метод парабол для определения относительных масс частиц, получил первые экспериментальные данные о существовании изотопов. В классической теории рассеяния определил эффективное сечение для рассеяния света свободными электронами (формула Томсона). Является одним из основоположников электронной теории металлов. Создал большую интернациональную школу физиков-экспериментаторов.

С помощью изобретенной в 1897 г. английским физиком Чарльзом Томсоном Рисом Вильсоном (1869–1959) камеры (Нобелевская премия по физике, 1927) Томсону удалось установить отдельно и заряд, и массу электрона. После 1900 г. в физике уже стало окончательно общепринятым, что электричество имеет дискретную структуру и единица отрицательного электричества – электрон.

В 1895 г. Рентген открыл при исследовании катодных лучей новый вид излучения – X-лучи, которые обладают рядом замечательных свойств: поразительная проникающая

способность, способность вызывать флуоресценцию и фотохимическое действие.

Рентген Вильгельм Конрад (27.03.1845–10.02.1923) – немецкий физик, член-корреспондент Берлинской АН (1896), медаль Румфорда. Родился в Леннепе в семье коммерсанта. Окончил Федеральный технологический институт в Цюрихе (1868), доктор философии (1869, Цюрихский университет). Работал с А.Кундтом в 1869–71 гг. в Цюрихе, в 1871–72 гг. в Вюрцбургском, в 1872–75 гг. в Страсбургском университетах. В 1875–76 гг. – профессор физики Сельскохозяйственной академии в Гогенхейме, 1876–79 гг. – профессор Страсбургского университета. В 1879–88 гг. – профессор университета в Гиссене и директор Физического института, в 1888–1900 гг. – профессор Вюрцбургского университета (с 1894 – ректор), в 1900–20 гг. – профессор Мюнхенского университета и директор Физического института.

Работы в области электромагнетизма, физики кристаллов, оптики, молекулярной физики. Открыл рентгеновские лучи и исследовал их свойства (способность отражаться, поглощаться, ионизировать воздух и т.д.), предложил правильную конструкцию трубки для их получения, сделал первые фотоснимки с применением этих лучей (первая Нобелевская премия по физике, 1901). Открыл в 1885 г. магнитное поле диэлектрика, движущегося в электрическом поле (рентгенов ток), исследовал свойства жидкостей, газов, кристаллов, открыл взаимосвязь электрических и оптических явлений в кристаллах.

Учениками Рентгена были М. Вин, А.Ф. Иоффе, П. Прингсгейм и др. Его именем названа единица экспозиционной дозы радиоактивного излучения – *рентген*.

Открытие рентгеновских лучей имело важное значение как для последующих научных исследований, так и для использования в медицине и промышленности.

С самого начала возник спор о природе рентгеновского излучения. В 1912 г. немецкий физик Макс фон Лауэ (1879–1959) провел блестящий эксперимент по дифракции таких лучей на кристаллической решетке (Нобелевская премия по физике, 1914). Из этого эксперимента были сделаны два важных вывода: подтверждалась волновая природа X-лучей и появилась возможность определить длину их волны, а зная

длину волны, можно было получать данные о структуре кристалла.

Открытие Рентгена дало толчок другому открытию – радиоактивности. Беккерель занимался фосфоресценцией и после опытов Рентгена задался вопросом: не могут ли X-лучи испускаться фосфоресцирующими телами после длительно-го облучения солнечным светом.

Беккерель Антуан Анри (15.12.1852–25.08.1908) – французский физик, член Парижской (1889, 1908 – президент) и ряда других академий наук. Родился в Париже в семье известного физика А.Э.Беккереля. Окончил Политехническую школу в Париже (1874), ученая степень по техническим наукам в Высшей школе мостов и дорог (1877). С 1876 г. – лектор, с 1895 г. – профессор в Политехнической школе, (с 1892 – заведующий кафедрой в Музее естественной истории и Консерватории искусств и ремесел).

Основные работы в области оптики (магнитооптика, фосфоресценция, инфракрасные спектры) и радиоактивности. За открытие явления естественной радиоактивности в 1903 г. удостоен Нобелевской премии. Пропуская α -частицы через пересекающиеся электрическое и магнитное поля, первый измерил удельный заряд этих частиц и установил их схожесть с катодными лучами (1900). В 1901 г. независимо от П. Кюри обнаружил физиологическое действие радиоактивного излучения и его способность ионизировать газ.

Проводя опыты по фосфоресценции солей урана, Беккерель обнаружил засветку фотопластинки, отделенной от соли черной бумагой. В 1896 г. случайно обнаружилось, что засветка появляется и в темноте, т.е. без возбуждения фосфоресценции. Было также обнаружено, что подобные явления наблюдаются и на других, не фосфоресцирующих солях урана.

В 1897 г. к этим исследованиям подключились Склодовская-Кюри со своим мужем Пьером: ими была открыта радиоактивность тория, а также найдены новые более радиоактивные вещества – полоний и радий.

Склодовская-Кюри Мария (07.11.1867–04.07.1934) – польский и французский физик и химик, член многих академий наук и научных об-

шесть, иностранный член АН СССР (1926), медали Бертелло, Дэви, Крессона. Родилась в Варшаве в семье преподавателя физики в гимназии. Окончила Парижский университет (лицензиат по физике – 1893, по математике – 1894, степень доктора – 1903). С 1895 г. работала в лаборатории П. Кюри в Школе физики и химии (Париж), в 1900–06 гг. – преподаватель физики в Севрской нормальной школе. С 1906 г. – профессор и заведующая кафедрой Парижского университета, с 1914 г. – также директор Института радия.

Работы в области радиоактивности. В 1897 г. начала исследование радиоактивности солей урана и установила, что это свойство атомов урана. В 1898 г. независимо от Г. Шмидта доказала радиоактивность тория. Заметила повышенную радиоактивность некоторых минералов, содержащих уран и торий. В результате кропотливой работы по разработанному супругами Кюри методу обогащения урановой смолки были открыты в 1898 г. полоний и радий, а в 1899 г. – наведенная радиоактивность. В 1911 г. вместе с французским химиком А. Дебьерном получила металлический радий, определила его атомный вес и место в периодической таблице химических элементов. В 1903 г. за исследование радиоактивности удостоена Нобелевской премии по физике, а в 1911 г. за получение металлического радия – Нобелевской премии по химии.

Ввела термин “радиоактивность”, разработала основы количественных методов радиоактивных измерений, первая использовала радиоактивность в медицине. В годы первой мировой войны организовала 220 передвижных и стационарных установок для рентгено- и радиологического обслуживания госпиталей Франции. Умерла от лейкемии.

В честь Мариин и Пьера Кюри названы 96-й химический элемент – *кюри* и единица радиоактивности – *кюри*.

Кюри Пьер (15.05.1859–19.04.1906) – французский физик, член Парижской АН (1905), медаль Дэви, Маттеучи. Родился в Париже в семье врача. Окончил Парижский университет (бакалавр – 1876, лицензиат по физике – 1878), где в 1878–83 гг. работал ассистентом. В 1883–1904 гг. – руководитель лаборатории в Школе физики и химии, с 1904 г. – профессор Парижского университета. Трагически погиб в результате несчастного случая.

Работы в области физики кристаллов, магнетизма, радиоактивности. В 1880 г. вместе с братом минералогом Ж. Кюри открыл прямой и обратный пьезоэлектрические эффекты, используя который они сконструировали высокочувствительный прибор для измерения малых зарядов и слабых токов. В 1884–85 гг. развил теорию образования кристал-

лов и исследовал законы симметрии, ввел понятие поверхностной энергии граней и сформулировал общий принцип роста кристаллов, предложил принцип определения симметрии кристалла, находящегося под каким-либо воздействием (принцип Кюри).

Установил в 1895 г. независимость магнитной восприимчивости диамагнетиков от температуры и ее обратно пропорциональную зависимость от температуры для парамагнетиков (закон Кюри). Открыл для железа существование температуры, выше которой оно теряет ферромагнитные свойства (точка Кюри) и скачкообразно меняются удельная электропроводность и теплоемкость.

С 1897 г. вместе с женой М.Склодовской-Кюри сосредотачивается на исследовании радиоактивности, и делают ряд выдающихся открытий: новые радиоактивные элементы (полоний и радий), наведенную радиоактивность (Нобелевская премия, 1903). В 1901 г. обнаружил биологическое действие радиоактивного излучения, в 1903 г. открыл количественный закон снижения радиоактивности, введя период полураспада, и показал его независимость от внешних условий, что позволило ему предложить метод определения абсолютного возраста земных пород. В 1903 г. вместе с А. Лабордом обнаружил самопроизвольное выделение тепла солями радия, что свидетельствовало о наличии большой атомной энергии. Организовал промышленную добычу радия на основе разработанной технологии обогащения урановой руды.

Начались широкие исследования свойств новых излучений. В 1899 г. было показано, что в их составе есть два вида излучения, которые Резерфорд назвал α - и β -излучениями.

Резерфорд Эрнест (30.08.1871–19.10.1937) – английский физик, член Лондонского королевского общества (1903, 1925–30 – президент), всех академий наук, иностранный член АН СССР (1925). Родился в Спринг-Броуе (Новая Зеландия) в многодетной (12 детей) семье строительного рабочего. Окончил Кентербери-колледж в Крайстчерче (1894). В 1895–98 гг. работал в Кавендишской лаборатории у Дж. Дж. Томсона, в 1898–1907 гг. – профессор Макгиллского университета в Монреале, в 1907–19 гг. – профессор Манчестерского университета и директор физической лаборатории. С 1919 г. – профессор Кембриджского университета и директор Кавендишской лаборатории.

Исследования в области радиоактивности и ядерной физики. Своими фундаментальными открытиями заложил основы учения о радиоактивности и теории строения атома. В 1899 г. открыл α - и β -лучи, в 1900 г. – эманацию тория. Вместе с Ф. Содди в 1902–03 гг. разработал теорию

радиоактивного распада и установил закон радиоактивных превращений. В 1903 г. доказал, что α -лучи состоят из положительно заряженных частиц. Предсказал существование трансурановых элементов. За исследования по превращению элементов и химии радиоактивных веществ Резерфорду присуждена Нобелевская премия по химии (1908).

В 1908 г. вместе с Г. Гейгером сконструировал прибор для регистрации заряженных частиц (счетчик Гейгера) и с его помощью окончательно доказал, что α -частицы – дважды ионизованные атомы гелия. Обнаружил и установил закон рассеяния α -частиц атомами различных элементов, что привело его к открытию в атоме положительно заряженного ядра и созданию новой планетарной модели атома (модель атома Резерфорда).

Совместно с Э. Адриаде доказал идентичность рентгеновских спектров изотопов, подтвердив равенство их порядковых номеров в периодической таблице, наблюдал дифракцию γ -лучей на кристалле, доказав их электромагнитную природу. Выдвинул идею об искусственном превращении ядер, в 1919 г. осуществил первую искусственную ядерную реакцию, заложив основы ядерной физики, открыл протон. В 1920 г. предсказал существование нейтрона и дейтрона. С М. Олифантом экспериментально доказал справедливость взаимосвязи массы и энергии в ядерных реакциях (1933), в 1934 г. осуществил реакцию синтеза дейтронов с образованием трития.

Создал большую школу физиков: Г. Гейгер, О. Ган, Г. Мозли, Дж. Чадвик, Н. Бор, П. Блэккет, П.Л. Капица, Дж. Кокрофт, Ю.Б. Харитон, А.И. Лейпунский и др.

Через три года Поль Вийяр (1860–1934) показал, что есть и третья компонента – γ -лучи. При исследовании β -лучей было обнаружено, что e/m зависит от скорости частиц, и это натолкнуло немецкого физика Вальтера Кауфмана (1871–1947) на мысль, что масса электрона в соответствии с выдвинутой немецким физиком Максом Абрагамом (1875–1922) гипотезой имеет отчасти электромагнитное происхождение, т.е. возник вопрос о дуализме частица–волна.

В 1887–88 гг. Герц, шведский физико-химик Сванте Август Аррениус (1859–1927), Риги установили влияние ультрафиолетового света на электрический разряд, а немецкий физик Вильгельм Людвиг Франц Галльвакс (1859–1922) показал, что при освещении электрода создаются электрические заряды. Так был открыт фотоэлектрический эффект. С

1888 г. исследованием фотоэффекта занимался Столетов, который и сформулировал основные законы этого явления.

Столетов Александр Григорьевич (29.07.1839–14.05.1896) – русский физик. Родился во Владимире в семье купца. Окончил Московский университет (1860, доктор – 1872). В 1862–66 гг. работал у Г. Магнуса, Г. Кирхгофа, В. Вебера, с 1873 г. – профессор Московского университета.

Работы в области электромагнетизма, оптики, молекулярной физики, философии науки. В докторской диссертации впервые показал существование максимума в зависимости магнитной восприимчивости железа от величины намагничивающего поля. Впервые снял кривую магнитной проницаемости ферромагнетика (кривая Столетова). Предложил два метода измерения магнитных свойств вещества: метод тороида с замкнутой магнитной цепью и баллистическое измерение намагниченности. В 1888–90 гг. изучал внешний фотоэффект, разработав количественные методы его исследования, создал первый фотоэлемент и применил его на практике. Открыл пропорциональность фототока интенсивности падающего света (1 закон Столетова), явление фотоэлектрического утомления, обнаружил фототок насыщения, показав его независимость от разности потенциалов. Изучая самостоятельный газовый разряд, установил, что отношение напряженности электрического поля к давлению газа при максимальном токе постоянно (константа Столетова). Исследовал критическое состояние вещества (1892–94).

Создатель первой в России университетской научно-исследовательской лаборатории (1872), был инициатором организации физического института при Московском университете. Автор ряда философских и историко-научных очерков.

Дж. Дж. Томсон определил характеристики носителей заряда при фотоэффекте и пришел к выводу, что это электроны. В 1883 г. американский изобретатель Томас Алва Эдисон (1847–1931) обнаружил испускание отрицательного электричества раскаленной угольной нитью. Томсон также исследовал поток этих частиц и удостоверился, что и это электроны, которые появляются в результате термоэлектронной эмиссии. Таким образом, к концу 19 века окончательно было опровергнуто представление об атомах как неделимых частицах материи и подтверждено существование первой элементарной частицы – электрона.

В самом начале 20 века в продолжение революционных открытий конца 19 века (прежде всего электрона и радиоактивности) были проведены исследования, коренным образом изменившие представления о строении материи.

Проводя исследования радиоактивности тория, Резерфорд обнаружил появление нового радиоактивного газа. Тщательный анализ, проведенный им совместно с английским химиком Фредериком Содди (1877–1956), показал, что новый газ по своим химическим свойствам подобен аргону. Схожие явления были обнаружены и супругами Кюри при изучении радиоактивности радия. Был сделан вывод, что радиоактивность – это атомные явления, в которых рождаются новые виды вещества, происходят химические изменения внутри атома. Резерфорд и Содди установили природу α -частиц и составили первые схемы радиоактивного распада, “генеалогические деревья” радиоактивных веществ.

В работах П. Кюри и Резерфорда был установлен экспоненциальный закон убывания радиоактивности и показано, что постоянная радиоактивного распада или период полураспада не меняются под действием любых физических факторов. Это послужило основой способа определения возраста различных материалов. В результате анализа радиоактивных превращений появилось понятие изотопа и были открыты различные изотопы многих веществ.

В то же время появляются первые модели строения атомов. Дж. Дж. Томсон предложил модель, которую усовершенствовал английский физик лорд Кельвин (Уильям Томсон, 1824–1907). Согласно этой модели атом состоит из электронов, вращающихся в равномерно положительно заряженном пространстве. Однако здесь возникал ряд проблем: вращающиеся электроны должны были испускать электромагнитные волны и создавать магнитные поля. В итоге модель Томсона не выдержала ни критики теоретиков, ни опытной проверки.

В 1904 г. японский физик Хантаро Нагаока (1865–1950) предложил модель, развитую впоследствии Резерфордом, о существовании центрального положительного ядра, вокруг которого располагаются электроны. Эта модель позволяла объяснить эксперимент по прохождению α -частиц через тонкие металлические пластинки.

В 1913 г. голландский физик Антониус Ван ден Брук (1870–1926) выдвинул идею об атомном номере, предположив, что ядерный заряд равен порядковому номеру элемента в периодической системе Менделеева.

В том же году английский физик Генри Мозли (1887–1915) установил свой закон о том, что частота основных спектральных линий рентгеновских лучей пропорциональна квадрату числа, которое изменяется на единицу при переходе от одного элемента к соседнему. Он однозначно связал эту величину с зарядом внутреннего ядра.

В 1920 г. английский физик Джеймс Чадвик (1891–1974) по отклонению α -частиц при столкновении с различными металлами установил, что ядерные заряды меди серебра и платины равны 29,3; 46,3 и 77,4, что практически соответствует их атомным номерам: 29, 47 и 78. Все это было подтверждением модели Резерфорда. Сам Резерфорд при бомбардировке азота α -частицами получил протоны, осуществив тем самым первую ядерную реакцию: захват α -частицы ядром азота с последующим расщеплением на протон и атом кислорода.

В 1912 г. Дж. Дж. Томсон вслед за Содди, который ввел понятие изотопов для радиоактивных элементов, обнаружил изотопы неона. Уже после войны в 1919 г. Астон, сконструировав масс-спектрограф, подтвердил существование двух изотопов неона, а позднее обнаружил наличие изотопов у многих элементов.

Астон Френсис Уильям (01.09.1877–20.11.1945) – английский физик и химик, член Лондонского королевского общества (1921), иностранный член-корреспондент АН СССР (1924). Родился в Хорборне в семье фермера и торговца. Окончил Бирмингемский университет (1898), где работал в 1903–09 гг. В 1910–19 гг. – в Кавендишской лаборатории, с 1919 г. – в Тринити-колледж Кембриджского университета.

Работы в области атомной и ядерной физики, радиохимии. С помощью сконструированного масс-спектрометра открыл большое количество изотопов у многих химических элементов и изучил их закономерности (Нобелевская премия по химии, 1922). В 1913 г. предложил метод газовой диффузии для разделения изотопов, в 1919 г. – электромагнитный метод. Постоянно повышая разрешающую способность создаваемых им спектрометров, измерил с большой точностью атомные массы элементов и показал, что масса ядра отличается от суммы масс входящих в него частиц. Определив дефекты масс ядер различных изотопов, в 1927 г. построил первую кривую упаковочных коэффициентов, характеризующих энергию связи атомных ядер. Открыл изотоп уран-238 (1931).

Открытие изотопов еще более усложнило вопрос о строении материи. Но сейчас превалирует концепция, что отдельным элементом считается вещество с определенным зарядом, отвечающим за его химические свойства, а у элемента есть изотопы, отличающиеся рядом физических свойств: масса, радиоактивность, спектр рентгеновского излучения.

В своих исследованиях Астон заметил, что с ростом порядкового номера элемента наблюдается отклонение от “правила целого числа”. В 1920 г. ему пришла идея объяснения этого дефекта массы с использованием выводов теории относительности: при соединении нескольких протонов в ядро часть массы переходит в энергию связи. И это до сих пор является основой развивающейся теории ядра, а также всей ядерной энергетики.

Принципиальным развитием модели Резерфорда было предложение в 1913 г. Бором своей теории электронных орбит. Одной из предпосылок этой теории были серии спектральных линий водорода, обнаруженные в 1885 г. швейцарским ученым Иоганном Якобом Бальмером (1825–1898), в 1906 г. американским физиком Теодором Лайманом (1874–

1954) и в 1909 г. немецким физиком Фридрихом Пашеном (1865–1947). Эти серии в видимой, ультрафиолетовой и инфракрасной областях спектра подчинялись очень простой закономерности: частоты были пропорциональны разности обратных квадратов целых чисел. Бор объяснил устойчивость планетарной модели атома и одновременно эти спектральные данные с позиций квантовой теории, введя понятие стационарных состояний для электронов (главное квантовое число), между которыми только и могут совершаться переходы с излучением. Проведенные расчеты для атома водорода дали хорошее согласие с экспериментом, но для других элементов получалось расхождение с опытными данными. Позднее немецкий физик Арнольд Иоганн Вильгельм Зоммерфельд (1868–1951) развил модель Бора, введя в рассмотрение эллиптические орбиты (радиальное и азимутальное квантовые числа) и зависимость массы от скорости. Это несколько улучшило теорию, но полного объяснения экспериментальных результатов не дало.

Эти теории были полуклассическими, т.е. в классическую картину вводились квантовые ограничения, и поэтому требовали развития. В 1918 г. Бор сформулировал принцип соответствия: при разработке теории следует руководствоваться тем, что при увеличении квантового числа описание системы должно асимптотически приближаться к классическому. Т.е. законы новой физики должны переходить в классические, когда квантовая дискретность стремится к нулю.

Вместе с тем при развитии теории строения материи появляется ряд законов, которые не имеют аналогов в классической физике. Так в 1925 г. Паули сформулировал свой запрет о невозможности существования двух одинаковых электронных состояний, который не имеет вразумительно-го объяснения, но использование его на практике дает хорошие результаты. С применением запрета Паули и принципа насыщения уровней к 1927 г. была в целом построена электронная структура всех известных к тому времени 92 элементов. Создание структуры электронных оболочек атомов по-

зволило объяснить периодический закон Менделеева и многие химические свойства различных элементов (валентность, окислительно-восстановительные свойства и т.п.).

Далее продолжалось уверенное развитие квантовой теории и применение ее к описанию строения материи, начиная от атомов и молекул и кончая твердым телом. Развитие физики твердого тела тесно связано с именами немецкого физика Вальтера Шоттки (1886–1976), американского физика Феликса Блоха (1905–1983), французского физика Леона Бриллюэна (1889–1969) и других, заложивших основы зонной теории твердого тела. Применение этой теории стимулировало развитие новых областей техники, в частности, техники полупроводниковых приборов. В конце 40-х годов американские физики Джон Бардин (р.1908), Уолтер Браттейн (1902–1987) и Уильям Брэдфорд Шокли (1910–1989) построили первые полупроводниковые транзисторы (Нобелевская премия по физике, 1956), обеспечившие бурное развитие техники. В настоящее время полупроводниковая техника и микроэлектроника интенсивно развиваются как за счет использования новых физических представлений, так и в результате совершенствования технологии.

В 20-х годах 20 века интенсивно продолжались работы по более глубокому изучению строения материи. В 1925 г. по предложению Резерфорда Блекетт провел тщательный эксперимент, в котором впервые наблюдал появление протона в первой ядерной реакции (Нобелевская премия по физике, 1948), правильно интерпретированной самим Резерфордом. В 1928 г. русско-американский физик Георгий Антонович Гамов (1904–1968) развил теорию о туннельном эффекте, в соответствии с которой более эффективными “снарядами” для бомбардировки ядер являются протоны, а не α -частицы. В связи с этим началась разработка методов получения высокоэнергетичных протонов. Оригинальный и наиболее эффективный способ ускорения заряженных частиц предложил американский физик Эрнест Орландо Лоуренс (1901–1960) и создал в 1930–32 гг. первые циклотроны (Нобелевская премия по физике, 1939).

В 1932 г. в лаборатории Резерфорда английский физик Джон Дуглас Кокрофт (1897–1967) и ирландский физик Эрнест Томас Синтон Уолтон (р.1903) с помощью протонов, полученных на ускорителе собственной конструкции, расщепили ядро лития с образованием двух α -частиц (Нобелевская премия по физике, 1951). При этом было экспериментально доказано, что вещество преобразуется в энергию в соответствии с идеей Астона и теорией относительности.

В том же году на основании экспериментов по бомбардировке бериллия и лития α -излучения, проведенных супругами Жолио-Кюри, Чадвик открыл нейтрон (Нобелевская премия по физике, 1935), а американский физик Гарольд Клейтон Юри (1893–1981) открыл дейтерий (Нобелевская премия по физике, 1934).

Жолио-Кюри Ирэн (12.09.1897–17.03.1955) – французский физик и радиохимик, почетный член ряда академий наук и научных обществ, иностранный член-корреспондент АН СССР (1947), медали Matteucci, Лавуазье. Родилась в Париже в семье П. Кюри и М. Склодовской-Кюри. Окончила Парижский университет (1920), степень доктора – 1925 г. С 1918 г. работала под руководством М. Кюри в Институте радия, с 1934 г. – директор Института радия и заведующая кафедрой физики Парижского университета. В 1936 г. – помощник статс-секретаря по научно-исследовательским делам в правительстве Франции, в 1946–50 гг. вела большую работу в Комиссариате по атомной энергии.

Работы в области радиоактивности, ядерной физики, ядерной химии. В 1934 г. вместе с Ф. Жолио-Кюри открыла явление искусственной радиоактивности (Нобелевская премия по химии, 1935) и получила искусственные радиоактивные изотопы. В том же году они открыли позитронную радиоактивность. В 1931 г. при исследовании излучения бериллия при бомбардировке α -частицами они сделали вывод о корпускулярной природе этого излучения, что привело к открытию нейтрона Дж. Чадвиком. В 1938 г. Ирен совместно с П. Савичем установили появление лантана при облучении нейтронами урана, на основании чего О. Ган и Ф. Штрассман открыли явление деления ядер урана.

Занималась общественной деятельностью, во время оккупации Франции (1940–44) вела активную антифашистскую борьбу, после войны выступала против использования атомной энергии в военных целях, была членом Всемирного Совета Мира.

Жолио-Кюри Фредерик (19.03.1900–14.08.1958) – французский физик, член Парижской (1943) и многих других академий наук и научных обществ, иностранный член АН СССР (1947), медали П. Кюри, Маттеучи, Барнарда, Хьюза, Лавуазье. Родился в Париже в семье коммерсанта. Окончил Школу физики и химии (Париж, 1923), степень доктора (1930). В 1925–30 гг. работал в Институте радия и преподавал в различных учебных заведениях (Париж). В 1926 г. женился на И.Кюри, и с 1928 г. появляются их общие работы, подписываемые с 1934 г. Жолио-Кюри. С 1930 г. – научный сотрудник Национального фонда наук, с 1932 г. также преподавал в Сорбонне. С 1937 г. – профессор Коллеж де Франс и одновременно руководитель лаборатории атомного синтеза в Национальном центре научных исследований (в 1944–45 – директор). В 1946–50 гг. – верховный комиссар организованного по его инициативе Комиссариата по атомной энергии, в мае 1950 г. правительство Франции отстранило его от руководства из-за отказа вести ядерные исследования в военных целях. С 1956 г. – профессор Парижского университета, руководитель лаборатории в Институте радия и директор Института ядерной физики в Орсе.

Работы в области ядерной физики, ядерной химии, ядерной техники. Вместе с И. Кюри в 1928 г. начал исследование ядерных реакций при облучении легких ядер α -частицами. Обнаружили способность бериллиевого излучения выбивать ядра водорода, гелия и азота. Дж. Чадвик показал, что ответственным за этот процесс является поток нейтронов. В 1934 г. Ф. Жолио-Кюри показал, что масса нейтрона больше массы протона, что свидетельствовало о нестабильности нейтрона. В 1933 г. супруги Жолио-Кюри впервые получили фотографию со следами электрона и позитрона, рожденных γ -квантом (образование пар), а Ф. Жолио-Кюри вместе с Ж.Тибо первыми наблюдали аннигиляцию электронов и позитронов.

В 1935 г. супруги Жолио-Кюри получили Нобелевскую премию за открытие искусственной радиоактивности, вызванной быстрыми α -частицами. Они предсказали, что искусственная радиоактивность может быть также вызвана нейтронами, дейтронами, протонами. Ф. Жолио-Кюри почти одновременно с О. Ганом и Ф. Штрассманом экспериментально открыл деление урана и одним из первых показал возможность развития цепной ядерной реакции с выделением огромной энергии вследствие появления вторичных нейтронов. В 1939–40 гг. разработал ряд технологических проектов освобождения ядерной энергии и начал с сотрудниками работы по созданию ядерного реактора на тяжелой воде, которые были прерваны из-за оккупации Франции фашистами. В 1940–

44 г. был участником Движения Сопротивления, возглавлял “Национальный фронт”, в его лаборатории изготовлялась взрывчатка. После войны возобновляет ядерные исследования, в 1948 г. осуществляет запуск первого французского циклотрона и экспериментального ядерного реактора на тяжелой воде.

Ф. Жолио-Кюри – выдающийся общественный деятель, с 1950 г. – председатель Всемирного Совета Мира, в 1951 г. удостоен Международной Ленинской премии “За укрепление мира между народами”. Президент Французского физико-химического общества (1936–38), один из основателей и президент (с 1946) Всемирной федерации научных работников, с 1947 г. президент общества “Франция – СССР”.

Открытие нейтрона и дейтерия почти сразу привело к изменению представлений о строении атома, и советский физик Дмитрий Дмитриевич Иваненко (1904–1994) предложил протонно-нейтронную модель ядра, которая стала господствующей в физике.

В 1933–34 гг. супруги Жолио-Кюри, проводя бомбардировку α -частицами легких элементов (В, Al, Mg), установили испускание позитронов, а также образование новых искусственных радиоактивных элементов. В дальнейшем работы по получению радиоактивных изотопов были продолжены с применением бомбардировки ускоренными протонами и дейтонами. В 1934 г. Ферми предложил бомбардировку нейтронами и показал, что ее эффективность существенно повышается при использовании медленных нейтронов. С применением бомбардировки нейтронами Ферми с сотрудниками, а также немецким ученым Отто Гану (1879–1968) и Лизе Мейтнер (1878–1968) удалось открыть первые трансурановые элементы: нептуний и плутоний.

При бомбардировке урана нейтронами в 1938 г. Ган и немецкий физик и химик Фриц Штрассман (1902–1980) открыли деление ядер урана (Нобелевская премия по химии, 1944). Это явление было практически одновременно правильно интерпретировано как ими самими, так и Лизе Мейтнер, немецко-английским физиком Отто Робертом Фришем (1904–1979) и Фредерико Жолио-Кюри. Мейтнер и Жолио-Кюри предсказали возможность развития цепной реакции

вследствие освобождения избыточного числа нейтронов при делении. Развитие этого представления нашло реализацию в создании промышленных ядерных реакторов (в дальнейшем – атомной энергетики) и атомной бомбы с использованием ядерных реакций деления урана-235 и плутония.

В 1934 г. при исследовании космических лучей Андерсон обнаружил, а в 1937 г. окончательно подтвердил открытие нового типа частиц – мезонов, возможность существования которых теоретически показал Юкава.

Юкава Хидэки (1907–1981) – японский физик, член Японской (1946) и ряда других академий наук, иностранный член АН СССР (1966). Родился в Токио в семье профессора геологии. Окончил университет в Киото (1929 – магистр). В 1932–33 гг. там же преподавал, 1933–39 гг. – в университете в Осаке, с 1939 г. – в Киотском императорском университете, 1953–70 гг. – там же директор Института фундаментальной физики.

Работы в области квантовой механики, ядерной и мезонной физики, теории элементарных частиц. Развивая идеи И.Е. Тамма и Д.Д. Иваненко об обменном характере ядерных сил, в 1935 г. выдвинул гипотезу о частицах с массой около 200 электронных масс (мезонов), ответственных за перенос ядерного взаимодействия между нуклонами (Нобелевская премия, 1949). π -мезоны были обнаружены экспериментально в 1947 г. Развил основные положения мезонной теории, получил выражение для взаимодействия нуклонов (потенциал Юкавы). Совместно с С. Сакатой предсказал в 1935 г. К-захват, в 1938 г. построил скалярную теорию ядерных сил и ввел нейтральный мезон для объяснения зарядовой независимости ядерных сил. В 1953 г. выдвинул идею промежуточного бозона.

Но вскоре выяснилось, что обнаруженные частицы по ряду своих параметров отличаются от мезонов, ответственных за перенос ядерного взаимодействия. И только в 1947 г. были открыты частицы, полностью соответствующие предсказаниям японского физика-теоретика. В то же время появилась идея о поле ядерных сил, обеспечивающем устойчивость ядра и природа которого еще до конца не ясна. Характерными особенностями этих сил являются очень малый радиус действия и чрезвычайная интенсивность. Существует капельная модель ядра, предложенная Бором.

Во второй половине 20 века при исследовании ядерных реакций было открыто множество элементарных частиц, большой вклад в систематизацию которых внес Гелл-Манн.

Гелл-Манн Мюррей (р.15.09.1929) – американский физик, член Национальной АН (1960), Лондонского королевского общества, премии Хейнсмана и Лоуренса, медали Франклина и Карти. Родился в Нью-Йорке в семье эмигрантов из Австрии. В пятнадцатилетнем возрасте поступил и в 1948 г. окончил Йельский университет, степень доктора – 1951 г. (Массачусетский технологический институт). В 1952–54 гг. работает в Чикагском университете, с 1954 г. в Калифорнийском технологическом институте (с 1956 – профессор).

Работы в области квантовой теории поля, ядерной физики, физики элементарных частиц. В 1953 г. ввел понятие странности – нового квантового числа для характеристики элементарных частиц и открыл закон ее сохранения. В рамках своей схемы классификации частиц предсказал новые частицы, выдвинул модель “глобальной симметрии”. Совместно с Р. Фейнманом разработал теорию слабого взаимодействия (1958). В 1961 г. предложил модель векторной доминантности и независимо от Ю. Неемана систематику элементарных частиц (система симметрий Гелл-Манна – Неемана), с помощью которой предсказал новую элементарную частицу (экспериментально обнаружена в 1964). Независимо от других выдвинул гипотезу кварков (1964) и глюонов (1973). За открытия, связанные с классификацией элементарных частиц и их взаимодействий, удостоен Нобелевской премии по физике в 1969 г.

Современные физики, постоянно совершенствуя методы исследования, получают новые экспериментальные и теоретические результаты, и развитие учения о строении материи продолжается.

5. ФИЗИКА И ОБЩЕСТВО

История физики тесно связана с историей общества. Это вполне естественно, поскольку физика, как любая наука, является важной составляющей культуры, а научное развитие, безусловно, определяется развитием цивилизации в целом. Причем физика в большой степени и зависит от уровня развития, и обуславливает развитие производительных сил общества. В связи с этим развитие физики определяется развитием как материальной культуры, так и общей, духовной культуры. Отметим, что духовная культура должна пониматься в самом широком смысле, т.е. включать в себя образование, идеологию, государственное устройство.

5.1. Взаимосвязь развития физики и культуры

Связь физики с развитием общества прослеживается на протяжении всей истории развития цивилизации. Эта связь не всегда носит однозначный характер, что обусловлено, прежде всего, естественным отставанием реализации тех или иных возможностей от потребностей общества. С другой стороны, на определенных стадиях физика как мощная ветвь дерева цивилизации начинает развиваться уже по своим собственным законам, слабо связанным с развитием общества в целом.

В таблице представлена хронологическая связь основных этапов развития физики и общества. По мере развития материального производства в древнем мире идет накопление знаний в области естествознания. Но в Древнем Египте, Месопотамии, Индии и Китае эти знания не были систематизированы. Для развития физики, безусловно, важным является и уровень духовной культуры общества, который необходим для обобщения данных наблюдений, появления новых физических идей и представлений, создания стройной системы знаний. Особенно отчетливо это просматривается в истории физики античного мира.

Хронология развития культуры и физики

Период	Материальная культура	Духовная культура	Физика
до 6 в. до н.э.	Развитие производительных сил	Господство религии	Накопление наблюдений
6-4 вв. до н.э.		Зарождение "чистых наук"	
4 в. до н.э. – 2 в.		Развитие философии. Выделение конкретных наук	Появление натурфилософии. Зарождение механики и оптики
3 – 12 вв.	Упадок в Европе. Развитие в арабском мире	Господство новых религий	Упадок в Европе. Развитие в арабском мире
13 – 16 вв.	Промышленная революция Географические открытия	Университеты. Ренессанс. Система Коперника	Зарождение экспериментальной физики
17 – 18 вв.	Рост промышленного производства	Буржуазные революции. Академии наук	Создание классической механики
19 в.	Промышленная революция	Развитие демократических свобод	Становление классической физики
Конец 19 – начало 20 в.			Революционные открытия
20 в.	Научно-техническая революция	Развитие демократии. Появление тоталитаризма	Развитие квантовой, ядерной физики

Определенные ценные знания по отдельным вопросам естествознания были у шумеров, вавилонян и египтян, но они носили случайный характер. И только после появления “чистых наук” – философии и математики в Древней Греции стали возможны систематические работы по описанию и объяснению явлений природы. При этом естественно использовались экспериментальные наблюдения, накопленные в процессе развития материальной культуры. Достижение высокого общего культурного уровня в Греции при наличии обширного комплекса знаний и технических навыков обеспечило в 4 веке до н.э. начало работ по описанию, упорядочению и объяснению явлений природы. Поэтому именно в это время у Аристотеля в его натурфилософских работах появляется само понятие “физика” и закладываются основы физического мышления. Подход Архимеда и других древнегреческих ученых к решению физических проблем основывался на простых, но строгих геометрических доказательствах, так что математика стала основным интеллектуальным орудием физики.

Следует отметить, что достижения александрийских механиков 2–1 веков до н.э. позволяли создавать очень нужные и полезные технические устройства. Но отсутствие соответствующей производственной базы задержало реализацию этих изобретений до 2–4 веков, когда они частично использовались при интенсивном строительстве в Римской империи, а внедрение подавляющего большинства изобретений затянулось до эпохи Возрождения.

После распада Римской империи в Европе наблюдается экономический упадок. Это определило то, что в средневековье там практически не наблюдалось развития физики. Важным фактором, определившим развитие науки, явилось появление новых религий: христианства и ислама. Возникающие новые господствующие идеологии очень ревниво и враждебно относились к культурному наследию прошлого, философии и естественнонаучным трудам. В конце 4 века под

руководством александрийского архиепископа Феофила был организован разгром части Александрийской библиотеки, а в начале 5 века по указанию патриарха Кирилла был осуществлен разгром Александрийского музея, а также убиты многие его профессора. В 529 г. император Византии Юстиниан закрыл последнюю философскую школу в Афинах, а римский папа Григорий I специальным постановлением запретил чтение древних книг и занятие математикой и философией. Арабам же приписывают окончательное сожжение Александрийской библиотеки в 640 г.

По мере усиления и расцвета арабских государств ислам становится более терпимым, начинается ассимиляция культур и в арабском мире наблюдается развитие науки, поэтому достижения средневековой физики в основном связывают с арабскими учеными. При этом следует говорить об изменении отношения именно государств, а не религии, поскольку последняя крайне нетерпима к развитию науки, получению новых объективных знаний. Для ортодоксальных религиозных идеологий главным является беспрекословное следование догмам, послушание, а не результат, и религия на протяжении практически всей истории негативно относилась к развитию физики и естествознания в целом.

В связи с этим в средневековой Европе, где католическая церковь имела огромную власть, даже после создания университетов развитие науки в них носит сугубо схоластический характер. И лишь после начала эпохи Ренессанса, возрождения как материальной, так и духовной культуры наблюдается отказ от схоластического мышления в науке и появляются основоположники экспериментального метода в физике – Леонардо да Винчи и Галилео Галилей. Происходящая в это время промышленная революция, применение машин в мануфактурном производстве ставит новые проблемы перед физикой. Достижения античной статики уже прак-

тически исчерпаны, и в отличие от техники древности, где в основном использовалась наука о равновесии, в технике мануфактурного периода вперед выходит задача освоения и передачи механического движения. Такие задачи в полной мере решает созданная в 17-18 веках классическая механика.

Промышленная революция в 19 веке дополнительно стимулировала развитие физики. При этом прежде всего следует отметить влияние практического использования паровой машины и потребности ее совершенствования на развитие термодинамики. А успехи учения о теплоте в свою очередь способствовали развитию теплотехники во второй половине 19 века, поскольку конструкторы новых тепловых машин – двигателей внутреннего сгорания опирались на теоретические положения термодинамики.

Также необходимо сказать о бурном развитии электротехники в 19 веке, где широко и активно использовались открытия Вольта, Ампера, Фарадея и других физиков в области электромагнетизма. При этом следует подчеркнуть, что пути и сроки реализации технических применений различных физических открытий могут быть разными, поскольку развитие техники происходит по своим внутренним законам. Например, применение электричества для передачи сигналов на расстояния предлагали Вольта, Ампер и другие исследователи. Но реализация телеграфа стала возможной лишь после удачного предложения в 1832 г. телеграфного алфавита американским изобретателем Самуилом Морзе (1791–1872).

После завершения построения классической физики развитие современной физики в большей степени происходило по объективным законам собственной логики. Так, и теория относительности, и квантовая физика возникли вследствие необходимости преодоления внутренних противоречий в физике, которые не могли быть разрешены в рамках класси-

ческой теории. И теперь уже достижения квантовой и ядерной физики в 20 веке стимулировали развитие техники и обеспечили полномасштабную научно-техническую революцию в материальном производстве.

Влияние развития культуры на физику также не носило односторонний характер. Помимо влияния физики на промышленную и научно-техническую революции 19 и 20 веков она активно и глубоко проникала и в процессы духовного формирования общества. Это, прежде всего, развитие во многом определяющих современную духовную культуру средств связи и массовой информации, появление которых было бы невозможно без достижений физики. А успехи атомной и ядерной физики 20 века в огромной степени обусловили изменение сознания общества в различных направлениях, начиная с политики и кончая экологией.

Необходимо отметить еще один аспект связи физики и общества: влияние государственного устройства на развитие физики, что наиболее наглядно проявилось в 20 веке. В основном успехи физики определялись достижениями ученых в демократических государствах, а тоталитарные режимы вынуждали, как правило, эмигрировать представителей научной элиты (Россия, Италия, Германия). Но эта связь не является однозначной, поскольку в тоталитарных государствах на решении ряда научно-технических проблем (в особенности по вопросам совершенствования военной техники) сосредотачивались огромные материальные и людские ресурсы. Причем очень большое внимание уделялось развитию физического образования в массовом масштабе. А уже по закону больших чисел здесь всегда находились ученые, которые успешно занимались не только задачами прикладного характера, но и делали фундаментальные открытия.

5.2. Развитие организации научных исследований

Зарождение физики и первые ее успехи в определяющей степени связаны с тем, что в античном мире были созданы первые научные и образовательные центры: аристотелевский Ликей и Александрийский музей. Оба эти заведения организовывались и существовали при всесторонней поддержке тогдашних государственных руководителей: Александра Македонского и правителей династии Птолемеев. Такая поддержка подразумевала полное государственное обеспечение и создавала необходимые условия для развития творчества. В арабском мире, как и в эллинистическую эпоху, основные естественнонаучные исследования сосредотачивались в придворных школах.

С появлением университетов в средневековой Европе научная деятельность начинает концентрироваться там, а также продолжают исследования ученых при дворах феодальных правителей. Понятия ученый и профессор университета, как правило, совпадали. При этом основной обязанностью профессора университета было обучение, а научная деятельность проводилась исключительно по личной инициативе при практической свободе творчества.

Важным моментом, определившим развитие и распространение науки, является создание научных академий.

В 1560 г. Порто организовал в Италии первую академию – Академию тайн природы. Но это не была настоящая академия с соответствующими органами и статутом, а скорее периодические собрания в доме Порты.

В 1603 г. в Риме состоялось первое заседание Академии деи Линчеи (“рысьеглазых”), целью которой было изучение и распространение научных знаний. С 1611 г. членом Академии был Галилей. До 1630 г. Академия процветала, публиковала важные научные работы, выступала с открытой защитой учения Галилея. Но после смерти одного из

активнейших организаторов Академии Федерико Чези (1585–1630) деятельность ее практически прекратилась. Уже в 18 веке и позже в постоянной борьбе с церковью неоднократно предпринимались попытки воссоздания и преобразования Академии. В итоге в 1939 г. она слилась с распущенной Итальянской академией, а в 1944 г. преобразована в Национальную академию деи Линчеи.

Вернувшись в 1644 г. из Италии в Англию, Бойль стал инициатором объединения ученых-исследователей. С 1645 г. в Лондоне и Оксфорде начала действовать “невидимая коллегия”, которая в 1660 г. была официально преобразована в “Королевское общество для развития познания”. Это общество и по сей день играет роль Английской Академии наук. По примеру “Королевского общества” в 1663 г. в Париже была основана “Академия точных наук”.

И Королевское общество, и Парижская академия были созданы по образцу Академии опытов, основанной в 1657 г. князем Леопольдо Медичи. Подобно Академии деи Линчеи, она организовывалась для пропаганды науки и должна была расширять физические знания путем коллективной экспериментальной деятельности своих членов по методу Галилея. Она имела в своем составе действительных членов, а также итальянских и иностранных членов-корреспондентов. Академия опытов публиковала результаты своей деятельности: в 1667 г. вышла работа ученого секретаря Магалотти “Очерки о естественнонаучной деятельности Академии опытов”, а в 1680 г. во Флоренции Джованни Тарджони Годзетти были опубликованы в четырех томах “Труды и неизданные отчеты Академии опытов”. В Академии опытов были получены важные результаты: улучшен термоскоп Галилея и создан спиртовой термометр, исследовано расширение тел при нагревании, начаты систематические метеорологические наблюдения, проведены исследования движения тел в пустоте и в воздухе, электрических явлений, звука, цвета и др.

5 марта 1667 г. Академия опытов провела последнее заседание и была распущена. Причины роспуска: анонимность открытий, т.к. по уставу все результаты принадлежали Академии, соперничество и зависть отдельных членов, враждебность и подозрительность римской церкви. Существуют свидетельства того, что князю Леопольдо была обещана кардинальская шапочка (и он ее получил в конце 1667 г.), если академия будет распущена.

В 1724 г. по указу Петра I была организована Петербургская Академия наук, что положило начало научным исследованиям в России.

Следует отметить, что академии наук создавались в основном под эгидой государств, которые ставят перед ними вполне определенные задачи. Так, Кольбер, фактический руководитель внешней и внутренней политики Франции середины 17 века, при организации Парижской Академии наук считал, что она должна заниматься решением практических задач, важных для государства. Поэтому академики привлекались для исследования полета снарядов, строительства военных укреплений и решения других проблем подобного рода.

Созданные в 17 веке во многих европейских странах, академии эффективно способствовали распространению научных знаний, осуществляя активную издательскую деятельность.

В 19 веке наука начала в большей степени влиять на производительные силы, и для освоения новой техники потребовались новые организационные формы. Быстрое расширение научных знаний ставило задачу более узкой специализации, а вместе с тем и сотрудничества ученых – специалистов в различных областях. Кроме того, научные исследования стали нуждаться в большом финансировании на экспериментальные работы, в которых должны участвовать значительные коллективы.

Развитие капитализма и потребности промышленности в грамотных специалистах обуславливают появление новых форм организации научных исследований и образования. Во Франции после буржуазной революции в 1795 г. был открыт Национальный институт наук и искусств, который был демократичнее и ближе к практической жизни, чем Академия наук. Тогда же открылась Политехническая школа, выпускниками которой были Араго, Гей-Люссак, Коши, Пуассон, Френель и др.

В Англии наряду с Королевским обществом в 1799 г. возник Королевский институт с целью “распространения познания и облегчения широкого введения полезных механических изобретений и усовершенствований и обучения посредством философских лекций и экспериментов приложению науки к общим целям жизни”. Первый директор этого института Дэви организовал уникальную химико-физическую лабораторию, где впоследствии работал Фарадей. В 1831 г. в Англии создается “Британская ассоциация содействия прогрессу науки”, которая финансировала научно-исследовательские работы по различным отраслям естествознания. Все это способствовало быстрому развитию науки с обеспечением внедрения ее результатов в промышленность.

В связи с развитием новых форм организации научных работ к началу 20 века время одиночек-профессоров практически завершилось, и научные исследования стали проводиться тремя категориями работников: преподавателями университетов, сотрудниками научных организаций промышленности и государственными научными сотрудниками (в основном в секторе оборонных исследований).

Это изменило тактику и стратегию исследований. Раньше ученый был свободен в выборе темы, теперь это осталось у немногих обеспеченных одиночек. В научных организациях такой свободы уже нет, и в конечном итоге

государство планирует и финансирует научные исследования. Такая концентрация научных усилий проявила себя мощным инструментом прогресса, но есть и проблема ограничения свободы творчества ученых. Многие обеспокоены опасностью сосредоточения огромной мощи в руках немногих политиков и ищут способы ослабления жесткости такой системы организации науки.

Одним из эффективных путей разрешения проблемы монопольного использования результатов научных исследований (в особенности для военных целей) является разработка международных проектов, которые финансируются на паритетных началах несколькими государствами. С 50-х годов 20 века успешно работает международный центр ЦЕРН в Швейцарии, где на протяжении нескольких десятилетий плодотворно работают в области ядерной физики ученые многих стран. Другой пример удачной концентрации сил и средств на проведении важных дорогостоящих исследований — международная космическая станция, в создании и эксплуатации которой принимают участие несколько стран.

Необходимо заметить, что нельзя сделать четкого разграничения в том, что в крупных промышленных и государственных научных организациях занимаются прикладными исследованиями, а в университетских лабораториях — фундаментальными исследованиями. Работы по обоим направлениям проводятся во всех видах научных подразделений, а значимость получаемых результатов определяется, как правило, не формой проведения исследований, а личными качествами и талантом ученых. Ведь появлением таких краеугольных камней в фундаменте физики, как уравнения электромагнитного поля и гипотеза квантов, мы обязаны исключительно гению Максвелла и Планка, поскольку никаких объективных предпосылок для этих прозрений не было.

Конечно, глобальные проблемы современной физики, требующие значительных людских и материальных ресурсов, могут решаться только в больших организациях. Но ряд принципиальных исследований проводятся и успешно завершаются как в университетской лаборатории, так и в крупном центре. Пример тому – независимое открытие дифракции электронов, экспериментально доказывающее их волновые свойства, было одновременно сделано в 1927 г. в научном центре компании “Белл телефон” и в лаборатории Абердинского университета.

Литература

Льоцци М. История физики. – М.: Мир, 1970. – 464 с.

Кудрявцев П.С. Курс истории физики. – М.: Просвещение, 1974. – 312 с.

Дорфман Я.Г. Всемирная история физики с древнейших времен до конца XVIII века. – М.: Наука, 1974. – 351 с.

Дорфман Я.Г. Всемирная история физики с начала XIX до середины XX веков. – М.: Наука, 1979. – 320 с.

Храмов Ю.А. Физики: Биографический справочник. – М.: Наука, 1983. – 400 с.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. Физика античного мира	6
1.1. Натурфилософия и зарождение наук	6
1.2. Физика эллинистической эпохи	8
2. Физика в средние века и эпоху Возрождения	14
2.1. Физика арабского средневековья	14
2.2. Физика в эпоху Возрождения	16
2.3. Становление экспериментальной физики	23
3. Становление классической физики	30
3.1. Механика	31
3.2. Оптика	35
3.3. Термодинамика и молекулярная физика	47
3.4. Электромагнетизм	59
4. Современная физика	72
4.1. Теория относительности	72
4.2. Квантовая теория	76
4.3. Строение материи	88
5. Физика и общество	106
5.1. Взаимосвязь развития физики и культуры	106
5.2. Развитие организации научных исследований	112
<i>Литература</i>	117

B3r(0), 0

Учебно издание

Горяев Михаил Александрович

История физики от Архимеда до Эйнштейна

Редактор *М.В. Гусева*

Оригинал-макет *А.А. Гуляевой*

Лицензия 000173 от 18.09.99

Подписано в печать 22.03.02 Формат 60x84 ¹/₁₆
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная
Усл. печ. л. 5,75. Тираж 500 экз. Заказ 98

Ленинградский областной институт развития образования
197136, С.-Петербург, Чкаловский пр., 25а

ДЛЯ ЗАМЕТОК
