

ISBN 978-5-9905275-4-6

П.Н. Николаев, О.П. Николаева

ИСТОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ ФИЗИКИ

Том III

История классической физики

Москва 2015

Павел Николаевич Николаев, Ольга Павловна Николаева

История и методология физики. Том 3.

История классической физики. М., 2015. – 162 с.

Третий том посвящен рассмотрению процесса формирования и развития физики и ее методологии в период со второй половины XVII века до конца XIX века, который принято называть периодом классической физики.

Классическая физика является основой физической науки. В конце данного периода возникли потребности в формировании современной физики.

Книга предназначена как для систематически изучающих историю и методологию физики, а также науки в целом – студентов высших учебных заведений, так и для интересующихся этими проблемами.

Nikolaev Pavel Nikolaevich, Nikolaeva Olga Pavlovna

History and methodology of physics.

Volume 3. History of classical physics. Moscow, 2015. - 162 pages

ISBN 978-5-9905275-4-6

© Николаев П.Н., Николаева О.П. 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	6
-----------------------	---

Глава I

ФОРМИРОВАНИЕ ФИЗИКИ

§ 1. Исаак НЬЮТОН	7
§ 2. Механика	16
§ 3. Закон всемирного тяготения	23
§ 4. Оптика	28
§ 5. Физика и математика	31

Глава II

ВОСЕМНАДЦАТЫЙ ВЕК – ПЕРИОД

НЕВЕСОМЫХ

§ 6. Невесомые	35
§ 7. Принципы и математический аппарат механики	37
§ 8. Теплота	47
§ 9. Электричество и магнетизм	52

§ 10. Оптика	63
§ 11. Наука в России. М.В. Ломоносов	66

Глава III

**ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ И ПРЕВРАЩЕНИЯ
ЭНЕРГИИ**

§ 12. Исключение невесомых	83
§ 13. Волновая оптика	84
§ 14. Электромагнетизм	96
§ 15. Открытие закона сохранения и превращения энергии . .	108

Глава IV

**ЗАВЕРШЕНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ
КЛАССИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ**

§ 16. Общая характеристика периода	118
§ 17. Термодинамика	119
§ 18. Кинетическая теория	123
§ 19. Электродинамика	131
§ 20. Электромагнитные волны	136
§ 21. Электронная теория	139

§ 22. Новые формы организации научных исследований	142
Заключение	150
Литература	151

ПРЕДИСЛОВИЕ

Данная книга является третьим томом «Истории и методологии физики».

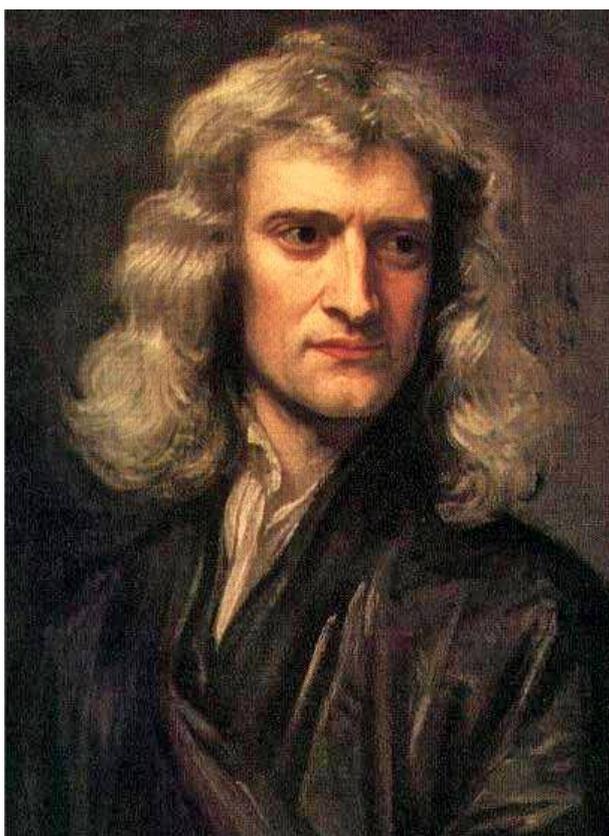
Ход развития науки в XVII веке predetermined формирование физики как самостоятельной области знания, которое получило свое завершение в трудах И. Ньютона. В первую очередь мы имеем в виду «Математические начала натуральной философии», опубликованные впервые в 1687 году. Возникла классическая физика.

Классическая физика является основой физической науки. В данной книге систематически изложена история ее возникновения и развития. При изложении материала мы будем использовать периодизацию, основанную на внутренней логике развития физики. В конце данного периода появились потребности в формировании современной физики.

Глава I

ФОРМИРОВАНИЕ ФИЗИКИ

§ 1. Исаак НЬЮТОН



Исаак Ньютон

Роль Исаака Ньютона имеет определяющее значение в создании физической науки. Именно он завершил этап формирования физической науки, что обычно связывают с появлением «Математических начал натуральной философии» [1-28,38-78].

Исаак Ньютон родился 25 декабря 1642 года (по юлианскому календарю) в небольшой деревне Вулсторп (Woolsthorpe) в графстве Линкольншир вблизи восточного побережья Англии в семье деревенского фермера, умершего незадолго до его рождения. В 1752

году в Англии был введен григорианский календарь, и в настоящее время дату рождения Ньютона чаще называют 4 января 1643 года, то есть по григорианскому календарю. По этой причине при описании жизни Ньютона данные по различным источникам иногда отличаются на год [7-12, 21-26].

До двенадцати лет Ньютона воспитывала бабушка, и он учился в сельской школе. Затем его послали в школу близлежащего города Грантема (Grantham). По окончании школы в 1658 году он вернулся в деревню. Но попытки сделать из Ньютона деревенского фермера не увенчались успехом.

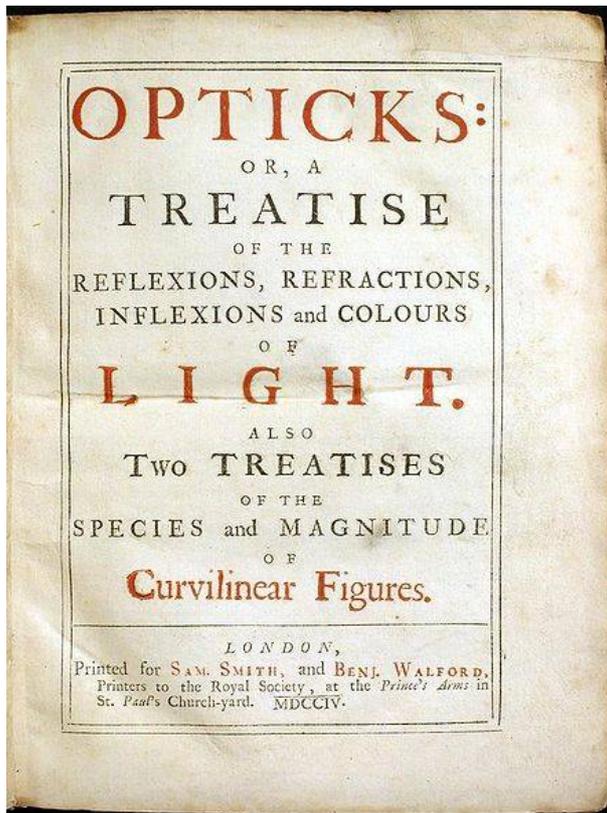
Видя его склонность к занятиям наукой и по совету дяди, воспитанника Кембриджского университета, Ньютон был направлен обратно в Грантем для подготовки к поступлению в университет.

В 1661 году он поступает в Кембриджский университет в колледж Святой троицы (Тринити-колледж) в качестве члена общины, которые не платили за свое содержание и были обязаны прислуживать другим членам колледжа.

Одним из преподавателей Ньютона был профессор Исаак Барроу (1630 - 1677), занимавший Лукасовскую кафедру. Кафедра была основана в 1663 году на средства Генри Лукаса (ок. 1610 - 1663), который завещал библиотеку (4000 книг) и землю, дававшую доход 100 фунтов в год, Кембриджскому университету. Барроу видел в Ньютоне своего преемника.

После окончания университета Ньютон стал бакалавром (1665), а в 1668 году – магистром.

В год окончания Ньютоном университета разразилась чума, и он уехал в деревню на родину, откуда вернулся в 1667 году. Период 1665 – 1666 годов был исключительно плодотворным для его научной деятельности. Впоследствии он писал: «В начале 1665 года я нашел метод приближенных рядов и правило превращения любой



Титульный лист «Оптики» Ньютона. Первое издание (1704)

степени двухчленна в такой ряд. В мае того же года я нашел метод касательных Грегори и Служия, в ноябре получил прямой метод флюксий; в январе следующего года я получил теорию цветов, а в мае приступил к обратному методу флюксий. В том же году я начал размышлять о действии тяжести, простирающейся до орбиты Луны, и, найдя, как вычислить силу, с которой тело, обращающееся внутри сферы, давит на поверхность этой сферы, я вывел из закона Кеплера, по которому периоды обращения

планет находятся в полуторной пропорции с расстояниями их от центров орбит, что сила, удерживающая планеты в их орбитах, обратно пропорциональна квадратам их расстояний от центров обращений; при этом я сравнил величину силы, потребной для удержания Луны на ее орбите, с силой тяжести на поверхности Земли и нашел между ними приблизительное равенство. Все это имело место во время чумы 1665 – 1666 гг.; в это время я переживал

лучшую пору своей юности и больше интересовался математикой и философией, чем когда бы то ни было впоследствии» [13, р. 212 - 213; 14, с. 295-296; 15, с. 186; 16, с. 131].

В 1669 году Барроу оставляет кафедру и передает ее Ньютону.

Первые работы Ньютона относятся к оптике. В 1668 году он построил первую миниатюрную модель рефлектора, а за построенный усовершенствованный рефлектор 11 января 1672 года был избран членом Лондонского Королевского общества [41, с. 139].



**Копия телескопа Ньютона.
Музей Кембриджа**

Письмо Ньютона Генри Ольденбургу (1618 - 1677), секретарю Королевского общества, составляющее содержание его первого мемуара по оптике, было прочтено в заседании общества 8 февраля 1672 года и опубликовано в Philosophical Transactions [41,38]. Вместе с тем, его публичные выступления с докладами по оптике принесли кроме известности и полемику с Робертом Гуком и рядом других ученых, которая тянулась почти непрерывно четыре года с 1672 по 1676. В марте 1673 года он даже собирался уйти из Общества [41].

18 ноября 1676 года Ньютон пишет Ольденбургу: «Я вижу, что сделался рабом философии. Но когда я покончу с делом мр. Люкаса, я решительно и навсегда с ней распрощаюсь, за исключением того, что делаю для собственного удовольствия, и того, что оставлю для

опубликования после смерти. Я узнал теперь, что либо вообще нельзя сообщать ничего нового, либо приходится тратить все свои силы на защиту своего открытия» [41, с. 161]. В результате этого Ньютон в дальнейшем по оптике не опубликовал ни одной работы до самой смерти Гука.



Воссозданный по словесному описанию портрет Роберта Гука (1635-1703) [88]

Лишь в 1704 году увидела свет его книга «Оптика» [17-20]. Большой манускрипт по оптике, представленный Ньютоном Обществу в 1675 году, который обычно называют вторым мемуаром по оптике, был прочитан в 1675 – 1676 годах, но опубликован значительно позже [41, с. 161; 42].

Период жизни Ньютона совпал с эпохой бурных социальных потрясений в Англии. Эта эпоха характеризуется напряженной политической борьбой, в которой участвовали сторонники самых разных политических направлений от приверженцев абсолютной монархии до идеологов утопического коммунизма, а в области религии – от сторонников католицизма и англиканской церкви до крайних пуритан и атеистов.

Вместе с тем, это была эпоха расцвета опытной науки. Особенности эпохи, её во многом компромиссный характер оказали влияние на мировоззрение Ньютона, в том числе и религиозное. Он был сторонником протестантизма, вероучения кальвинизма. Ньютон

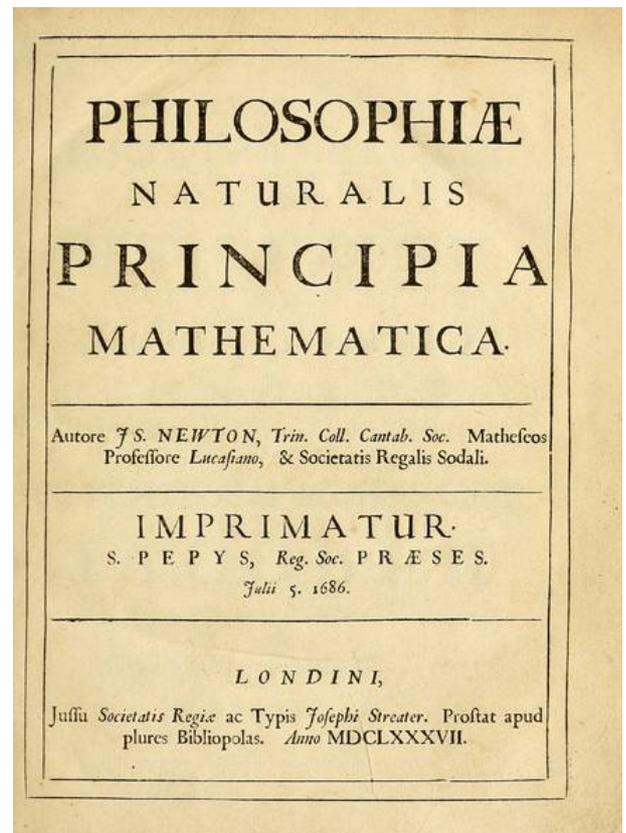
был исключительно осторожен в своих высказываниях, неохотно публиковал статьи.

Все научные открытия Ньютона, составившие ему славу, оспаривались на предмет приоритета различными его современниками. Это происходило по той простой причине, что Ньютон решал наиболее актуальные задачи своего времени, над которыми работало много других ученых.

Во второй половине 70-х годов в творчестве Ньютона наступил кризис, связанный с целым рядом факторов. Началось все с научных дискуссий. 9 декабря 1675 года он писал Лейбницу: «Я

был настолько подавлен спорами, возникшими в результате публикации моей теории, что проклинал себя за то, что в погоне за этими призраками имел глупость расстаться с благословенным покоем, столь существенным для меня» [43, с. 94].

В это время он занялся алхимией и теологией [44-47]. Ньютон изучил обширную алхимическую литературу, много времени проводил в химической лаборатории. Анализ записных книжек Ньютона показывает, что он занимался теологическими исследованиями в 70-е годы, а не только в старости.



Титульный лист "Начал" Ньютона. Первое издание (1687)

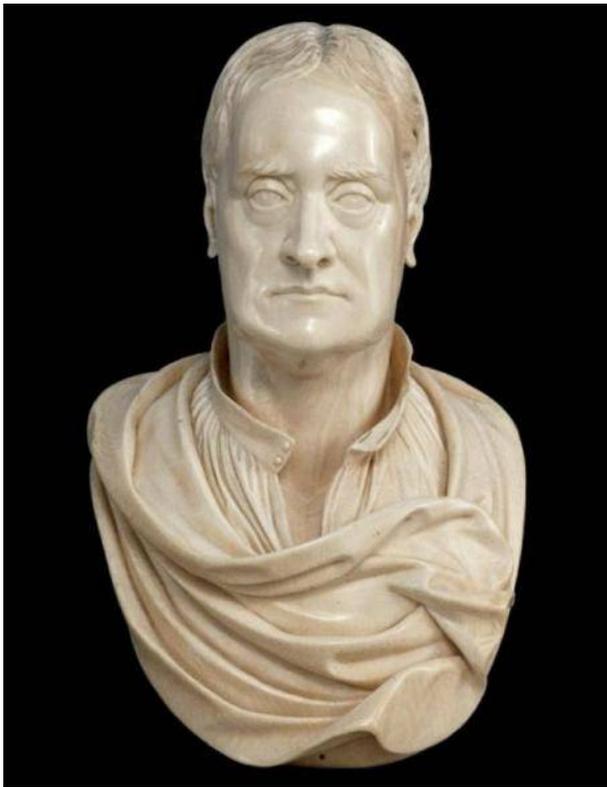
В 1677 году умер Барроу, учитель и друг Ньютона. В том же году умирает секретарь Королевского общества Ольденбург, «переписка которого с Ньютоном служила главным каналом, посредством которого открытия Ньютона делались публичным достоянием» [8, с. 101]. В 1679 году заболела мать Ньютона и летом она умирает. Ньютон уезжает в Линкольншир и остается там до ноября [47,48].

После смерти Олденберга секретарем Королевского общества становится Гук. В его обязанности входила, в том числе, и научная переписка Общества. В 1679 – 80 годах они обменялись рядом писем, которые освещают их научные интересы того периода. Часть из них была впервые опубликована в конце XIX века, а два последних – уже в XX веке .

Проблема движения планет интересовала ученых с давних времен. Астроном Галлей, используя идеи Гюйгенса о существовании центростремительной силы, пытается разработать теорию движения планет, но встречается с большими трудностями.

Он обращается за консультацией к Ньютону. Ньютон ответил, что задача им полностью решена. Просьба Галлея о публикации результатов Ньютоном увенчалась успехом лишь после того, как он обратился за помощью к влиятельным в Кембридже лицам.

В результате в 1687 году выходят знаменитые «Математические начала натуральной философии», в которых завершается создание основ новой механики, появляются три ее классических закона, носящих имя Ньютона.



Бюст Ньютона работы Ле Маршана, сделанный с натуры. Из собрания Британского музея

Ньютон обосновал систему мира Коперника. Ньютоновская методология оказала огромное влияние на последующее развитие науки.

Выход в свет книги Ньютона вызвал большие споры, так как в ней затрагивались общие мировоззренческие вопросы о пространстве, времени, природе сил тяготения и т.д..

У Ньютона помимо механики и оптики есть заслуги и в ряде других дисциплин. Совместно с Лейбницем ему принадлежит открытие дифференциального и интегрального исчисления. Он работал и в области тепловых явлений, и в ряде областей математики и др. . После Ньютона осталось большое число трудов по теологии.

В 1696 году Ньютон назначается хранителем, а в 1699 году – директором Монетного двора и переезжает в Лондон, где живет до конца жизни.

В 1703 году он избирается президентом Лондонского Королевского общества, а в 1705 году ему пожаловано дворянское звание.

20 марта 1727 года (по юлианскому календарю или 31 марта 1727 года по григорианскому календарю) овеянный славой Исаак Ньютон умер. Он похоронен в Вестминстерском аббатстве, усыпальнице английских королей и знати. Эпитафия на памятнике на его могиле гласит:

« Здесь покоится сэр Исаак Ньютон, дворянин, который почти божественным разумом первый доказал с факелом математики движение планет, пути комет и приливы океанов.

Он исследовал различие световых лучей и появляющиеся при этом различные свойства цветов, чего ранее никто не подозревал. Прилежный, мудрый и верный истолкователь природы, древности и св. писания, он утверждал своей философией величие всемогущего бога, а нравом выражал евангельскую простоту. Пусть смертные радуются, что существовало такое украшение рода человеческого. Родился 25 декабря 1642, скончался 20 марта 1727 г.» [8, с. 206].

С.И. Вавилов писал: «На языке Ньютона мы думали и говорили, и только теперь делаются попытки изобрести новый язык. Вот почему можно утверждать, что на всей физике лежал индивидуальный отпечаток его мысли; без Ньютона наука развивалась бы иначе» [8, с. 208-209].

§ 2. Механика

Основы механики в наиболее полной форме заложены Ньютоном в сочинении «Математические начала натуральной философии».

Вначале во вводной части он определяет основные понятия механики: количество материи и массы (они используются как синонимы), количество движения, сила, пространство и время и т.д.. Далее формулируются основные законы механики, известные как законы Ньютона, а также некоторые следствия из них.

В первой книге «Начал» («О движении тел») в основном рассматривается задача движения тел под действием центральных сил.

Во второй книге, называющейся как и первая «О движении тел», излагаются законы гидродинамики: распространение волн в жидкой среде, случаи течения жидкости и т.п.. Эта часть заканчивается рассмотрением вращательного движения жидкости. Хотя имя Декарта здесь явно не называется, данный раздел направлен против теории вихрей Декарта. Ньютон пишет: «Планеты не могут быть переносимы материальными вихрями».

Третья книга («О системе мира») посвящена вопросам тяготения и небесной механике.

Рассмотрим вводную часть более подробно. Она начинается с раздела «Определения». Первоначально Ньютон определяет количество материи (Определение I) следующим образом: “Quantitas materiae est mensura ejusdem orta ex illius densitate et magnitudine

conjunctim” [1]. Перевод А.Н. Крылова: «Количество материи (масса) есть мера таковой, устанавливаемая пропорционально плотности и объему его» [6, с. 23]. Перевод из [16, с. 135]: «Количество материи есть мера таковой, происходящая от ее плотности и объема совокупно». Далее Ньютон пишет, что это же количество материи он будет называть *телом* и *массой*.

Различие переводов определяется целым рядом факторов. Главным из них является позиция переводчика. А.Н. Крылов пишет: «Я придерживался латинского текста издания 1871 г. И, переведя его слова почти подстрочно, неоднократно перечитывал и исправлял этот перевод так, чтобы при точном сохранении не только смысла подлинника, но и смысла слов автора, достигнуть правильности и гладкости русского языка и избежать употребления латинских слов вроде: импульс, эффект, факт и т. п., которые от написания их русскими буквами не становятся русскими. Затем, для еще более тщательной чистки я этот перевод вновь переписал сам для подготовки его к печати» [6]. Переход от подстрочного перевода к переводу по смыслу приводит к дискуссиям, так как разные люди зачастую в одинаковых научных терминах видят разный смысл [16]. Если же ограничиться подстрочным переводом, то следует иметь в виду, что целый ряд понятий в эпоху Ньютона и настоящее время различен. Поэтому по мере необходимости мы будем приводить и текст оригинала.

Отношение к количеству материи и массе как синонимам удержалось в науке вплоть до середины XIX века, после чего было подвергнуто критике. Понятие же массы дошло до нашего времени.

Из примеров, которые приводит Ньютон после введенного определения, ясно, что под плотностью он имел в виду некоторое первичное понятие, но этом далее его не конкретизирует. Лишь косвенно можно полагать, что, хотя Ньютон и не использует представлений об атомистической природе материи, он все же придерживался атомистической гипотезы.

Он также отмечает, что масса тела пропорциональна его весу, и это утверждение обосновано его опытами с маятниками. Ниже в определении III Ньютон утверждает, что масса тела определяется его инерциальными свойствами.

Ньютон использует понятие массы тела и в законе тяготения. Отделение Ньютоном понятия массы тела, как его специфической характеристики, от веса тела позволило ему использовать это понятие для формулировки законов механики. До Ньютона эти понятия отождествлялись.

Ньютон дает и определение количества движения (Определение II): “*Quantitas motus est mensura ejusdem orta ex velocitate et quantitate materiae conjunctim*” [1]. Перевод А.Н. Крылова: «Количество движения есть мера такового устанавливаемая пропорционально скорости и массе» [6, с. 24]. Перевод из [16, с. 136]: «Количество движения есть мера такового, происходящая от скорости и количества материи совокупно». Данное определение было известно и до Ньютона, с тем лишь отличием, что количество материи отождествлялось с весом тела.

В книге дается новое определение силы (Определение IV): “*Vis impressa est actio in corpus exercita, ad mutandum ejus statum vel*

quiescendi vel movendi uniformiter in directum” [1]. Перевод А.Н. Крылова: «Приложенная сила есть действие, производимое над телом, чтобы изменить его состояние покоя или равномерного прямолинейного движения» [6, с. 26]. Перевод из [16, с. 137]: «Приложенная сила есть действие, производимое на тело для изменения его состояния покоя или равномерного прямолинейного движения».

Ньютон подчеркивает: «Сила представляется единственно только в действии и по прекращению действия в теле не остается. Тело продолжает затем удерживать свое новое состояние вследствие одной только инерции. Происхождение приложенной силы может быть различное: от удара, от давления, от центростремительной силы» [6, с. 26]. Природу силы Ньютон обсуждать отказывается.

До Ньютона под силой понимали причину движения (Аристотель), энергию и причину изменения вообще и т.п..

В завершении раздела «Определения», Ньютон приступает к изложению понятий пространства, времени и движения в подразделе «Поучение». Он отмечает, что эти понятия общеизвестны, поэтому, чтобы исключить неправильное их толкование, Ньютон предлагает разделить их на абсолютные и относительные, истинные и кажущиеся, математические и обыденные.

Абсолютное пространство и время существуют безотносительно к чему-либо внешнему, причем абсолютное время течет равномерно, а абсолютное пространство остается одинаковым и неподвижным.

Относительное или обыденное время постигается чувствами и употребляется в обыденной жизни в виде понятий: час, день, месяц, год. Относительное пространство есть ограниченная подвижная часть, определяемая нашими чувствами по положению относительно некоторых тел. Относительное пространство и время являются мерой абсолютных.

В этом случае «абсолютное движение есть перемещение тела из одного абсолютного его места в другое, относительное – из относительного в относительное же» [6, с. 31].

В отличие от абсолютного пространства и времени абсолютное движение определимо. Во-первых, определимо абсолютное ускорение. В качестве подтверждения этого факта Ньютон приводит примеры с вращательным движением ведра, заполненного водой, и связанных шаров. Во-вторых, в книге довольно туманно говорится о возможности определения абсолютной скорости.

Вообще говоря, Ньютон видит главную свою задачу в определении движения относительно абсолютного пространства. Здесь, по-видимому, проявились его философские и религиозные взгляды. С его точки зрения, пространство заполнено богом и хотя человеку оно неизвестно, оно известно богу. Стремление к постижению абсолютного движения сводится у него к постижению бога.

Взгляды Ньютона на абсолютное пространство и время с середины XIX века начинают критиковаться. С формированием представления об инерциальных системах отсчета у многих возникло представление, что они потеряли смысл.

В новой форме данная тема возникла в связи с введением представления о физическом вакууме. Вопрос же об абсолютном ускорении постоянно дискутируется вплоть до настоящего времени.

В следующем разделе «Аксиомы или законы движения» Ньютон формулирует свои три закона механики и приводит ряд следствий. Формулировка законов на языке оригинала:

Lex I

Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus illud a viribus impressis cogitur statum illum mutare.

Lex II

Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressae, et fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur.

Lex III

Actioni contrariam semper et aequalem esse reactionem: sive corporum duorum actiones in se mutuo semper esse aequales et in partes contrarias dirigi.

Перевод:

Закон I

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

Закон II

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

Закон III

Действию есть всегда равное и противоположно направленное противодействие, иначе взаимодействия двух тел друг на друга между собою равны и направлены в противоположные стороны.

[6, с. 39 - 41]

Далее идут следствия. Данный раздел также заканчивается подразделом «Поучение».

Формулировкой трех законов классической механики Ньютон завершает формирование ее основ [27,28]. В отличие от картезианцев он исключает здесь из рассмотрения обсуждение вопроса о физической природе взаимодействия, хотя известно, что эта проблема им рассматривалась.

С введением Ньютоном понятия силы задачи механики свелись к определению движения тел по известным силам, либо к определению сил по известным движениям.

§ 3. Закон всемирного тяготения

К началу второй половины XVII века в исследованиях движения планет был достигнут значительный прогресс. Измерения датского астронома Тихо Браге (1546 - 1601) по своей точности фактически соответствовали практическому пределу наблюдений невооруженным глазом [29,30]. Немецкий астроном и математик Иоганн Кеплер (1571 - 1630) обработал результаты этих наблюдений и установил три закона, которые в настоящее время носят название законов Кеплера [31-37].

Во времена Ньютона проверка законов Кеплера стала возможной с точностью 1 – 3%, когда положения планет стали определять с использованием микрометра, помещенного в фокусе телескопа. При такой точности измерений число теорий, которые претендовать на количественное описание явления, резко сократилось.

Известно, что основные идеи теории тяготения были сформулированы Ньютоном к 1667 году. Опубликованы они позже.

В оптическом мемуаре 1675 года Ньютон по существу высказывает гипотезу, что силовой центр действует с силой, обратно пропорциональной квадрату расстояния до него. Так или иначе, но основное содержание идей Ньютона по данному вопросу было известно в научных кругах. Поэтому во время подготовки Ньютоном «Начал» к нему обратился Гук, который также занимался данной проблематикой, с требованием, чтобы автор работы ссылался на него при изложении вопроса о всемирном тяготении.

В связи с этим Ньютон даже хотел отказаться от написания третьей книги «Начал» или хотя бы изменить ее название. Но в результате данная книга была лишь переработана.

В ее начале Ньютон пишет: «Я написал вначале третью книгу в популярной форме, так чтобы её могли читать многие. Однако те, кто недостаточно усвоил изложенные выше принципы, не понял бы силы вытекающих из них следствий и не отказался бы от предубеждений, к которым они долгие годы привыкли. По этой причине я, для того чтобы избежать споров, изложил ее содержание в виде теорем, чтобы они читались только теми, кто изучил принципы».

Этим способом Ньютон решил уменьшить число претензий по поводу приоритета.

Что касается Галлея, на деньги которого осуществлялось издание, именно популярное изложение позволило бы «Началам» быть более доступным для многочисленных «философов без математики». Как сказалась переработка «Начал» на коммерческой деятельности Галлея, неизвестно.

В разделе «Явления» третьей книги Ньютон с особой тщательностью перечисляет основные известные в то время экспериментальные факты, в том числе законы Кеплера и следствия из них. Далее он показывает, что сила, которая удерживает Луну на орбите, является той же силой, под действием которой тела падают на Землю.

Для этого он рассчитывает центростремительное ускорение Луны, а затем устанавливает, что его отношение к ускорению свободного

падения на поверхности Земли равно отношению квадрата радиуса Земли к квадрату радиуса орбиты Луны. Центробежное ускорение Луны в 3600 раз меньше ускорения свободного падения на поверхности Земли, а расстояние от центра Земли до центра Луны в среднем в 60 раз больше радиуса Земли.

Данный результат позволил Ньютону сделать вывод, что если опустить Луну на поверхность Земли, то центробежная сила станет силой тяжести, которая в свою очередь обратно пропорциональна квадрату расстояния между центрами тел.

Это то принципиально новое, что установил Ньютон: Луну на орбите удерживают те же силы, которые притягивают тела к Земле. Далее Ньютон обобщает этот вывод и на все небесные тела.

Далее делается следующий шаг. Он состоит в предположении, что тяжесть пропорциональна содержащемуся в теле количеству материи. Этот вывод с точки зрения Ньютона следует из экспериментального факта независимости ускорения свободного падения тела от его веса, формы и материала, а также из изохронности колебаний различных маятников.

Ньютон пишет: «Падение всех тяжелых тел на Землю с одинаковой высоты (исключив неравное замедление, происходящее от ничтожного сопротивления воздуха) совершается за одинаковое время, как это уже наблюдалось другими. Точнейшим же образом это может быть установлено по равенству времен качаний маятников. Я провел такое испытание для золота, серебра, свинца, стекла, песка, обыкновенной соли, дерева, воды, пшеницы».

Ньютон проверил независимость ускорения свободного падения от свойств тела с точностью выше 0.001 отношения массы инертной (то есть входящей в выражение второго закона Ньютона) к массе гравитационной (входящей в закон всемирного тяготения).

Обобщение этих фактов приводит Ньютона к установлению закона всемирного тяготения. Он постулирует его общий характер и применимость как к земным, так и к небесным телам и телам на других планетах.

Ньютон ясно понимал, что его закон справедлив при условии, что мы рассматриваем взаимодействие, говоря современным языком, материальных точек. Для определения взаимодействия реальных тел их необходимо мысленно разделить на физически малые части и найти равнодействующую силу взаимодействия всех частей.

Ньютон проводит расчеты движения планет Солнечной системы. По его оценке Юпитер за 100000 лет «не утратил бы и одной миллионной своего количества движения. Им получены теоремы о форме Земли, широтной зависимости тяжести и ряд других. К наиболее сложным расчетам относится теория движения Луны, теория приливов и теория движения комет.

При описании движения Луны Ньютон учитывает не только взаимное притяжение Земли и Луны, но и тяготение Солнца. Расчеты он проводил геометрическими методами. Используя методы теории возмущений, Ньютон объяснил многие сложные особенности движения Луны.

В теории приливов также учитывается не только притяжение Земли и Луны, но и влияние притяжения Солнца.

Что касается теории движения комет, то она напрямую не основывается на использовании закона всемирного тяготения. Здесь просто предполагается, что кометы движутся по коническим сечениям. Из данных наблюдений находят параметры этих сечений, и затем результаты сравниваются с экспериментом.

Кометы интересовали Ньютона по той простой причине, что их движение, с одной стороны, подчиняется законам Кеплера, а с другой – их орбиты сильно вытянуты. В результате на примере их движения можно сравнить правомерность теории движения Декарта и теории движения Ньютона.

По теории Декарта их траектории должны быть очень сложными, так как они пересекают много вихрей. На самом же деле, их движение хорошо описывалось на основе использования лишь конических сечений. Это было сильным аргументом в пользу теории Ньютона.

О математическом содержании закона всемирного тяготения споров не было. Вопрос же о природе силы тяготения вызвал длительные дискуссии.

Гюйгенс и Лейбниц наиболее обстоятельно изучили не теорию тяготения Ньютона, а его гидродинамику. Она была необходима им для объяснения тяготения движениями в эфире.

§ 4. Оптика

По воспоминаниям самого Ньютона еще в 1665 году он приобрел призму для изучения призматического спектра - "знаменитого явления цветов", которое в то время было уже хорошо известно, и призмы изготовлялись на продажу.

В 1668 году, когда им была изготовлена первая модель телескопа-рефлектора, у Ньютона сформировалось и ясное представление о том, что недостатки данного прибора связаны не только со сферической аберрацией, но и с другой причиной, получившей впоследствии название хроматической аберрации, которую он считал неустранимой.

В 1671 году был изготовлен усовершенствованный вариант телескопа, а в следующем году Ньютон выступил на заседании Королевского общества с докладом "Новая теория света и цветов". В наиболее полной форме основные идеи Ньютона в области оптики были им изложены в книге "Оптика", вышедшей в 1704 году.

Вопрос о природе света начал интересовать людей очень давно. С давних пор было известно и о разложении белого света на цветные составляющие. Но только Ньютон на основе проведенных им экспериментов пришел к выводу, что белый цвет состоит из лучей разных цветов.

При прохождении через призму свет, по мнению Ньютона, не видоизменяется, а разделяется на отдельные монохроматические лучи, которые уже дальше не разлагаются. Ньютон впервые применяет метод скрещенных призм, то есть закладывает основы

спектроскопии. Основным результатом своих исследований он формулирует следующим образом: "Всякий однородный свет имеет соответствующую окраску, определяющую степень его преломляемости, и такая окраска не может изменяться при отражениях и преломлениях".

По мнению Ньютона результаты его исследований просто было объяснить, исходя из корпускулярной теории, и очень трудно - из волновой. Дело в том, что хотя обе теории в то время существовали параллельно, волновая теория была развита достаточно слабо. Вместе с тем ее наиболее яркий сторонник Гюйгенс [79-81] уже смог объяснить прямолинейное распространение света. Но к этому времени были известны и собственно волновые явления - интерференция и дифракция. Их Гюйгенс не рассматривает. Вместе с тем он объясняет явление двойного лучепреломления.

Главным же недостатком волновой теории того времени было то, что это была теория бесцветного света, и с корпускулярной теорией света на тот момент она не могла конкурировать.

Ньютон создал и первый интерференционный спектроскоп, известный под названием "кольца Ньютона". Он построил установку, в которой толщина преломляющей линзы менялась по простому геометрическому закону, и получил на ней цветные кольца. Ньютон открыл важный факт повторяемости цветов при изменении толщины на определенную величину.

Аналогичными вопросами занимался и постоянный оппонент Ньютона Гук, обвинивший его в плагиате. Претензии Гука на этом не заканчивались. Он был категорически против ньютоновской теории света. С его точки зрения признание факта, что свет является суммой цветных лучей, равносильно утверждению, что все тона органа содержатся в воздухе его мехов.

Спустя двести лет в 80-х годах XIX века этот вопрос возникает снова. Начиная с работ Гука, Рэля, Шустера и заканчивая работами Манделъштама в XX веке было показано, что белый свет нельзя считать простой суммой гармонических волн. Белый свет - это поток хаотически следующих друг за другом световых импульсов. Выделение же монохроматических компонент импульсов определяется не только свойствами самого света, но и свойствами аппарата, который при этом используется.

Теория света Ньютона была достаточно сложной и ее формально нельзя однозначно назвать чисто корпускулярной или чисто волновой. Но он все же тяготел к корпускулярной теории и по существу был первым критиком волновой теории света. Так волновая теория требует существования среды, в которой распространяется свет. По этому поводу Ньютон писал: "Против заполнения неба жидкими средами, если они только не чрезвычайно разрежены, возникает большое сомнение в связи с правильным и весьма длительным движением планет и комет по всякого рода путям в небесном пространстве. Ибо отсюда ясно, что небесное пространство лишено всякого заметного сопротивления, и следовательно, и всякой осязаемой материи. Если же ее отбросить, то и гипотеза о том, что свет состоит в давлении или движении, распространяющемся через такую среду, отпадают вместе с нею".

В связи с большими трудностями волновой теории Ньютон предлагает свою концепцию света: "Не являются ли лучи света очень малыми телами, испускаемые светящимися веществами? Ибо такие тела будут проходить через однородные среды без загибания в тень, соответственно природе лучей света. Они могут иметь также различные свойства и способны сохранять эти свойства неизменными при прохождении через различные среды, в чем заключается другое условие лучей света. Прозрачные вещества дей-

ствуют на лучи света на расстоянии, преломляя, отражая и изгибая их, и взаимно лучи двигают части этих веществ на расстоянии, нагревая их; это действие и противодействие на расстоянии очень похоже на притягательную силу между телами".

По мнению Ньютона свет можно исследовать с точки зрения существования дальнедействующих сил. В "Началах" он доказывает, что частица, вступающая в плотную среду, ускоряется притяжением частиц этой среды. В результате Ньютон получает, что скорость света в более плотной среде будет больше, чем в менее плотной. Лишь после того, как в 1850 году Фуко измерил скорость света в воде, и она оказалась меньше скорости света в воздухе, классическая корпускулярная теория света была окончательно опровергнута.

Оптика Ньютона и оптика Гюйгенса были принципиально различными. Но авторов была и одна общая существенная черта: оба они стремились описать распространение и свойства света в рамках механических представлений.

§ 17 Физика и математика

Сформулированные Ньютоном в "Началах" три закона механики не имели развитого аналитического математического аппарата для своей реализации. Сам же автор "Начал" довел до предела совершенства геометрические методы решения механических задач. В техническом смысле изложение ведется им по Аполлонию и

Евклиду. Оно заключается в том, что механические величины выражались в виде различных геометрических величин и соотношений между ними, то есть соотношений между отрезками, кривыми, касательными, углами и т.д..

Ньютон использовал и метод предельных соотношений. Он представляет собой развитие метода древних атомистов - "метода неделимых". Сам же Ньютон в поучениях к первой книге "Начал" подчеркивает этот факт и объясняет, что в его методе фигурируют не "неделимые" конечные малые величины - "математические атомы", а бесконечные малые величины, то есть не конечные приращения Ax , Ay , а dx , dy . В этом же духе он дает определение производных и интегралов.

Для обоснования метода пределов Ньютон обращается к механическим образам, к представлению о конечной, предельной скорости движения. Идея предельного перехода содержит в себе и много сложностей. Ньютон избежал их, доказав вспомогательные геометрические леммы методом пределов, а в дальнейшем осуществил доказательство в духе древних геометров. Безупречность доказательств была достигнута им за счет громоздкости и сложности расчетов. В результате каждая задача решалась своим способом. Эйлер писал по этому поводу: "Хотя читатель и убеждается в истине выставляемых предположений, но он не получает достаточно ясного и точного понимания, так что, если чуть-чуть изменить те же самые вопросы, он едва ли будет в состоянии разрешить их самостоятельно" [85, с. 33-34].

На том уровне развития математики, каким он был во времена Ньютона, это, по-видимому, был наиболее оптимальный путь сочетания возможно большей широты рассмотрения механических задач с высокой строгостью рассмотрения. Будучи одним из родоначальников дифференциального и интегрального исчисления,

Ньютон как никто иной из занимавшихся в то время физическими проблемами понимал реальные возможности создаваемого нового математического аппарата для нужд механики.

Вместе с тем аналитическая форма записи уравнений движения сама по себе не дает возможностей для решения сложных задач. Впервые в аналитическом виде уравнения движения записал еще Лейбниц, но решенные им задачи были существенно проще задач, решенных Ньютоном [82,83]. Сам же автор "Начал", используя методы теории возмущений, получил исключительно точные результаты, которые были улучшены значительно позже после создания математического аппарата аналитической механики. Методы приближенных вычислений, предложенные Ньютоном, навечно вошли в науку.

Для решения реальных механических задач наряду с методами приближенных вычислений необходима была и инструментальная часть - приборы, ускоряющие счет. Они были известны, начиная с глубокой древности, когда появился абак. Во времена Ньютона стала известна и счетная машина.

Ньютон использовал логарифмическую шкалу для решения уравнений. В своем письме от 24 июня 1675 года секретарь Королевского общества Генри Ольденбург сообщает Лейбницу: "Господин Ньютон находит корни уравнений с помощью логарифмических шкал, расположенных параллельно на равных расстояниях друг от друга. Для решения кубического уравнения достаточно трех различных шкал, для уравнений четвертой степени - четырех". Кроме того, Ньютону скорее всего первому принадлежит идея "бегунка" - неотъемлемой части логарифмической линейки, хотя в реальном исполнении "бегунок" появился на ней примерно через сто лет.

В 1642 году Паскаль (1623-1662) изобрел первую работающую модель счетной машины. В Англии первая суммирующая машина была создана Сэмюэлом Морлэндом (1625-1695). Таким образом, во времена Ньютона впервые возникает реальная возможность решать достаточно сложные математические задачи.

Роль математики в развитии физики трудно переоценить. Современная физика построена на сложном математическом аппарате. Но такой она была и во время своего возникновения. Физика возникла, используя самые передовые достижения математики своего времени, в том числе и прикладной математики.

Прежде чем использовать канонический математический аппарат, Ньютону необходимо было систематизировать те знания, которые имелись в его время из области механики. Только введение ясных представлений о пространстве, времени, характеристиках тел и их движения позволило использовать в физике строгий математический аппарат. Именно с этого времени мы и можем говорить о физике как о науке.

С развитием физики роль математического аппарата для нее возрастает. Как отмечал Р.Фейнман (1918-1985) "нельзя честно объяснить всю красоты природы так, чтобы люди воспринимали их одними чувствами без глубокого понимания математики" [84,с. 35].

Глава II

ВОСЕМНАДЦАТЫЙ ВЕК - ПЕРИОД НЕВЕСОМЫХ

§ 6. Невесомые

Развитие физики после Ньютона происходило вначале в постоянной борьбе двух направлений - картезианства и ньютонианства. Сторонники Декарта направили свои усилия на построение механических теорий тяготения, в которых сила тяготения объяснялась бы с помощью различного рода движений тонких (невесомых) жидкостей. Но теория Ньютона с каждым годом получала все новые и новые подтверждения. Попытки построить вихревую или какую-либо другую теорию тяготения, основанную на теории близкодействия, оказались безрезультатными. К середине XVIII века от них отказалось подавляющее число ученых. Даже во Франции, где число сторонников Декарта было больше всего, рассматривали картезианство, по выражению Вольтера, как "метафизический роман" прошлого.

Ньютонианство сформировалось в определенную физическую концепцию, в основе которой лежало представление о невесомых

материях. Этот подход позволил распространить основные методы Ньютона на всю физику, в которой усилилось эмпирическое начало. Для объяснения физических явлений по образу и подобию механики вводились всякого рода силы: магнитные, электрические и др.. Магнитные и электрические явления характерны не для всех тел, а лишь для некоторых, причем одно и то же тело этими свойствами может обладать или нет в зависимости от условий. Поэтому в отличие от сил тяготения магнитные и электрические силы стали приписывать частицам невесомых материй. Так теплоту объясняли наличием невесомой материи - теплорода: между частицами теплорода действуют силы отталкивания, между частицами теплорода и вещества - силы притяжения.

В целом развитие физики в XVIII веке характеризуется плодотворной работой по накоплению богатого эмпирического материала, развитию экспериментальных методов в рамках представления о невесомых жидкостях. Физические явления рассматриваются, как правило, обособленно. Хотя представление о гипотетических невесомых жидкостях в науке и не сохранилось, следы его прочно вошли в наш лексикон: теплоемкость, емкость конденсатора и т.п.

§ 7. Принципы и математический аппарат механики

Результаты, полученные в механике Ньютоном, оспаривались картезианцами достаточно долго. Причем это касалось не только общих вопросов типа вопроса о природе силы тяготения. Дискуссии шли и вокруг конкретных решенных Ньютоном задач о приливах, форме Земли и других.

Ярко охарактеризовал сложившуюся ситуацию Вольтер, который писал в "Философских письмах" (1731 г.): "Когда француз приезжает в Лондон, он находит здесь большую разницу как в философии, так и во всем другом. В Париже, из которого он приехал, думают, что мир наполнен материей, здесь же ему говорят, что он совершенно пуст; в Париже вы видите, что вся вселенная состоит из вихрей тонкой материи, в Лондоне же вы не видите ничего подобного; во Франции давление Луны производит приливы и отливы моря, в Англии же говорят, что это самое море тяготеет к Луне, так что когда парижане получают от Луны прилив, то лондонские джентльмены думают, что они должны иметь отлив... . У нас картезианцы говорят, что все совершается в следствие давления, и этого мы не понимаем; здесь же ньютонианцы говорят, что все совершается в следствие притяжения, которое мы не лучше понимаем. В Париже вы воображаете, что Земля у полюсов несколько удлиннена, как яйцо, тогда как в Лондоне представляют ее сплюсненной, как дыня" [86, с. 1-2; 87, с. 130].

В первой половине XVIII века появляется целая серия работ, посвященных форме Земли. Были необходимы прямые

экспериментальные данные для определения правомерности различных теорий. В 1735 году Парижская Академия наук организовала экспедицию в Перу для измерения дуги меридиана в экваториальной зоне. Летом 1736 года академия направила экспедицию в Лапландию. Руководил ею Пьер Мопертюи (1698-1759), а в состав входил молодой математик Алексис Клод Клеро (1713-1765). Экспедиция продолжалась 15 месяцев. Ее результат полностью подтвердил выводы Ньютона.

Клеро опубликовал в 1743 году книгу "Теория фигуры Земли", которая явилась развитием теории Ньютона по данному вопросу. Здесь была поставлена труднейшая проблема определения фигуры равновесия вращающейся жидкости. Предполагалось, что жидкость состоит из частиц, взаимодействующих по ньютоновскому закону, а вся масса медленно вращается вокруг неподвижной оси.

В 1752 году выходит работа Клеро "Теория движения Луны, выведенная единственно из начала притяжения, обратно пропорционального квадратам расстояний". Эта работа получила премию Петербургской Академии наук, как и другая работа, премированная в 1762 году и посвященная анализу движения кометы Галлея. Сам Галлей предсказал ее возвращение в 1758 году, однако этого не произошло. Клеро проводит расчет с учетом возмущения Юпитера и Сатурна и предсказывает появление кометы Галлея весной 1759 года, Он ошибся лишь на 19 дней. Араго по этому поводу писал: "Исполнившееся предсказание Клеро произвели на общество более действия, нежели все хитрые доказательства философии Бейля". Сам же Бейль, как известно, оказал большое влияние на умы просветителей XVIII века.

В результате основные положения и выводы ньютоновской механики получили экспериментальное подтверждение и дальнейшее развитие. Но оставалась проблема использования законов Ньютона для решения конкретных задач. Впервые она была решена Леонардом Эйлером (1707-1783) введением аналитического аппарата, основанного, по выражению Лагранжа, на принципе ускоряющих сил [85,89-92].

В 1736 году выходят два больших тома "Механики" Эйлера (полное их название "Механика или Наука о движении, изложенная аналитически"), а в 1765 году - "Теория движения твердых тел".

В эти книги вошло значительное число исследований Эйлера по механике.

Эйлер переформулировал основные положения ньютоновской механики, придал им более ясную форму. На первое место был выдвинут второй закон, который был записан в аналитической форме. Это направление предполагает прямое использование второго закона Ньютона для определения движения материальной точки, системы материальных точек или твердого тела по заданным силам или же, наоборот, определение сил по заданным движениям.

После того, как в 1742 году Маклореном в работе "Трактат о флюксиях" был введен метод разложения движений и сил по осям в



Леонард Эйлер
(1707-1783)

трехмерной декартовой системе координат, Эйлер записывает второй закон Ньютона в виде дифференциальных уравнений для декартовых компонент перемещений и сил. Наряду с декартовыми координатами он стал использовать и другие системы координат в трехмерном пространстве.

Механика была сформулирована Ньютоном фактически для материальных точек. Эйлер развил и механику твердого тела. Он ввел в механику основные понятия динамики твердого тела, такие, как момент инерции, свободные оси и т.п.. Эйлер рассматривал движение твердого тела как сложное, состоящее из поступательного движения центра масс и вращательного движения вокруг этого центра. В результате получается система шести дифференциальных уравнений второго порядка. Эйлер решил и ряд задач о движении твердого тела, в частности, для движения вокруг неподвижной точки.

Задачами, решенными Эйлером, не исчерпывался список проблем, вставших перед механикой. Метод ускоряющих сил можно было непосредственно применять при решении задач небесной механики, баллистики, движения корабля и т.п., когда значения сил, действующих на тело, известно заранее. В случае движения тел, подверженных связям, дело обстояло значительно сложнее и метод ускоряющих сил Эйлера практически применять было сложно.

Метод сведения задач динамики к задачам статики впервые был предложен Якобом Бернулли (1654-1705) еще в конце XVII - начале XVIII века для построения теории физического маятника. В 1716 году Герман в курсе механики "Форономия" также рассмотрел движение физического маятника. Здесь он вводит величины,

равные со знаком минус произведению масс на ускорения, то есть, говоря современным языком, силы инерции. В дальнейшем метод Германа был обобщен Эйлером, который применил его к решению задач динамики для систем со связями. В настоящее время часто формулировку принципа Германа-Эйлера называют принципом Даламбера: механическая система находится в равновесии, если к действующим силам добавить силы инерции. Современную формулировку принципа Даламбера ввел Лагранж, и она является объединением принципа Германа-Эйлера с принципом возможных



Жан Даламбер (1717-1783)

перемещений.

С точки зрения самого Даламбера принцип ускоряющих сил "опирается только на расплывчатое и неясное положение, что действие пропорционально своей причине", он "в механике бесполезен и потому он должен быть из нее исключен" [93]. Из механики должно быть исключено и понятие силы.

Слово "сила" у Даламбера все же остается, но оно обозначает произведение массы на элемент скорости, а под "ускоряющей силой" он понимает просто элемент скорости. Для Даламбера "элемент скорости" - это приращение скорости или ее дифференциал.

В "Предварительных замечаниях" к книге "Трактат по динамике" (1743 г.) Даламбер излагает философские принципы своего

подхода. С его точки зрения механика должна быть очищена от принципов, имеющих экспериментальное содержание. Она должна быть полностью основана на небольшом числе наиболее общих принципов. Даламбер рассмотрел общий случай механической системы со связями и показал, что должна существовать эквивалентность между реальными силами, которые были бы необходимы, если бы связей не было, чтобы система совершала то же самое движение. Если написать соответствующее условие равновесия - в этом и состоит принцип, предложенный еще в 1742 году Даламбером Парижской Академии наук, - то силы действия связей, вообще говоря неизвестные, оказываются исключенными. В результате каждая задача динамики может быть сведена к задаче статики.

В основу своей механики Даламбер положил три постулата: закон инерции, закон сложения движений и принцип равновесия. Хотя Даламбер не первым установил принцип, носящий его имя, безусловно заслуга его состоит в том, что он увидел необычайную плодотворность этого принципа и решил ряд задач для движения систем со связями, многие из которых считались сложнейшими для того времени. Но единого аналитического метода Даламбер не предложил. Каждую задачу он решал своим способом.

В XVIII веке получили развитие в механике и вариационные принципы. Пришли они сюда из оптики, где использовались еще Героном Александрийским и, конечно же, Ферма (1601-1665). Последний сформулировал принцип, носящий его имя, в работе "Синтез для рефракции" (1662): "Природа действует наиболее легкими и доступными путями". Появление этого принципа происходило в дискуссиях с Декартом по поводу объяснения закона

преломления света. Декарт считал, как впоследствии и Ньютон, что в более плотной среде лучи света распространяются с большей скоростью, чем в менее плотной. Ферма же полагал, что эта гипотеза противоречит здравому смыслу.

Развитие вариационных принципов непосредственно в механике начинается с работы Иоганна Бернулли 1696 года, который использовал принцип Ферма для решения задачи о распространении луча света в среде с непрерывно меняющимся показателем преломления. Он же показал, что эта задача эквивалентна задаче определения траектории движения материальной точки в поле сил. В качестве конкретного применения своего подхода Бернулли решил задачу о брахистохроне - кривой наибыстрейшего падения материальной точки в поле сил тяжести.

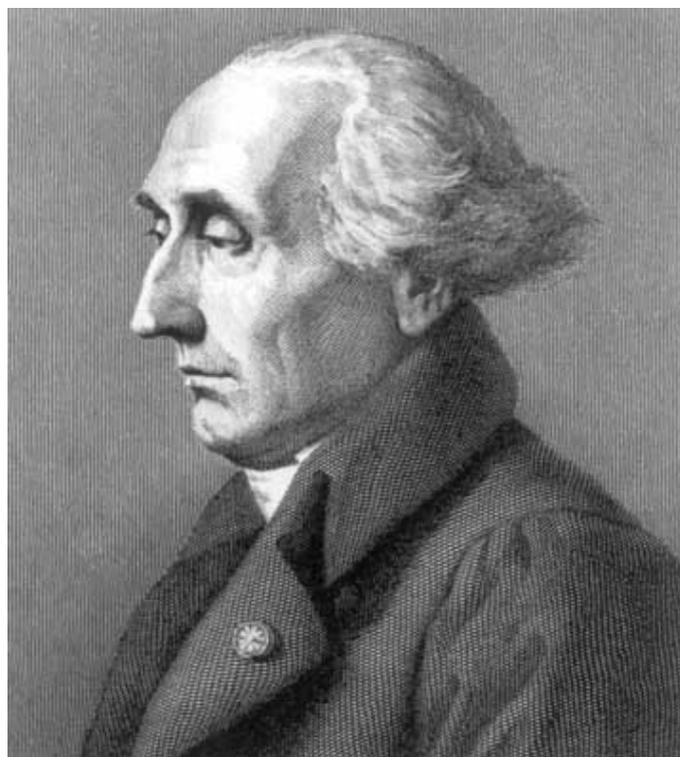
Словесная формулировка принципа, предложенного Ферма, дала богатые возможности для ее интерпретации как его сторонниками, так и противниками.

Одним из оппонентов Ферма стал Пьер Луи Моро де Мопертюи (1698-1759). бывший с 1745 по 1753 год президентом Физического отделения Берлинской Академии наук. В докладе 1740 года Парижской Академии наук и более полно в следующем докладе, напечатанном в 1744 году, Мопертюи утверждал, что ньютоновская теория полностью разрушила все построения Ферма. Но сама идея о том, что в природе действует вариационный закон, ему импонировала. В результате Мопертюи приходит к заключению, что в природе действует закон наименьшего действия. Под действием он понимал произведение количества движения на пройденный путь. Исходя из этого закона он выводит закон отражения и преломления

света, а также решает задачу о равновесии рычага и о соударении тел.

Рассуждения Мопертюи были далеки от ясности. В результате вокруг выдвинутого им принципа разгорелась полемика, носящая скорее не физический, а философский характер. Против него выступали Вольтер, Мольбрани, Вольф и другие. Его обвиняли в плагиате. Одни ссылались на неизвестное письмо, принадлежащее Лейбницу, в котором он якобы выдвинул аналогичный принцип. Другие автором принципа наименьшего действия считали Эйлера. Сам Эйлер отрицал это. Он считал, что Мопертюи действительно открыл всеобщий закон природы в самой общей форме. Вместе с тем известно, что Эйлер сам установил принцип наименьшего действия для простых случаев движения материальной точки. Начиная с 1744 года Эйлер начал его применять для решения различных задач механики.

Дальнейшее развитие вариационных принципов механики было осуществлено Лагранжем (1736-1813) [94]. Лагранж показал, что вариация от суммарного действия составляющих механическую систему частиц, которые взаимодействуют посредством центральных сил равно нулю для действительных движений. При этом



Жозеф Луи Лагранж (1736-1813)

общая энергия системы полагается постоянной. Он же впервые обратил внимание на экстремальные свойства действия: для действительных движений действие может быть как минимальным, так и максимальным.

В 1788 году вышла в свет "Аналитическая механика" Лагранжа. В этой книге из единых принципов развиваются все разделы механики - статика и гидростатика, динамика и гидродинамика. Изучив труды своих предшественников и современников, Лагранж ставит перед собой цель объединить все имеющиеся принципы и вывести из них общий аналитический метод решения механических задач.

Главную задачу своей работы Лагранж видел в исключении из рассмотрения ссылок на геометрические представления: "В этой работе вы не найдете рисунков. Изложенные мною методы не нуждаются ни в построениях, ни в рассуждениях геометрического или механического характера, а лишь в алгебраических операциях, подчиняющихся строгим и однообразным правилам. Тот, кто любит математический анализ, с удовольствием увидит, что механика становится новым разделом анализа, и будет мне благодарен за такое расширение области его применения"[94, т. 1, с. 9-10].

Лагранж сформулировал принцип возможных перемещений в виде принципа виртуальных скоростей: "Если какая-либо система любого числа тел или точек, на каждую из которых действуют любые силы, находится в равновесии и если этой системе сообщить любое малое движение, в результате которого каждая точка пройдет бесконечно малый путь, представляющий ее виртуальную скорость, то сумма сил, помноженных каждая соответственно на путь, проходимый по направлению силы точкой, к которой она

приложена, будет всегда равна нулю, если малые пути, проходимые в направлении сил. считать положительными"[94, т. 1, с. 42].

Лагранж также разрабатывает математический аппарат для применения принципа возможных перемещений для систем со связями. В частности, он применяет разработанный им метод неопределенных множителей (метод неопределенных множителей Лагранжа).

В основу своей механики Лагранж кладет принцип Германа-Эйлера, рассматривая его как принцип равновесия между действующими силами и силами инерции. Правда, он замечает: "Этот способ сведения законов динамики к законам статики в действительности является менее прямым, чем способ, вытекающий из принципа Даламбера, но зато он приводит к большей простоте в применениях..."[94, т. 1, с. 313].

Применяя принцип возможных перемещений к полученной статической задаче. Лагранж решает уже чисто математическую проблему. Он получает выражение, которое назвал "общей формулой динамики". Для систем со связями на основе использования метода неопределенных множителей им получены уравнения, называемые теперь уравнениями Лагранжа первого рода. Для консервативных систем Лагранж получает уравнения Лагранжа второго рода.

Лагранж также разрабатывает математический аппарат для применения принципа возможных перемещений для систем со связями. В частности, он применяет разработанный им метод неопределенных множителей (метод неопределенных множителей Лагранжа).

Уравнения Лагранжа лежат в основе механики и современной классической физики.

§ 8. Теплота

Тепловые явления, несмотря на то, что они интересовали людей еще в древности, количественно начали изучаться лишь после изобретения термометра. Насущная потребность в таком приборе возникла в связи с измерением температуры человеческого тела, а также для метеорологических исследований.

Известно, что термоскоп - стеклянная трубка, один из концов которой заканчивался шариком, а другой открытый помещался в сосуд с жидкостью - был известен уже Галилею. В дальнейшем трубки стали снабжаться шкалами, и можно было говорить об измерении температуры. Но у каждого изобретателя была своя шкала. Сравнить результаты различных измерений оказалось практически невозможным.

Первые термометры, дающие показания, которые можно было сравнивать между собой, были изготовлены Фаренгейтом, Реомюром и Цельсием. Основное, что обеспечило их успех, заключалось в привязке температурной шкалы к экспериментально воспроизводимым температурам.

В термометре, изобретенном Фаренгейтом в начале XVIII века, используется вода или спирт. Для определения температурной шкалы он предложил использовать три основных температурных точки - температуру смеси воды, льда и соли, температуру смеси

льда и соли и температуру человеческого тела (имеется в виду, конечно, здорового). Им было предложено приписать значения 0, 32 и 96 градусов по Фаренгейту. Температура кипения воды при нормальных условиях по такой шкале будет равна 212 градусов по Фаренгейту. Несколько позже, в 1730 году француз Реомюр предложил взять одну температурную точку - температуру таяния льда. Ей было поставлено в соответствие 0 градусов по Реомюру. За один градус по Реомюру стали считать такой интервал температур, при изменении температуры на который спирт расширяется на одну тысячную долю своего первоначального объема. По такой шкале

вода при нормальных условиях кипит при 80 градусах по Реомюру.



Андерс Цельсий (1701-1744)

И, наконец, в 1742 году Цельсий предложил шкалу, которая с небольшими изменениями стала наиболее распространенной в настоящее время. В качестве основных температурных точек бралась точка кипения воды и точка таяния льда. Сам Цельсий предложил взять первую за 0, а вторую - за 100 градусов. Через

некоторое время точки поменяли местами, и в таком виде шкала дошла до нашего времени.

Исследования тепловых явлений, посвященные калориметрии, изучению теплового расширения тел и явлениям теплопроводности,

были начаты еще до изобретения термометра. Исключительно важное значение имел вопрос о расширении тел и газов при нагревании, имеющий важное практическое значение. Уже в конце XVII и особенно в начале XVIII века стали учитывать расширение твердых тел при конструировании часов. Англичанин Гаррисон получил премию от парламента за особо точные хронометры, изготовленные с учетом расширения деталей, из которых они были изготовлены.

До появления термометров особую ценность представляют результаты, полученные для изотермических процессов. Еще в XVII веке был открыт закон Бойля-Марпотта для газов (англичанин Бойль и француз Мариотт открыли закон независимо): произведение объема газа на его давление при постоянной температуре есть величина постоянная. Представляет интерес и изобретенный в 1703 году Амонтоном газовый термометр. Но в то время он не получил распространения и был вытеснен ртутными и спиртовыми термометрами. Вопрос о газовом термометре возник лишь тогда, когда стало известно об отличии показаний спиртового и ртутного термометров, но особенно при обнаружении неравномерности шкал этих термометров.

Развитие учения о теплоте в XVIII веке вначале шло на фоне различных взглядов на теорию теплоты. С одной стороны, был взгляд на теплоту как на движение составляющих тело частиц, а с другой - ряд ученых считали, что теплота - это особый вид вещества. Встречались и промежуточные теории. Ньютон, в частности, рассматривал теплоту как движение эфира.

В середине XVIII века, а особенно к его завершению вещественная теория теплоты стала господствующей. В основном

это было обусловлено тем, что в рамках теории теплорода все имевшиеся на тот момент экспериментальные факты описывались достаточно хорошо. Другие теории теплоты в силу своей неразвитости сталкивались с большими сложностями.

Вопросами передачи теплоты занимался Ньютон. В работе 1701 года он пишет о законе охлаждения тел: "Ибо теплота, которую нагретое тело сообщает в заданное время смежным с ним холодным телам, т.е. теплота, которую железо утрачивает в продолжении заданного времени, пропорциональна всей теплоте железа; поэтому, если времена охлаждения принимать равными, то теплоты будут в геометрической прогрессии и могут быть найдены легко по таблице логарифмов" [8, с. 188].



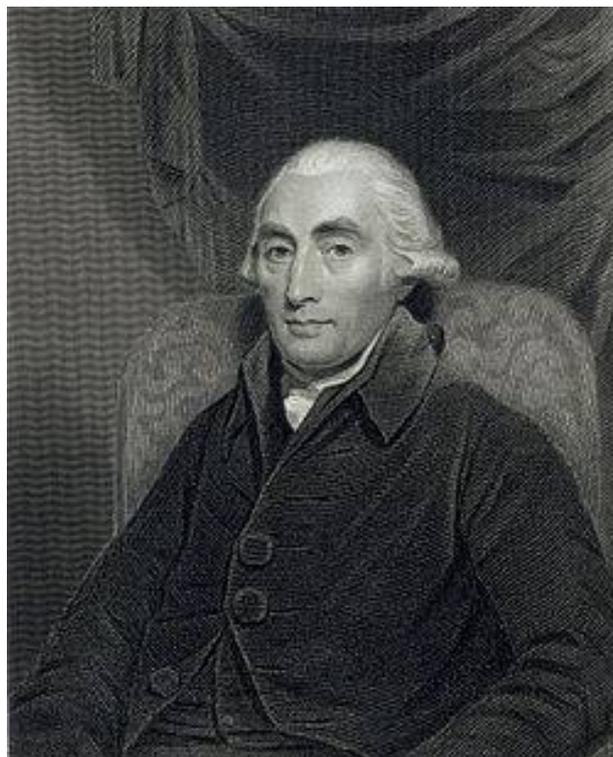
Георг Рихман (1711-1753)

С изобретением практически удобных термометров на первый план выступает калориметрия. Петербургский академик Георг Рихман (1711-1753) устанавливает формулу для температуры смеси из разных масс одной и той же жидкости, находящихся до этого при различных температурах (1744): температура смеси равна отношению суммы

произведений масс жидкости на их температуры к общей массе смеси.



Антуан Лавуазье (1743-1794)



Джозеф Блэк (1728-1799)

Изучение процессов плавления и парообразования привело Джозефа Блэка (1728-1799) к открытию в 50-х годах теплоты плавления и теплоты парообразования. Он обратил внимание на то, что процессы плавления и парообразования идут при постоянных температурах, а тепло при этом поглощается. Отсюда он сделал вывод, что в первом случае тепло идет на образование воды, а во втором - пара.

Калориметрические исследования, проводимые для смеси, состоящей из различных веществ, привело к возникновению представлений о теплоемкости. Были измерены теплоемкости ряда веществ. Создавались калориметры.

Постепенно формируется представление о сохранении количества теплоты при распределении между телами. После работ Блэка стало известно и общее уравнение для теплового баланса системы, состоящей из различных тел. Он уже различает понятие количества теплоты и понятие температуры: "Когда мы говорим о

количестве теплоты, всегда надо различать количество теплоты и силу теплоты и не смешивать две эти величины"[95, с. 156]. К 80-м годам XVIII века были сформированы основные понятия учения о теплоте.



Пьер Лаплас (1749-1827)

В 1784 году выходит сочинение Антуана Лавуазье (1743-1794) и Пьера Лапласа (1749-1827) "Мемуар о теплоте". В этой работе, по существу, подведен итог развития учения о теплоте в XVIII веке. Здесь используются понятия температуры, количества теплоты, теплоемкости и т.п..

§ 9. Электричество и магнетизм

В XVIII веке в области электрических явлений были сделаны принципиальные шаги в усовершенствовании экспериментальной техники. "Электрическая машина" Герике, изобретенная еще в XVII веке и позволявшая давать достаточно большое количество электричества, была усовершенствована и в середине XVIII века появились электростатические машины. В них шар был заменен диском, который натирался специальными подушечками.

Появляются и первые приборы для электрических измерений. Приборы совершенствовались и со временем они стали помещаться в стеклянные сосуды. Предложенный Абрахамом Бэннетом (1750-1799) в 1787 году прибор в качестве подвижной части содержал не шарики, а два тонких золотых листка. Сам прибор был помещен в специальном сосуде. Правда, вопрос о том, что измеряют эти приборы, был решен гораздо позже.

К значительным результатам в изучении электрических явлений следует отнести открытое в 1729 году С.Греем (1666-1736) явление электропроводности. Им было обнаружено, что электричество способно передаваться некоторым телам. Он же поделил все тела на проводники и непроводники.

Хотя явление электризации тел при трении было известно с древних времен, лишь в 1734 году французский ученый Ш.Дюфе (1698-1739) установил существование двух родов электричества. Открытый им принцип заключался в том, что с точки зрения Ш.Дюфе "существуют два рода электричества, одно из которых я называю стеклянным электричеством, другое смоляным электричеством. Первое имеет место в стекле, горном хрустале, драгоценных камнях, волосах шерсти и во многих других телах. Второе - в янтаре, в камеди, шелке, нити, бумаге и в большом количестве других веществ. Характерным для этих двух электричеств является способность отталкивать и притягивать одно другое. Так, если тело обладает стеклянным электричеством, оно отталкивает тела, содержащие такое же электричество, и, наоборот, притягивает все то, что имеет смоляное электричество. Соответственно смоляное электричество отталкивает смоляное и притягивает стеклянное" [96, с.445; 52, ч. 1, с. 171; 97].



**Питер ван Мушенбрук
(1692-1761)**

Имевшаяся в то время возможность получать большие электрические заряды, связанная с изобретением лейденской банки, позволила обнаружить физиологическое действие электричества. Так Мушенбрук описывал проведенный им эксперимент: "Хочу сообщить... новый, но ужасный опыт, который не советую Вам повторять. Я занимался изучением электрической силы. Для этого

я подвесил на двух шелковых голубых нитях железный ствол, получающий электричество от стеклянного шара, который быстро вращался вокруг оси и натирался руками. На другом конце висела медная проволока, конец которой был погружен в стеклянный круглый сосуд, заполненный наполовину водой, который я держал в правой руке; левой же рукой я пытался извлекать из электрического ствола искры. Вдруг моя правая рука была поражена ударом с такой силой, что все тело содрогнулось, как от удара молнии. Несмотря на то, что сосуд, сделанный из тонкого стекла, не разбивается и кисть руки обычно не смещается при таком потрясении, тем не менее локоть и все тело поражаются столь страшным образом, что не могу выразить словами. Я думал, что все кончено" [96, с.461; 52, ч. 1, с. 171; 97] (см. также [98], где дан несколько иной перевод)

Идея о возможности использования физиологического действия электрического тока в лечебных целях возникла у многих, хотя реальное ее воплощение было реализовано не сразу. Эта тематика исследований, начиная с XVIII века, становится популярной. Опыты с электричеством также становятся модными. Их ставили и в научных лабораториях, и при дворах королей.

В XVIII веке Бенджамину Франклину (1706-1790) удалось экспериментально подтвердить гипотезу об электрической природе молнии. Для этого он вначале предлагал поставить на высокой башне будку, из которой вывести вверх железный шест высотой 20-30 метров с заостренным концом, укрепленный на



Бенджамин Франклин
(1706-1790)

изолированной подставке. С его точки зрения человек, находящийся в будке, при наличии низко проходящих облаков, мог извлекать из шеста электрические искры. В мае 1752 года Т.Ф.Далибар проделал опыт Франклина и экспериментально подтвердил его гипотезу. Сам же Франклин летом 1752 года проделал классический опыт со змеем. Полученные им результаты также подтвердили эту гипотезу. Исключительно важное практическое значение имела выдвинутая Франклином идея о громоотводе.

Вершиной достижений в области электричества и магнетизма в XVIII веке явилось установление основного закона электростатики и магнитостатики - закона Кулона,



открытого в 80-х годах Шарлем Кулоном (1736-1806).

Как и при открытии закона всемирного тяготения, задолго до экспериментального установления закона Кулона стали высказываться идеи о зависимости силы взаимодействия между зарядами от расстояния. Руководящей идеей здесь

Шарль Кулон (1736-1806)

выступала аналогия с законом всемирного тяготения. В частности,

еще в 70-х годах Генри Кавендиш (1731-1810) провел эксперимент с целью установить зависимость силы взаимодействия зарядов от расстояния. Из этого опыта и последующих расчетов он сделал вывод, что "электрическое притяжение и отталкивание должны быть обратно пропорциональны квадрату расстояния"[99, с.110; 51, ч. 1, с. 177]. Результат Кавендиша не был опубликован и стал известен уже после того, как закон Кулона стал широко известен.

Шарль Кулон подошел к изучению закона взаимодействия зарядов весьма основательно. Свои исследования он опубликовал в серии статей с 1785 по 1789 годы. Метод его исследований по своей логике напоминает метод установления Ньютоном закона всемирного тяготения.

Проблема была разделена Кулоном на две части. Вначале он определил зависимость силы взаимодействия от расстояния, а затем - от величины зарядов. Для решения первой проблемы Кулон сконструировал специальный прибор - крутильные весы. В результате проведенных исследований он пришел к выводу: "Сила отталкивания двух маленьких наэлектризованных однородным электричеством шариков обратно пропорциональна квадрату расстояния между их центрами" [100, с. 7; 51, ч. 1, с. 178]. Данный перевод сделан с немецкого издания. В [101, с. 246] приведен перевод с французского издания [102]: "Отталкивающая сила двух маленьких шариков, наэлектризованных электричеством одного рода, обратно пропорциональна квадрату расстояния между центрами двух шариков".

Для решения второй проблемы Кулон использовал метод деления заряда. Согласно его гипотезе заряд одного шарика при соприкосновении с идентичным ему незаряженным шариком распределится между шариками поровну. В результате он формулирует закон в окончательном виде: "Отталкивательное, так же как и притягательное действие двух наэлектризованных шаров, а следовательно, и двух электрических молекул, прямо пропорционально плотности электрического флюида обеих электрических молекул и обратно пропорционально расстоянию между ними" [100, с. 41; 51, ч. 1, с. 178].

Кулон исследовал и взаимодействие между магнитами и установил закон о том, что "сила притяжения и отталкивания магнитных жидкостей прямо пропорциональна плотности, и обратно пропорциональна квадрату расстояний между магнитными молекулами" [100, с. 42; 51, ч. 1, с. 178].

Исследовал Кулон и распределение заряда по проводнику. Он провел исследования, аналогичные исследованиям Кавендиша, то есть определил распределение заряда внутри проводника. Его опыты по определению "электрической силы" (то есть напряженности электрического поля) показали, что эта величина пропорциональна плотности электрического заряда в рассматриваемой точке.

Что касается теоретических представлений о природе электричества, то оно свелось к основным двум направлениям - теории одной электрической материи и теории двух электрических материй.

Теория одной электрической материи была создана Франклином, который считал, что эта материя состоит из мельчайших частиц, которые могут легко проникать в обычную материю. Для каждого тела по Франклину существует определенное количество электрической материи, впитав которое тело становится электрически нейтральным. Если сверх этого добавить телу электрической материи, то оно оказывается заряженным положительно, а при недостатке положительной материи - электризуется отрицательно.

Франклин предположил, что стекло электризуется положительно. Поэтому "стеклянное электричество" он назвал "положительным электричеством". При электризации электрическая материя не создается, она только перераспределяется между телами. В таком контексте у него формируется представление о сохранении электрического заряда.

Теорию одной электрической материи развивал и петербургский академик Франц Эпинус (1724-1802). Как и Франклин, он считал,

что между частицами электрической материи существуют силы отталкивания, а между ними и частицами обычных тел - силы притяжения. Он же впервые обратил внимание на то, что для объяснения факта отталкивания двух тел, заряженных отрицательно, необходимо ввести еще гипотезу, что между частицами обычных тел действуют силы отталкивания. Это добавление в дальнейшем было подвергнуто критике. Теория одной электрической материи была заменена теорией двух электрических материй.

Закон сохранения электрического заряда Эпинус сформулировал предельно конкретно: "... Ясно, что нельзя создать один вид электричества без того, чтобы не создать другого. Иными словами, если я хочу в каком-либо теле увеличить количество электрической материи, я должен неизбежно взять ее вне его и, следовательно, уменьшить ее в каком-либо другом теле. По этой же причине я не смогу где-либо уменьшить электрическую материю без того, чтобы не передать ее в другое тело и там ее не увеличить. Таким образом, едва возникает электричество положительное, как отрицательное возникает одновременно с ним и одно не может быть получено без другого" [103, с. 452-453]. Эпинусу принадлежит и открытие электрической индукции.

Наряду с этим Эпинус предполагал и существование электрической материи, частицы которой отталкиваются друг от друга и притягиваются частичками магнитных материалов.

В наиболее развитой форме теория двух электрических жидкостей была создана Кулоном. И здесь у него мы видим рационализм ньютоновского подхода при объяснении явлений: "Какова бы ни была природа электричества, мы можем

объяснить явления, предположив, что существуют два электрических флюида, так что частица одного и того же флюида отталкивается обратно пропорционально квадрату расстояния и притягивает частицу другого флюида соответственно тому же самому закону обратных квадратов" [104, с. 58; 51, ч. 1, с. 179]. Существуют и другие переводы данного отрывка из книги Э.Уиттекера (см., например [105, с. 81]).

Кулон считал, что электрические флюиды находятся во всех ненаэлектризованных телах в равных количествах. При электризации телу сообщается дополнительное количество электричества того или иного знака. В проводниках электричество может свободно перемещаться. В непроводниках оно практически не перемещается.

По аналогии с электрическими флюидами Кулон вводит представление и о двух магнитных флюидах. В отличие от электрических флюидов магнитные флюиды заключены внутри молекул магнитных веществ, причем в одинаковых количествах. Смещение флюидов внутри молекул приводит к образованию элементарных магнетиков, которые и определяют магнитные свойства вещества в целом.

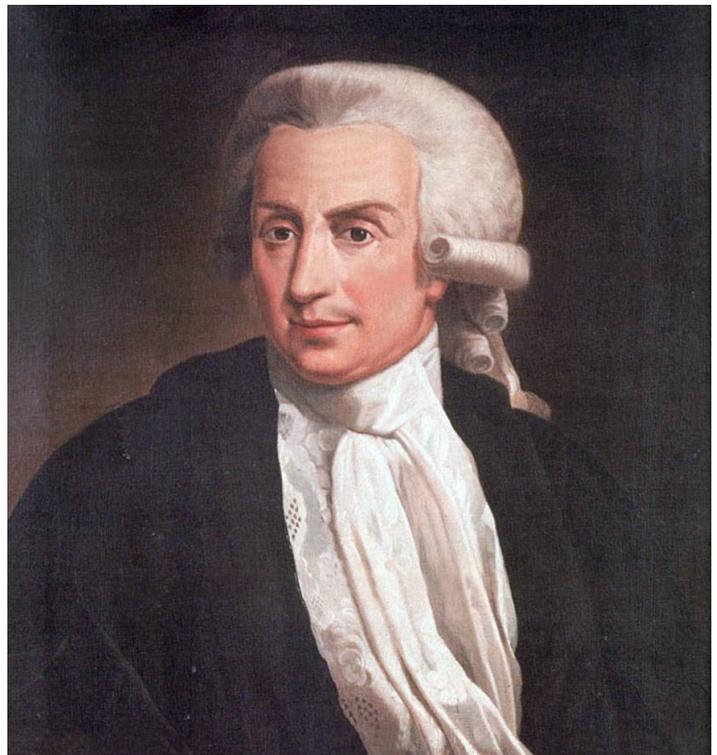
Подход, предложенный Кулоном, оказался более жизнеспособным, чем теория одной электрической жидкости.

В самом конце XVIII века был открыт гальванический элемент - первоисточник постоянного тока.

Луиджи Гальвани (1737-1798), профессор медицины, изучал физиологическое действие тока. В частности, он проделал опыты по наблюдению сокращения мышц препарированной лягушки при прикосновении металлических предметов, когда вблизи в

электрической машине проскакивала искра. Для того, чтобы определить, имеет ли место тот же эффект под действием атмосферного электричества, Гальвани развесил препарированных лягушек с медными крючками, воткнутыми в спинной мозг, на железной решетке сада. Им было обнаружено, что мышцы лягушки сокращаются при соприкосновении медных крючков с железной оградой. При этом состояние атмосферы на данный процесс не оказывает влияния. Сам Гальвани считал, что открыл "животное электричество, вырабатываемое организмом лягушки. Результаты своих исследований он опубликовал в 1791 году.

Опыты Гальвани вызвали большой интерес и многие стали их повторять. При проведении таких исследований Алессандро Вольта (1745-1827) заметил, что сила сокращения мышц зависит от того, какие используются металлы. При этом оказалось, что



Луиджи Гальвани (1737-1798)

однородные металлы почти не оказывают действия. На

основе этого он пришел к выводу, что источником электричества является не организм лягушки, а оно возникает в результате соприкосновения разнородных металлов. Вольта же предложил заменить название "животное" на "металлическое" электричество.

Возникшая коллизия привела к длительной дискуссии. Врачи шли в своих исследованиях по пути исключения металлических проводников, и это им удалось. В результате было установлено наличие тока в живом организме. Вольта шел по пути исключения живого организма из опыта. И это ему тоже удалось. В результате было открыто, что при соприкосновении металлов возникает их электризация. В дальнейшем это явление получило название

контактной разности потенциалов.



Александр Вольта (1745-1727) левее, электризуется отрицательно. Продолжая свои

исследования, Вольта установил, что контактная разность потенциалов возникает между металлами и некоторыми "сухими" проводниками. Их он назвал проводниками первого класса. Между "сухими" и "влажными" проводниками разности потенциала не возникает. "Влажные" проводники Вольта назвал проводниками второго класса.

В результате Вольта изобрел так называемый вольтов столб - первый источник постоянного тока. Вольтов столб состоял из нескольких десятков пластин из серебра и цинка или из меди и олова, между которыми были проложены картонные прокладки, пропитанные соленой водой.

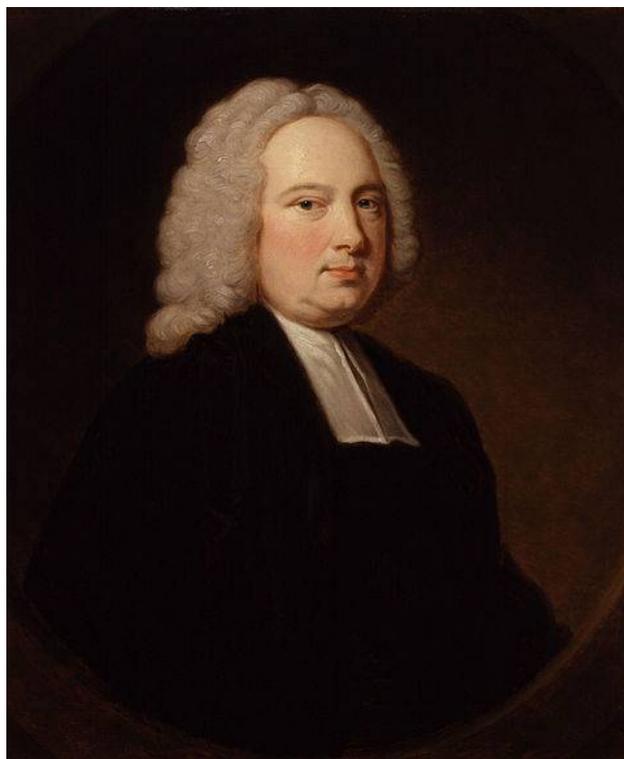
Сообщение об изобретении вольтова столба появилось в 1800 году. Действие этого источника в отличие от лейденской банки было непрерывным. Вольта дал и первую теорию работы элемента, которая получила название контактной. Но достаточно быстро было установлено, что основную роль в работе вольтова столба играют химические процессы.

§ 10. Оптика

Исследования по оптике в XVIII веке проходили при сильном влиянии теории света, предложенной Ньютоном в его "Оптике", вышедшей впервые в 1704 году [17] (второе издание вышло в 1718 году [18], третье - в 1721. С последнего издания был сделан русский перевод [19,20]). В книге была описана не только дисперсия света но и явления интерференции, дифракции и двойного лучепреломления. Ньютон первым провел количественный анализ явления, называемого теперь кольцами Ньютона. Сам Ньютон объяснял появление колец как результат "приступов", испытываемых светом при отражении и преломлении. Для объяснения экспериментальных фактов Ньютон выдвигает различные гипотезы, имеющие форму вопросов, и касающиеся объяснения природы света, строения материи, эфира и т.п. Несмотря на наличие

различных гипотез все же есть основание сделать вывод о том, что Ньютон являлся сторонником корпускулярной теории света. В разделе, касающемся объяснения явления дифракции, Ньютон задает вопрос: "Не действуют тела на свет на расстоянии и не изгибают ли этим действием его лучей?" Явление двойного лучепреломления он объяснял введением гипотезы, что лучи света обладают "различными сторонами" - особым свойством, обуславливающим их различную преломляемость при прохождении двоякопреломляющего тела. Нетрудно видеть, что Ньютону импонировала сама идея о дальнодействующих силах.

Вместе с тем следует подчеркнуть, что Ньютон все же не выражается ясным образом в пользу определенной гипотезы. Это, по-видимому, главным образом обусловлено тем, что в оптике Ньютону не удалось построить рациональную теорию, подобную



**Джеймс Брадлей (Брэдли)
(1692-1762)**

механике, в рамках какой-либо гипотезы. Наличие же различных гипотез говорит о том, что прежде чем остановиться на той или иной точке зрения Ньютон анализирует все возможные гипотезы, хотя некоторые из них ему импонируют больше, а другие - меньше. В этом смысле следует и понимать его крылатое выражение - "гипотез не измышляю": нельзя быть

сторонником той или иной гипотезы, основываясь только на слепой вере, либо интуиции, либо симпатиях.

Как человек, Ньютон имел свои симпатии и не скрывал их. Как ученый, он открыто поддерживал лишь те предположения, которые допускают рациональное обоснование. Последователи Ньютона тоже были живые люди. Они следовали Ньютону во всем, в том числе и в его симпатиях. Так в XVIII веке силой авторитета Ньютона господствующей стала корпускулярная теория света.

Д.Брадлей (Брэдли) (1692-1762) открыл аберрацию света. На этой основе в 1728 году он определил скорость света. Это открытие сыграло важную роль в развитии оптики движущихся сред.

Основным направлением развития оптики в XVIII веке стала фотометрия. Усилиями П.Бугера [105,106] и И.Г.Ламберта (1728-1777) был введен ряд новых фотометрических понятий и установлена связь между ними.

В 1775 году Гопкинсон при наблюдении светящегося фонаря через носовой платок увидел систему томных полос, которые не изменяли своего положения при параллельном перемещении платка. О своем наблюдении он сообщил астроному Риттенхаузу, которому в результате удалось сделать простейшую дифракционную решетку.



Пьер Бугер (1698-1758)

Дифракционная решетка Риттенхауза представляла собой рамку прямоугольной формы, на которую было натянуто до 190 волосков на дюйм. Риттенхауз наблюдал с помощью этой решетки спектры и установил их отличие от спектров, даваемых обычной призмой. Результаты его опытов были опубликованы в 1798 году. В дальнейшем работа Риттенхауза не обратила на себя внимания. Дифракционная решетка через некоторое время была переоткрыта Фраунгофером.

§ 11. Наука в России. М.В.Ломоносов

XVIII век занимает особое место в развитии науки в России. С реформ Петра I начинается значительное продвижение в организации образования в области естественных наук. На первом этапе естественнонаучное образование приходилось получать за границей в странах Европы. Эта традиция сохранилась и значительно позже, когда в России уже существовала сеть университетов и других высших учебных заведений.

Во второй половине XVII века в России было создано несколько государственных школ. В 1648 опубликована «Грамматика» Мелетия Смотрицкого. Она была распространена среди учеников школ и содержала правила разговорной речи и письма, а также правила сочинения стихов. В 1687 году в Москве по инициативе Симеона Полоцкого было основано первое высшее учебное заведение на основе школы при Богоявленском монастыре. Вначале оно называлось Эллино-греческой академией, а с 1701 года

переименовано в Славяно-латинскую академию. Именно в ней учился М.В. Ломоносов. В 1775 году она вновь была переименована и получила название Славяно-греко-латинская академия. В 1814 году академия преобразована в Московскую духовную академию.

В XVII веке в академии преподавались греческий, латинский и славянские языки, «семь свободных искусств», богословие. С начала XVIII века курс обучения расширился, ведущее место занял латинский язык.

В 1703 году в Москве была издана «Арифметика» Л.Ф. Магницкого (1669-1739), преподавателя Школы математических и навигационных наук, открытой Петром 1 в 1701 г. Это было руководство по математике, а также по естественным наукам вообще. До середины XVIII данная книга была основным учебником математики в России [53].

Введение в 1708 году гражданского печатного шрифта, заменившего церковнославянский, а также переход от обозначений чисел с помощью букв к арабским цифрам имело огромное значение в развитии просвещения и светской школы.

На рубеже XVII и XVIII веков возникла идея организации в России Академии наук. В это время в странах Европы научные учреждения были организованы по-разному – и как частные учреждения, и как государственные. Вторым вопросом, который необходимо было решить, - будет ли Академия только исследовательским учреждением или учебным заведением. В итоге Петр 1 останавливается на идее создать научное учреждение – Академию наук, а при ней учебные заведения – университет и гимназию.

Лейб-медику Петра 1 Л.Л. Блюментросту в январе 1724 г. было поручено письменно оформить проект. 22 января Петр 1 ознакомился с проектом и сделал поправки. Проект обсуждался на заседании Сената. 28 января (8 февраля) 1724 г. указом Сената было объявлено об учреждении Академии наук [17].

Начинает работать Петербургская академия наук, созданная по проекту Петра I, но открывшаяся уже после его смерти. Вначале она целиком была укомплектована иностранными учеными. В области естественных наук среди ее академиков были выдающиеся ученые, такие как Д.Бернулли. Л.Эйлер и др.. При академии был создан хорошо оснащенный физический кабинет для экспериментальных исследований. В Академии наук проводились научные исследования, результаты которых публикуются в изданиях Академии.

Одной из главных задач, стоящих перед Академией, была подготовка национальных научных кадров. Для этого при ней были созданы университет и гимназия.

На первом этапе своего развития Академия следовала проекту, заложенному еще Петром I. В дальнейшем на ее развитие все больше стали оказывать российские политические коллизии, особенности симпатий и антипатий двора. В разное время из-за внутриакадемических интриг пришлось уехать из России Бернулли, а затем и Эйлеру. Правда, Эйлер вернулся в Россию, но только в 1865 году.

Так или иначе, создание Академии сыграло значительную роль в развитии науки в России. Через нее в науку пришли первые русские академики - М.В.Ломоносов и В.К.Тредиаковский. Через академию производилось оснащение созданного в 1755 году

физического кабинета Московского университета. Образование Академии как решение государственной задачи осуществления реформ Петра I, комплектование ее изначально исключительно иностранными учеными, решение Академией вопросов подготовки национальных кадров - все это заложило сложный, противоречивый характер ее дальнейшего развития.

Особое место в развитии русской и мировой науки занимают работы и деятельность М.В.Ломоносова - великого русского ученого. Его научное творчество во многом определилось конкретной исторической обстановкой в России первой половины XVIII века и личной судьбой, отличной от судеб многих ученых. Он внес неоценимый вклад в развитие многих отраслей знания, в том числе, и в развитие физики [53].



**Михаил Васильевич
Ломоносов
(1711-1765)**

Михаил Васильевич Ломоносов родился 8 ноября (19 - по новому стилю) 1711 года в одной из деревень на Курострове в нескольких километрах от Холмогор. Ныне эта деревня и ряд других слились в село Ломоносово. Отец М.В.Ломоносова был черносошным крестьянином, мать - дочерью дьякона села Матигоры. Он был единственным ребенком у своих родителей.

Жители двадцати деревень Курострова были поморами -

занимались морским промыслом, так как скудная северная земля

не могла их прокормить. Отец М.В.Ломоносова владел небольшим парусным судном, на котором перевозил государственные и частные грузы, промышлял морского зверя. С десяти лет отцу в плаваниях помогал и Михаил. Для ведения дел необходимо было владеть грамотой. М.В.Ломоносов обучался у дьячка Димитриевской церкви С.Н.Сабельникова. Вначале он читал "Псалтырь", а затем и светские книги, которые удалось достать у соседа Христофора Дудина. Особое влияние на него оказали книги "Грамматика" Смотрицкого и "Арифметика" Магницкого.

Появившееся страстное желание учиться на родине реализовать было нельзя. В единственное Холмогорское духовное училище людей "подлого" происхождения не принимали. В конце 1730 года вопреки воле отца Ломоносов отправляется в Москву, где, выдав себя за сына дворянина, 15 января 1731 года поступает в Славяно-латинскую академию, которую в просторечии именовали Спасскими школами. Терпя крайнюю нужду (стипендия составляла 3 копейки в день), он за первый год оканчивает три класса. Но естественнонаучных знаний в Академии получить в полном объеме было невозможно, и в 1734 году М.В.Ломоносов добивается перевода в Киевскую духовную академию, где находит "пустые словопрения аристотелевской философии" и возвращается в Москву.

В 1735 году по указу Сената 12 лучших студентов Славяно-Греко-Латинской академии были посланы в Академию наук для обучения, среди них и М.В.Ломоносов.

М.В. Ломоносов появился в Академии наук в начале 1736 г.. Здесь он встретился с крупными учеными – профессором физики Г.В. Крафтом, профессором механики и оптики И.Г. Лейтманом, профессором астрономии Ж.-Н. Делилем. Его редкие способности и

блестящая память были замечены и оценены. Поэтому когда возникла необходимость отправки лучших студентов за границу, он был направлен в Марбург к Х. Вольфу. Несмотря на бытовые сложности М.В. Ломоносов всегда уважал своего учителя и поддерживал с ним в дальнейшем добрые отношения. Теоретической химии М.В. Ломоносова обучал Ю.Г. Дюйзинг, профессор Марбургского университета.

Стиль преподавания Х. Вольфа, для которого было характерно использование математического метода, оказал огромное влияние на М.В. Ломоносова. Здесь он посещает различные лекции, изучает книги о Г. Галилее, И. Ньюtone, Р. Бойле, Р. Декарте, Г.В. Лейбнице и целом ряде других европейских ученых. Но уже в это время М.В. Ломоносов продемонстрировал не только выдающиеся способности, но и свой оригинальный стиль решения научных задач. Это было отмечено Х. Вольфом в его отзыве о М.В. Ломоносове[53].

В центре горнорудного дела Саксонии – Фрейбурге – М.В. Ломоносов познакомился с горнорудным делом, прошел лабораторную практику. Но отношения с новым преподавателем И.Ф. Генкелем не сложились. В мае 1740 г. М.В. Ломоносов покидает Фрейбург. В последствие он объяснял этот поступок так: «Пробирное искусство я уже изучил, химия была закончена; инспектор Керн не хотел начинать, потому что Генкель вздумал вычесть у него слишком много из суммы, назначенной ему Академией наук». Вместе с тем И.Ф. Генкель дал положительный отзыв по итогам его обучения.

8 июня 1741 г. М.В. Ломоносов возвращается в Академию наук, численный состав которой увеличился до 400 человек. 8 января 1742 г. он был назначен адъюнктом по физике. К этому времени возшла на престол Елизавета Петровна (25 ноября 1741 г.). Она провозгласила целью своего царствования возвращение к порядкам ее отца, Петра 1. Это было созвучно тем представлениям об идеалах, которые сформировались у М.В. Ломоносова. Время царствования Елизаветы 1 было наиболее плодотворным для М.В. Ломоносова.

За пять лет учебы за границей М.В. Ломоносов основательно расширил свои познания как в науках, так и в организации преподавания и научных исследований в Европе. В Академию наук он вернулся с большими планами, но сразу же столкнулся с рядом лиц, цели которых были далеки от интересов отечественной науки и образования. Впоследствии он писал: «Я положил твердое и непоколебимое намерение, чтобы за благополучие наук в России, ежели обстоятельства потребуют, не пожалеть всего моего временного благополучия...».

В 1745 году М.В. Ломоносов становится профессором химии, то есть академиком. Это позволило ему с новыми силами продолжить работу по созданию химической лаборатории, поскольку «химическая лаборатория при Академии Наук для исследования натуральных вещей весьма нужна и профессор химии без оной надлежащей пользы приносить не может, равно как профессор астрономии без обсерватории и надлежащих к тому инструментов». Семилетняя работа успешно была завершена в 1752 г.. В этой лаборатории М.В. Ломоносов проработал до 1757 г., когда он передал ее химику У. Сальхову.

В 1747 г. был принят «Регламент императорской Академии наук и художеств в Санкт-Петербурге». Согласно этому регламенту значительно расширились полномочия президента, а также академической канцелярии, которая в отсутствие президента заменяла его. По этому регламенту были разделены Академия и университет, а также установлено различие между академиками и профессорами, причисленными к университету для чтения лекций.

В течении многих лет М.В. Ломоносов боролся за упразднение бюрократической канцелярии и передачу руководства академическому собранию. В качестве примера он приводил опыт европейских академий: «Там собрание академиков само себе судья... Не очевидно ли, что канцелярия не только не нужна Академии наук, но и отягощает ее, а потому должна быть изринута из подлинного дома науки». Наиболее остро стоял вопрос о подготовке отечественных кадров. М.В. Ломоносов писал, что «наше отечество может пользоваться собственными своими сынами не только в военной храбрости и других важных делах, но и в рассуждении высоких знаний».

Новый регламент вводил сословные ограничения при поступлении в академическую гимназию и университет. М.В. Ломоносов боролся за то, чтобы доступ к науке был открыт «всякого звания людям». В 1758 -1759 гг. он подготовил «Записку о необходимости преобразования Академии наук», в которой писал: «... Студент тот почтеннее, кто больше научился, а чей он сын, в том нет нужды».

Исключительное значение оказала деятельность М.В.Ломоносова, направленная на создание Московского

университета. Влияние его идей, заложенных в фундамент образовательной программы университета, прослеживается на протяжении всей истории его развития.

В 1753 г. М.В. Ломоносов отправляется в Москву и начинает подготовительную работу. Летом 1754 г. в письме И.И. Шувалову М.В. Ломоносовым дается краткий проект университета и основные принципы его организации. 19 июля Сенат утверждает представленное И.И. Шуваловым «Доношение об утверждении в Москве университета и двух гимназий» с приложением Проекта их организации. Начинается практическая деятельность по подготовке к открытию университета. В августе выходит указ императрицы Елизаветы Петровны о передаче учреждаемому в Москве университету «Аптекарского дома» у Воскресенских (Курятных) ворот на Красной площади: «Е. и. в. всемилостевейшая государыня указать соизволила для учреждающагося вновь в Москве университета дом состоявшей в Курятных ворот в коем прежде была аптека починкою исправить и в состояние привести». После перевода учреждений, занимавших «Аптекарский дом», был проведен ремонт, который был в основном закончен в декабре.

12 января 1755 г. Елизавета Петровна утвердила Проект организации Московского университета и гимназий. Согласно этому проекту университет должен был состоять из трех факультетов – юридического, медицинского, философского, объединяющих 10 кафедр. По своей структуре университет соответствовал проекту университета в Академии наук 1724 г., а также проекту М.В. Ломоносова для академического университета. 12 октября 1748 г. М.В. Ломоносов писал В.К. Тредиаковскому: «Государь мой, Василий Кириллович! Вы изволили мне объявить словесно, что в

Собрания требуют от меня мнения об университетском регламенте, что я оное кратко объявляю и думаю, что в университете неотменно должно быть трем факультетам: юридическому, медицинскому и философскому (богословский оставляю синодальным училищам), в которых бы производить в магистры, лиценциаты и доктора ...».

24 января был опубликован указ об учреждении университета и двух гимназий. кураторами университета были назначены И.И. Шувалов, Л.Л. Блюментрост, директором – А.М. Аргамаков.

В марте из Академического университета в Петербурге в Московский университет были переведены ученики и последователи М.В. Ломоносова – магистры Н.Н. Поповский, А.А. Барсов, Ф.Я. Яремский. В смете университета, утвержденной Сенатом, были предусмотрены 5 тысяч рублей «для покупки книг и прочего». 16 и 20 марта по просьбе директора университета А.М. Аргамакова на заседаниях конференции Академии наук рассматривался вопрос о помощи университету в оснащении библиотеки и приобретении оборудования для физического кабинета. Академия наук оказала реальную помощь Московскому университету в решении этих проблем.

26 апреля состоялась торжественная церемония открытия (инавгурации) университета. С речами при открытии университетской гимназии выступили Н.Н. Поповский, А.А. Барсов, учителя немецкого и французского языков. Речь А.А. Барсова называлась «О пользе учреждения Московского университета». 25 мая в университет были зачислены первые шесть студентов, а уже в июне Н.Н. Поповский начал чтение лекций по философии. Это и явилось началом занятий студентов в университете.

Открытие Московского университета оказало большое влияние не только на развитие образования, но и на всю общественную жизнь в России. Уже в 1756 г. при нем была открыта типография и книжная лавка, начала издаваться газета «Московские ведомости», открылась библиотека университета, которая была общедоступной. В августе 1758 г. вышел первый том сочинений М.В. Ломоносова (на титульном листе указан 1757 г.), который содержал как стихотворные, так и научные, научно-популярные и публицистические произведения. В «Московских ведомостях» за 9 октября 1758 г. сообщалось, что в «Московском Императорском университете недавно отпечатано и продается собрание сочинений Коллежского Советника, химии профессора и Санкт-Петербургской Императорской академии наук члена господина Ломоносова». Второй том был опубликован в 1765 г..

М.В. Ломоносов постоянно уделял большое внимание академическому университету и гимназии. Здесь были подготовлены первые отечественные преподаватели Московского университета. В академическом университете М.В. Ломоносов читал лекции студентам на русском языке. После создания Московского университета М.В. Ломоносов, по существу, начал работу по превращению академического университета в самостоятельный Петербургский университет. После того, как он стал руководить академическим университетом и гимназией, в них была перестроена система обучения. В результате впервые за многие годы академический университет стал получать студентов из гимназии, а не со стороны.

Следующим шагом стала подготовка устава университета и его привилегий, штата и бюджета. М.В. Ломоносов понимал, что без

официального утверждения положение дел в университете будет не прочным. Ему пришлось постоянно доказывать необходимость подготовки большего числа специалистов. В наброске речи для торжественной инаугурации университета М.В. Ломоносов указывал причины: «1. Сибирь пространна... 2. Горные дела. 3. Фабрики. 4. Ход севером. 5. Сохранение народа. 6. Архитектура. Правосудие. 8. Исправление нравов. Купечество и сообщение с ориентом. 10. Единство чистое (дружбы) веры. 11. Земледельство, предзнание погод. 12. Военное дело». Длительная тяжелая борьба М.В. Ломоносова не увенчалась успехом. Но она не пропала даром.

Во-первых, в академическом университете были подготовлены десятки специалистов. Во-вторых, в длительных дискуссиях в обществе сформировались различные представления о путях развития образования и науки. В-третьих, остался богатый фактический материал, который постоянно использовался для воссоздания реальной истории развития образования в России. В-четвертых, М.В. Ломоносов конкретизировал, поставил задачу развития образования в нашей стране.

Что касается Московского университета, то влияние М.В. Ломоносова не ограничилось этапом его создания. На протяжении всей дальнейшей истории работы М.В. Ломоносова стали предметом пристального изучения и развития.

М.В.Ломоносов считал химию своей "главной профессией", но уделял большое внимание исследованиям по физике, астрономии, геологии, географии, истории, филологии, писал стихотворения и оды, создавал мозаичные картины, явился фактическим инициатором создания Московского университета. Высоко ценили

М.В. Ломоносова великий русский поэт А.С.Пушкин, В.Г.Белинский, С.И.Вавилов и многие другие.

4(15) апреля 1765 года М.В.Ломоносов скончался у себя дома на Мойке в Санкт-Петербурге. 8 апреля он был похоронен на Лазаревском кладбище Александро-Невской лавры.

У М.В.Ломоносова сформировалось мировоззрение, отличавшее его от многих современников и предвосхищавшее дальнейшее развитие науки [108].

Довольно рано у него сложилось отрицательное отношение к схоластике. Вместе с тем он не следовал ортодоксально ни картезианству, ни ньютонианству, а стремился построить свое учение, основываясь на лучших традициях предшественников.

Ломоносов был сторонником материалистической концепции. Он строит модель материи и считает ее состоящей из абсолютно твердых и неделимых частиц, К материи он относит и эфир, состоящий по Ломоносову из мельчайших атомов. Материя заполняет все пространство, она и ее движение неуничтожимы. Последнее положение он впервые сформулировал в письме к Л.Эйлеру в 1746 году.

М.В.Ломоносов высказывался против далекодействующих сил, сводя взаимодействие к контактному - толчку, удару или давлению. Он развивал идею Декарта о том, что материя и движение являются "единственной основой бытия и познания". Основой познания и критерием истинности он считает опыт, отрицая в то же время грубый эмпиризм.

Научные исследования М.В.Ломоносова затрагивали различные области знания. Большую роль в них играет мировоззрение М.В.Ломоносова, определенное им самим как "корпускулярная

философия". Понятие "корпускулярной философии" возникло в древности и развивалось и в новое время. Одни философы понимали под корпускулами материальное начало, другие - идеальное, в том числе Г.В.Лейбниц и его продолжатель Х.Вольф, а учеником последнего был М.В.Ломоносов. Вместе с тем на М.В.Ломоносова глубокое впечатление произвело материалистическое атомистическое учение Роберта Бойля, с работами которого он познакомился в 1738 году. Позже в 1756 году он писал: "С тех пор, как я прочитал Бойля, овладело страстное желание исследовать мельчайшие частицы. О них я размышлял 18 лет". Поэтому первые работы М.В.Ломоносова были посвящены строению вещества.

Вещество М.В.Ломоносов считал состоящим из мельчайших неделимых бесструктурных шероховатых частиц. Физические процессы взаимодействия он описывает, основываясь на взаимодействии по принципу вращающихся волчков - при соприкосновении они разлетаются в разные стороны. Этот характер взаимодействия был введен М.В.Ломоносовым для того, чтобы не объяснять природу бесструктурных частиц, что было бы необходимо при упругом ударе. Представление о вращательном движении корпускул встречалось и гораздо позже - у Джоуля в 1844 году, Ранкина в 50-х годах XIX века и др..

Основываясь на корпускулярном представлении, М.В.Ломоносов в 1744-1750 годах создает молекулярно - кинетическую теорию теплоты, считая теплоту вращательным движением корпускул. Отсюда он делает впоследствии важный вывод о существовании абсолютного нуля температуры, который, по мнению М.В.Ломоносова, на Земле не достигим. М.В.Ломоносов пишет о

том, что температура тела определяется "степенью теплоты" - скоростью движения частиц, а количество теплоты - общим "количеством движения" частиц. На основе своей теории М.В.Ломоносов приходит к выводу об отступлении при больших плотностях от закона пропорциональности между давлением и плотностью, то есть от закона Бойля-Мариотта, из-за конечного размера молекул воздуха.

В наиболее полном виде молекулярно-кинетическая теория М.В.Ломоносова была опубликована в работе "Опыт теории упругости воздуха" (1748 год). В то время из газов был известен лишь воздух. Учение М.В.Ломоносов явилось наиболее развитым молекулярно-кинетическим представлением своего времени и намного опередило его. В своем большинстве его современники, за исключением Л.Эйлера, не оценили учения М.В.Ломоносова, как, впрочем, и другие молекулярно-кинетические учения.

М.В.Ломоносов в своих научных исследованиях касается вопросов исследования понятий силы, массы, законов сохранения, гравитации и др..

Особый интерес представляет предпринятая им в 1756 году проверка опыта Бойля по обжигу свинца. Бойль проделал этот опыт в 1673 году и получил увеличение веса свинца после обжига, объяснив этот факт проникновением внутрь сосуда материи огня и соединением ее со свинцом. В отличие от Бойля М.В.Ломоносов взвешивал свинец до и после обжига в запаянном стеклянном сосуде и установил закон сохранения веса при обжиге. Этот результат М.В.Ломоносов не опубликовал. В 1774 году Лавуазье опубликовал описание опыта,

аналогичного опыту М.В.Ломоносова. Кроме того он установил, что воздух в сосуде уменьшает свой вес на такую величину, на какую увеличивается вес свинца. В 1789 году Лавуазье опубликовал закон сохранения вещества при химических реакциях, который считал выражением закона сохранения материи и опровержением теории флогистона, широко распространенной в XVIII веке.

Тот факт, что М.В.Ломоносов не опубликовал своего результата, объясняется по-разному. В частности, Б.И.Спасский считает это следствием его общих взглядов на строение материи и понятие массы. Так М.В.Ломоносов считал, что вес тела не пропорционален его массе. Сила тяготения по Ломоносову зависит не только от массы самого тела, но и от его расположения. М.В.Ломоносов верил в существование "тяготительной" материи.

М.В.Ломоносов занимался усовершенствованием различных приборов: зеркального телескопа Ньютона, изобрел зрительную трубу для наблюдения при плохом освещении ("ночезрительная труба"), конструировал фотометры, рефрактометры, приборы для электрических и тепловых измерений. В 1763 году им была открыта атмосфера Венеры.

М.В.Ломоносов во многих работах останавливается на изучении оптических и электрических явлений. Свойства света и электричества он объясняет движением эфира. М.В.Ломоносов защищает волновую теорию света и выступает против корпускулярной. В качестве аргумента он выдвигает пример с прохождением света через алмаз в различных направлениях. При этом лучи не мешают друг другу. Он рассматривает световые лучи

как волновое движение в эфире. М.В.Ломоносов исследует отражение и поглощение световых и тепловых лучей. Он не считает световые лучи распространяющимися в эфире по аналогии со звуковыми волнами, то есть как последовательность сгущений и разрежений. М.В.Ломоносов считал, что это отличие обусловлено разным порядком расстояний между частицами воздуха, которые находятся на заметном расстоянии, и частицами эфира, которые соприкасаются между собой. Для подтверждения этого он сравнивает скорости распространения света и звука.

Особое место среди исследований М.В.Ломоносова по электричеству занимает разработанная им теория атмосферного электричества. Согласно ей в атмосфере имеют место восходящие и нисходящие потоки воздуха. В результате трения "горючих шариков" (испарений) в восходящих потоках и парами воды происходит электризация, и из-за огромного количества частиц в атмосфере образуются большие заряды.

Вместе с тем согласно взглядам М.В.Ломоносова природа света и электричества одинакова. Он искал эту взаимосвязь и предлагал для этого проекты опытов. М.В.Ломоносов стремился установить взаимосвязь между физическими и химическими явлениями, а также другими явлениями природы. Эти идеи были реализованы лишь в первой половине XIX века.

Глава III

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ И

ПРЕВРАЩЕНИЯ ЭНЕРГИИ

§ 12. Исключение невесомых

Новый XIX век начинается с бурного развития промышленности, которая требует исследования различных форм движения, их взаимных превращений и переходов. Как непосредственно практическая задача встает проблема превращения тепла в механическое движение. Исследуется связь между электричеством и магнетизмом, между химическими и электрическими процессами.

На арену выходит его величество пар. Паровая машина становится универсальным двигателем. В 1807 году в Америке Фултоном был построен первый практически пригодный пассажирский пароход, а к 30-м годам уже налаживаются регулярные речные, морские и океанские пароходные сообщения. После открытия в 1825 году первой железной дороги в Англии их сети в течение короткого времени покрыли территорию Европы и Северной Америки.

В 1819 году Эрстед открывает действие электрического тока на магнитную стрелку, а в 1831 Фарадей - явление электромагнитной индукции. В Петербурге в 1832 году демонстрируется первый практически действующий телеграф русского изобретателя П.Л.Шеллинга. Американский изобретатель Морзе создает более совершенную конструкцию электрического телеграфа, а в 1844 году в Америке была построена первая телеграфная линия. В конце 40-х годов в Америке их было несколько десятков. Появляются телеграфные линии и в Европе.

На многие области науки, и не только науки, оказало огромное влияние изобретение Дагером в 1839 году фотографии. Современный метод фотографирования вытеснил метод дагер(р)оскопии (дагер(р)отипии) уже в 50-х годах прошлого столетия. Большое практическое значение имело и изобретение Б.С.Якоби гальванопластики. |

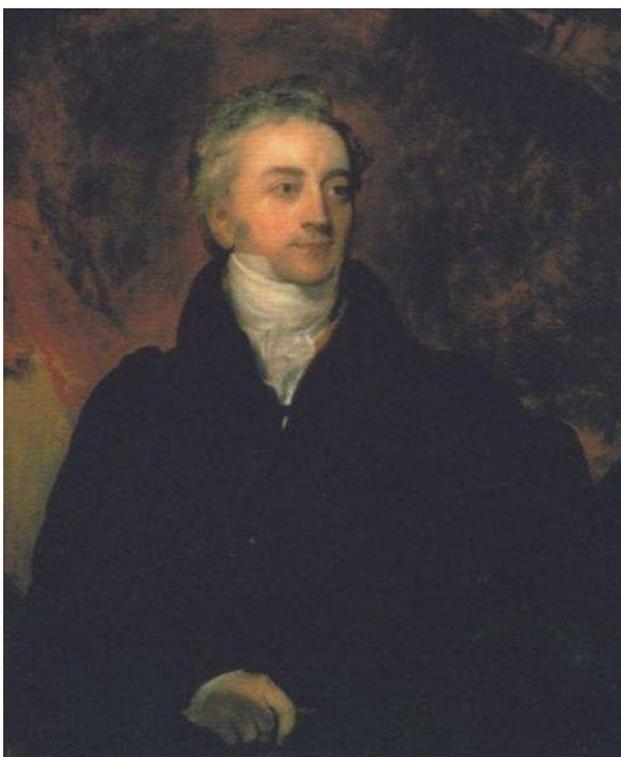
Изучение различных явлений природы в их взаимосвязи привело к постепенному вытеснению теорий физических явлений, основанных на представлениях о невесомых. Вначале была исключена световая материя, а затем - магнитная жидкость. Ход развития науки в первой половине XIX века завершается установлением закона сохранения и превращения энергии.

§ 13. Волновая оптика

Во времена Ньютона волновая теория света практически на равных сосуществовала с корпускулярной теорией. Весь XVIII век

господствующей была корпускулярная теория света. В самом конце, в 1799 году с критикой корпускулярной теории света выступил Томас Юнг (1773-1829), врач по специальности. Он занимался также исследованиями в области математики, механики, ботаники и других областях, обладал обширными знаниями в области литературы, был прекрасным музыкантом. Обще признаны заслуги

Юнга в изучении и расшифровке египетских иероглифов.



Томас Юнг (1773-1829)

Уже в статье, опубликованной в 1801 году, он выдвигает принцип интерференции света: "Представьте себе, что некоторое количество одинаковых световых волн движется по поверхности гладкого озера с некоторой постоянной скоростью и попадает в узкий канал, выходящий из озера. Представьте себе также, что под действием другой причины образовался такой же

ряд волн, который, как и первый, доходит до этого канала с той же скоростью. Ни один из этих рядов волн не разрушит другого, а их действия соединятся. Если они вступают в канал так, что гребни одного ряда совпадают с гребнями другого, то образуется ряд волн с увеличенными гребнями. Но если гребни одного ряда будут соответствовать впадинам другого, то они в точности заполняют эти впадины и поверхность воды остается гладкой. Я полагаю, что подобные эффекты имеют место всякий раз, когда подобным образом

смешиваются две части света. Это явление я называю общим законом интерференции света" [104, с. 101-102; 51, с. 250; 105].

Этот принцип Юнг использует для объяснения цветных полос, наблюдаемых при интерференции света в тонких пластинках, а также для объяснения колец Ньютона. При этом он рассматривает интерференцию волн, отразившихся от различных поверхностей. Для объяснения темного пятна в центре колец Ньютона Юнгу пришлось ввести гипотезу о потере полуволны при отражении света от оптически более плотной среды.

Юнг предложил классический опыт по наблюдению интерференции света от двух отверстий. Он же наблюдал дифракционные кольца от малого отверстия и по расстоянию между ними определил длины волн красного, фиолетового и других цветов. Явление дифракции Юнг объясняет интерференцией двух волн - прошедшей прямо и отраженной от края отверстия.

В 1808 году французский инженер Э.Л.Малюс (1775-1812) открыл явление поляризации света при отражении. Это открытие было им сделано при решении задачи Французской академии "дать математическую теорию двойного преломления и подтвердить ее экспериментально". Малюс рассматривал через кристалл исландского шпата отражение заходящего солнца от стекол одного из окон Люксембургского дворца. При этом он заметил, что иногда видно два изображения солнца, а иногда - одно. Рассматривая в дальнейшем с помощью двояко-преломляющего кристалла свет различных источников, отраженный от поверхности воды или стекол, Малюс быстро осознал новизну сделанного им открытия. Ему достаточно просто удалось объяснить его, исходя из корпускулярной

теории, используя замечание Ньютона о том, что свет имеет две "стороны".

Дать объяснение поляризации света с точки зрения волновой теории оказалось сложно, так как на первом этапе предполагалось, что световые волны являются продольными.

Открытие Малюса породило целую серию исследований в области поляризации света. В результате в 1811 году Д.Ф.Араго (1786-1853) открыл явление хроматической поляризации, Д.Брюстер (1781-1868) установил существование двуосных кристаллов, а Ж.Б.Био (1775-1862) обнаружил явление круговой поляризации. Объяснить все эти

явления с точки зрения корпускулярной теории было все труднее.



AUGUSTIN JEAN FRESNEL
(Physicien).
Membre de l'Académie des Sciences.
Paris le 10 Mars 1827.

Огюстен Френель
(1788-1827)

Начиная с 1815 года начинают выходить работы по волновой оптике Огюста Френеля (1788-1827). Он родился в семье архитектора, окончил Политехническую школу в Париже, а с 1809 года работал в провинции в качестве инженера по прокладке и ремонту дорог. В свободное время Френель занимался научными исследованиями. Позже он знакомится с Араго, который вводит его в курс последних достижений в области

ОПТИКИ.

Первые исследования Френеля касаются интерференции и дифракции. Он усовершенствовал метод измерений. В качестве источника света использовалось изображение солнца или свечи, даваемое короткофокусной линзой. Френель сконструировал окулярный микрометр, дававший возможность измерять расстояния между интерференционными или дифракционными полосами с точностью до десятых долей миллиметра.

Для исключения возможности объяснения интерференции влиянием краев или отверстий Френель изучает интерференцию лучей света, отраженных от двух зеркал, расположенных под углом, близким к 180° , называемых теперь зеркалами Френеля. В результате Френель отказывается от точки зрения, что дифракционные полосы образуются в результате интерференции прямо проходящих волн от источника, и волн, отраженных от краев препятствий. Этой точки зрения, как отмечено выше, придерживался и Юнг.

В результате в основу теории дифракции Френель решил положить принцип Гюйгенса, дополнив его принципом интерференции: "...колебания световой волны в каждой из ее точек могут рассматриваться как сумма элементарных движений, которые были бы посланы в тот же момент всеми действующими изолированно частями этой волны, рассматриваемой в каком-либо из своих предыдущих положений" [109, с. 185].

В дальнейшем этот принцип получил название принципа Гюйгенса-Френеля.

Френель разработал два метода расчета дифракционной картины. Первый - метод зон Френеля. Он позволяет определить

положения дифракционных полос. Второй сводится к вычислению интегралов, получивших в дальнейшем название интегралов Френеля. Он позволяет рассчитать не только положения дифракционных полос, но и найти распределение интенсивности света. Сами же интегралы получаются как результат суммирования всех участков волнового фронта.

Принцип Френеля позволил объяснить, почему свет распространяется в определенном направлении и нет обратной волны. Хотя решение этой задачи в общем случае и достаточно сложно, отмечал Френель, но для решения конкретных задач реально надо учитывать лишь те лучи, которые либо совпадают, либо мало отличаются от направления нормали к поверхности волнового фронта.

В 1817 году Французская академия наук объявила конкурс, на который в 1818 году подал результаты своих научных исследований и Френель. Они очень хорошо соответствовали экспериментальным данным. Вместе с тем член комиссии Пуассон заметил, что из теории Френеля можно вывести следствие, что в некоторых случаях в центре тени от круглого экрана должно наблюдаться светлое пятно. По мнению Пуассона это противоречило здравому смыслу. Экспериментально наличие светлого пятна было Френелем подтверждено, и ему присудили премию.

Волновая теория света после этого вначале стали рассматривать как удобный математический аппарат. О существе природы света мнение не изменилось - большинство оставалось сторонниками корпускулярной теории. Этому способствовало то, что математический аппарат волновой теории все еще не мог объяснить

всех оптических явлений. В первую очередь это касалось явления поляризации и двойного лучепреломления.

Для объяснения этих явлений пришлось отказаться от продольности световых волн и считать их поперечными. Эта идея была высказана Юнгом и Френелем независимо. У Френеля были на то и прямые экспериментальные предпосылки. В 1816 году он совместно с Араго исследовал интерференцию поляризованного света. При этом было обнаружено, что лучи, поляризованные в одной плоскости, интерферируют между собой, а поляризованные во взаимно перпендикулярных плоскостях не дают интерференционной картины.

В результате Френелем было дано следующее объяснение поляризации. Свет, испускаемый светящимся телом (естественный свет) не является поляризованным. Каждая молекула излучает в определенный момент плоскополяризованный свет, но из-за хаотичности движения молекул результирующее излучение представляет волну, которая имеет постоянно изменяющееся направление колебаний. Поляризация заключается в разложении колебаний естественного света по двум взаимно перпендикулярным направлениям.

В результате Френель объясняет закон Малюса, интерференцию поляризованных лучей, круговую и эллиптическую поляризацию и другие явления. Он разработал теорию прохождения света через двоякопреломляющий кристалл.

Теория поляризации Френеля встретила достаточно сдержанное отношение. Это было связано с тем, что теория базировалась на признании поперечности световых волн. В то же время эфир, где

согласно волновой теории происходит распространение световых волн, рассматривали в то время как некую однородную тонкую жидкую среду. В жидких же средах известно было распространение лишь продольных волн. В результате возникла проблема построения теории эфира, которая могла бы объяснить существование поперечных волн в этой среде. Хотя последовательной теории светового эфира так и не было создано, эти исследования способствовали развитию механики сплошных сред.

Первую теорию светового эфира дал сам Френель. При этом он отчетливо осознавал, что предположение о поперечности световых волн противоречит обычным взглядам на свойства упругих сред: "Что касается гипотезы о природе световых колебаний, то ее, с первого взгляда, гораздо труднее принять, так как не легко понять, каким образом в жидкости могут бесконечно распространяться поперечные колебания. Тем не менее, эти факты, которые делают столь вероятной волновую систему и доставляют столько возражений против системы эмиссии, заставляют нас признать этот характер световых колебаний, то более надежно основываться здесь на опыте, нежели на слишком, к сожалению, несовершенных понятиях, которые нам до сих пор дали вычисления геометров относительно колебаний упругих жидкостей" [109, с. 397].

С точки зрения Френеля в эфире, состоящем из частиц, между которыми действуют силы притяжения и отталкивания, возможно существование не только продольных, но и поперечных волн. Отсутствие продольных волн он объяснял значительно большим сопротивлением эфира сжатию, нежели сдвигу.

Для объяснения явлений отражения и преломления света Френелю кроме гипотезы о несжимаемости эфира пришлось ввести

ряд предположений. Он положил, что плоскость колебаний перпендикулярна плоскости поляризации. Кроме того он считал, что в разных средах плотность эфира различна, а упругость остается без изменения. В завершение Френель использует закон сохранения энергии при рассмотрении прохождения светового потока через границу двух сред и вводит гипотезу о непрерывности тангенциальной составляющей светового потока. В результате он получает формулы, носящие название формул Френеля, которые сохранили свое значение и после возникновения электромагнитной теории света.

Френель обратил внимание на то, что сплошная среда в качестве модели эфира не способна объяснить дисперсию света (если, естественно, не рассматривать взаимодействие света с веществом). Но если принять гипотезу, что эфир состоит из частиц, расстояние между которыми сравнимо или больше длины световых волн, то скорость света будет зависеть от длины волны, и дисперсия света будет наблюдаться, то есть скорость света будет зависеть от его частоты.

В 1821 году Л.М.А.Навье (1785-1836) рассмотрел вопрос о распространении колебаний в среде, состоящей из частиц, между которыми действуют центральные силы. В результате он получил уравнение для распространения возмущений в такой среде. Упругие свойства среды при этом характеризовались одним коэффициентом. Результаты своих исследований Навье опубликовал в 1827 году.

Несколько позже задачу о распространении колебаний в сплошной среде решал Огюстен Коши (1789-1857). Его уравнение распространения возмущений в изотропной упругой сплошной среде содержало две постоянные - модуль сжатия и модуль кручения. В

итоге было показано, что в упругой среде могут распространяться и продольные и поперечные волны. Объяснить же тот факт, что продольных волн в эфире нет, можно было с помощью гипотезы Френеля о несжимаемости эфира. Правда при этом возникал вопрос: как может несжимаемая среда не оказывать сопротивления при движении макроскопических тел ?

Для ответа на этот вопрос Д.Г.Стоке (1819-1903) в 1845 году предложил модель эфира, согласно которой он подобен смоле, которая обладает свойствами твердого тела в случае быстро меняющихся деформаций и пластична, подобно жидкости, при медленно меняющихся деформациях.

Для исключения продольных волн в эфире Коши в 1839 году предложил модель "сжимающегося" или "лабильного" эфира. Для этого необходимо считать модуль сжатия отрицательным и равным такому значению, чтобы скорость продольных волн равнялась нулю. Формально случай несжимающегося эфира соответствует скорости распространения продольных волн равной бесконечности. В случае лабильного эфира эта среда будет неустойчивой. В дальнейшем теорию лабильного эфира развивали В.Томсон, Дж.В.Гиббс и др..

В том же 1839 году Д.Мак-Куллах (1809-1847) предложил модель эфира, которая обладала упругостью только в отношении вращения. Другим видам деформации эфир Мак-Куллаха сопротивления не оказывает. В рамках данной модели могут существовать лишь поперечные волны. Она приводит к граничным условиям, из которых получаются формулы Френеля, то есть описывает явления отражения и преломления света. В рамках этой теории можно описать и распространение света через анизотропные среды.

Позднее, после создания электромагнитной теории Максвелла, В.Томсон построил модель, состоящую из гироскопов, соединенных специальными шарнирами. Эта модель обладала свойствами эфира Мак-Куллаха и одновременно интерпретировалась в понятиях электромагнитной теории света.

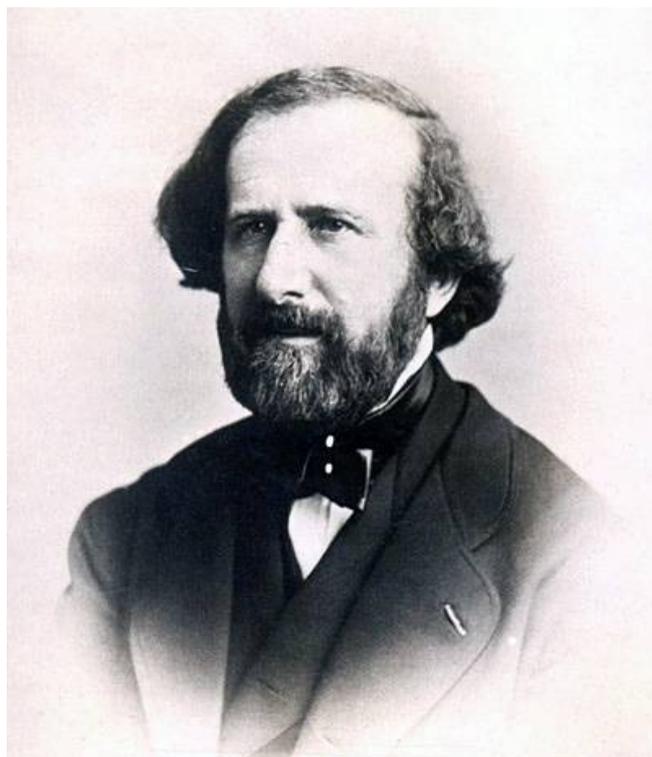
В 30-х годах XIX века Коши развил идею Френеля об эфире, допускающем дисперсию света, и получил формулу, выражающую зависимость квадрата скорости света от длины волны. Эта формула, содержащая лишь четные степени длины волны и коэффициенты, постоянные для данной среды, получила название формулы Коши.

Несколько позже, в 1868 году В.Ж.Буссинеск (1842-1929) отказался от гипотезы Френеля относительно упругости и плотности эфира в телах. Он стал считать, что эти величины имеют одно и то же значение и в вакууме и в телах. Особенности в прохождении света через вещество, в частности дисперсию, он объяснял взаимодействием света с молекулами тел.

В первой половине XIX века в результате исследований Й.Фраунгофера (1787-1826) были открыты темные линии в спектре Солнца, получившие название фраунгоферовых. Для определения длин волн, соответствующих этим полосам, он использовал дифракцию в параллельных лучах вначале от щели, а затем и от изобретенной им дифракционной решетки. Позднее, в середине XIX века, А.Й.Ангстрем (1814-1874) с помощью дифракционных решеток составил точный атлас темных фраунгоферовых линий в солнечном спектре. Дифракционная решетка как спектральный прибор прочно вошла в обиход. Одну из первых теорий решетки дал в 1835 году Ф.М.Шверд (1792-1871).

Каково бы не было отношение к волновой теории света, возникают все новые потребности описания явлений интерференции и дифракции, которое рационально могла дать в то время только теория Френеля. Появляются новые приборы для наблюдения интерференции. Сам Френель наряду с зеркалами Френеля предложил и способ бипризмы. В 1831 году Брюстер построил интерферометр, состоящий из двух пластинок, расположенных под малым углом друг к другу. Эта схема с небольшими изменениями в 50-х годах использовалась Ж.С.Жаменом (1818-1886) в его интерферометре. Для наблюдения интерференции Г.Ллойд (1800-1881) в 1837 году использовал так называемое зеркало Ллойда, позднее Ф.Билье (Бийе) (1808-1862) - метод двух полулинз (билинза Билье).

Еще Френель и Араго говорили о возможности практического применения интерферометров для измерения показателей преломления. В дальнейшем интерферометры стали применять для очень точного измерения размеров тел, для контроля за поверхностями, и т.п..



Ипполит Луи Физо (1819-1896)

Следует также отметить, что в первой половине XIX века

были сделаны первые открытия в области люминесценции и химического действия света, проведены первые исследования с инфракрасными и ультрафиолетовыми лучами.

В результате в течение первой половины XIX века происходит постепенный переход от господствующей корпускулярной теории света к волновой теории.

В 1849 году И.Л.Физо (1819-1896) предложил метод измерения скорости света с помощью вращающегося колеса. В 1850 году Ж.Б.Л.Фуко (1819-1868) с помощью вращающегося зеркала измерил скорость света в воде. Она оказалась меньше, чем в воздухе. На этом этапе данный факт поставил точку в споре о признании волновой теории света, так как ей он полностью соответствовал и одновременно противоречил одному из основных постулатов корпускулярной теории.

§ 14 Электромагнетизм

Открытие источников постоянного тока значительно ускорило развитие учения об электричестве и магнетизме. В 1800 году У.Никольсон (1753-1815) и А.Карлейль (1768-1740) разложили воду с помощью электрического тока на водород и кислород, а У.Крюикшенк (1745-1800) разложил электрическим током растворы некоторых солей. В результате разложения электрическим током едких щелочей Хемфрид Дэви (1778-1829) в 1807 году открыл новые элемента - калий и натрий, а в 1808 - кальций.

В 1805 году Теодор Гроттус (1785-1822) создает теорию электролиза воды, а в 1806 году теорию электролиза развивает и Дэви. Несколько позже Дэви предлагает теорию электрической природы химического сродства. В 1812 году И.Я.Берцеллиус (1779-1848) развивает эту теорию. Согласно основным положениям данной теории в каждом атоме имеются два противоположных электрических полюса, в результате чего атомы обладают способностью соединяться.

В 1803 году в, книге "Известие о гальвани-вольтовых опытах ..." были опубликованы результаты исследований Василия Владимировича Петрова (1761-1834), профессора Петербургской медико-хирургической академии [110]. Петров создал огромную для своего времени гальваническую батарею. Она позволила ему впервые наблюдать электрическую дугу. Позже электрическую дугу наблюдал и Дэви, опубликовавший свои результаты в 1812 году.

ИЗВѢСТІЕ

О

ГАЛЬВАНИ - ВОЛЬТОВСКИХЪ

О П Ы Т А Х Ъ ,

которыя производилъ

Профессоръ Физики Василій Петровъ,

посредствомъ огромной наипаче баш-перен, состоявшей иногда изъ 4200 мѣдныхъ и цинковыхъ кружковъ, и находящейся при Санкт - Петербургской Медико - Хирургической Академіи.

ВЪ САНКТ-ПЕТЕРБУРГѢ,

Въ Типографіи Государственной Медицинской Коллегіи, 1803 года.

Титульный лист книги
В.В.Петрова



**Ханс Кристиан Эрстед
(1777-1851)**

В 1820 году Ханс Кристиан Эрстед (1777-1851) открывает действие электрического тока на магнитную стрелку. В это время в теории электричества еще не сформировались те основные понятия, которыми в настоящее время описывается данное явление. Статью, в которой впервые сообщалось об открытии, Эрстед назвал "Опыты, относящиеся к действия электрического конфликта на магнитную стрелку" [111,с. 433].

Первоначально Эрстед обнаружил, что если около магнитной стрелки поместить прямолинейный проводник, направление которого совпадает с направлением магнитного меридиана, и пропустить через него электрический ток, то магнитная стрелка отклоняется. Кроме того, он заметил, что угол, на который отклоняется стрелка под действием тока, зависит от расстояния между ней и током, а также от силы тока.

Эрстед искал, как влияет электрический ток на магнитную стрелку, совершенно сознательно: "Так как я уже давно рассматривал силы, проявляющиеся в электрических явлениях всеобщими природными силами, то я должен был отсюда вывести и магнитные действия. Я высказал поэтому гипотезу, что электрические силы, когда они находятся в сильно связанном состоянии, должны оказывать на магнит некоторое действие.

Я не мог тогда проделать опыт для проверки, так как совершал путешествие и внимание мое было занято целиком разработкой химической системы" [51, с. 274].

С открытия Эрстеда, начинается бурное развитие электромагнетизма. В 1820 году Араго показал, что проводник с током действует на железные предметы, которые при этом намагничиваются, а Ж.Б.Био (1775-1862) и Ф.Савар (1791-1841) установили закон действия прямолинейного проводника с током на магнитную стрелку. Оказалось, что сила, действующая на магнитный полюс со стороны прямолинейного проводника с током, направлена перпендикулярно проводнику и прямой, соединяющей проводник с полюсом, а эта величина обратно пропорциональна этому расстоянию.



**Андре Мари Ампер
(1775-1836)**

В том же 1820 году Араго сделал доклад об открытии Эрстеда на заседании Парижской академии наук. Это открытие натолкнуло А.М.Ампера (1775-1836) на мысль, что магнитные явления могут быть сведены к электрическим, а представление о магнитной жидкости можно будет исключить. В результате проведенной серии экспериментов в конце 1820 - начале 1821 года по взаимодействию двух прямолинейных проводников с

током, взаимодействию замкнутых токов, соленоида и магнита

Амперу удалось объяснить свойства магнита наличием в нем токов, а взаимодействие магнитов - взаимодействием токов. На первом этапе исследований токи в магнитах он считал макроскопическими, а затем пришел к гипотезе молекулярных токов. Земной магнетизм Ампер также объяснял токами, которые протекают внутри Земли.

В дальнейшем Ампер приступает к задаче определения взаимодействия конечных проводников с током. Для этого по аналогии с теорией тяготения и электростатикой он его рассматривает как результат суммирования взаимодействия бесконечно малых элементов проводников. В результате задача свелась к определению силы взаимодействия между элементами проводников с током.

Поставленная задача оказалась сложнее электростатической. Одной из причин этого была практическая невозможность реализовать элемент проводника с током. В результате Ампер выдвигает гипотезу о характере взаимодействия. Предложенная им формула содержит ряд параметров, которые он находит из частных случаев взаимодействия конечных проводников. Найденная в результате Ампером формула совпадает с правильным значением с точностью до члена, дающего при интегрировании по замкнутому контуру нуль.

Основной труд Ампера в области электродинамики - "Теория электродинамических явлений, выведенная исключительно из опыта", вышедший в 1826 году, содержит уже такие понятия как "сила тока" и "напряжение", но их точного определения здесь не дано [111]. Амперу принадлежит идея прибора для измерения силы тока, получившего впоследствии название амперметра. Он же высказал идею электромагнитного телеграфа.



Георг Ом (1789-1854)

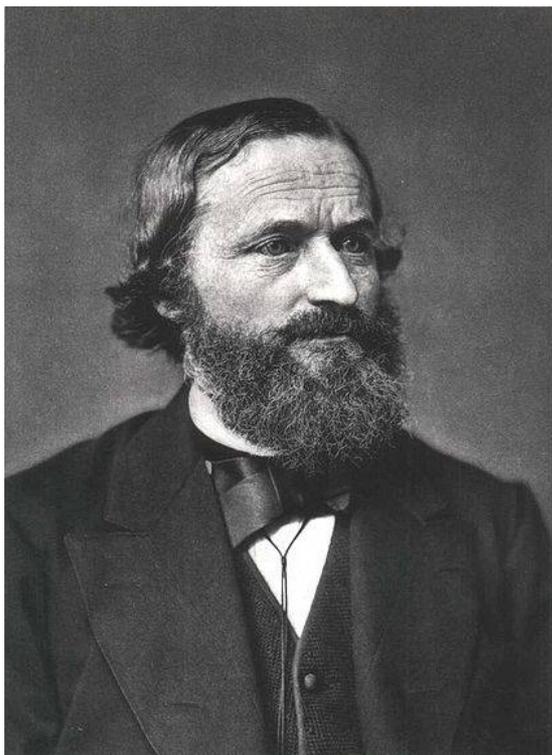
В середине 20-х годов свои исследования постоянного электрического тока начинает Георг Ом (1789-1854), приведшие его к установлению закона, называемого теперь законом Ома. Значительно раньше Петров, а затем и Дэви отмечали, что действие тока зависит от свойств проводников. Ом исследовал данный вопрос систематически.

Для этого он использовал гальванометр, представляющий собой крутильные весы, на нити которых была подвешена магнитная стрелка. Под стрелкой помещался проводник, включенный в цепь электрического тока. По повороту стрелки Ом измерял момент сил, возникающих при прохождении тока, который он считал пропорциональным силе тока.

Ом исследовал и распределение, как он называл, "электроскопической силы" вдоль проводника, применяя для этого электрометр. Он также пытался на основе полученных результатов и использования аналогии между потоком тепла и электрическим током построить теоретическую модель постоянного тока. Его результат оказался не точным.

Несколько позже Г.Ф.Кирхгоф (1824-1887) в работах 1845-1848 годов установил тождественность между введенным Омом понятием "электрической силы" и понятием потенциала в электростатике. Он

же получил правила для электрических цепей, называемые теперь



**Густав Роберт Кирхгоф
(1824-1887)**

правилами или законами Кирхгофа,

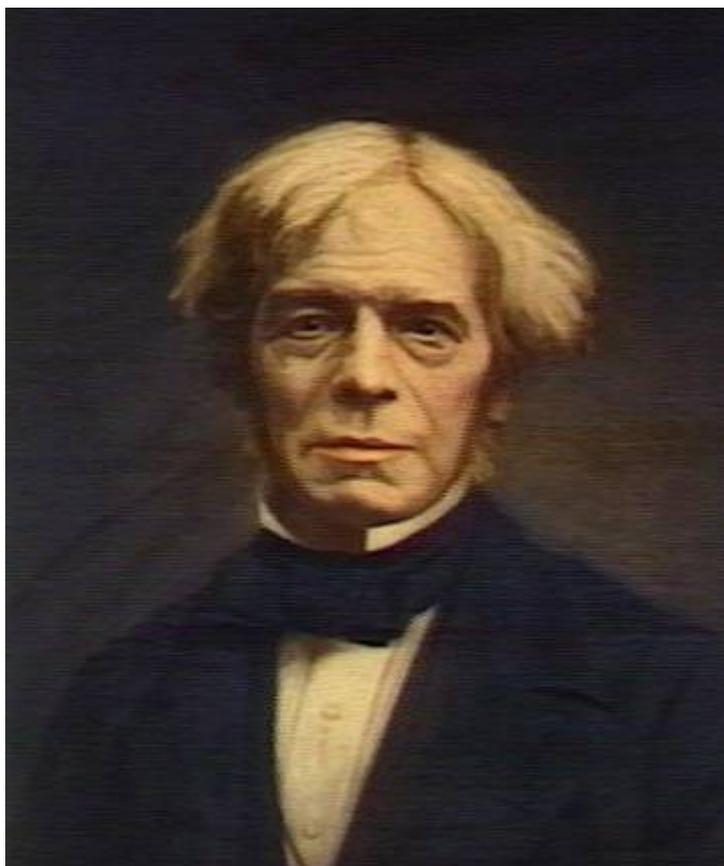
Одновременно шло и изучение теплового действия тока. В 1843 году Д.П.Джоуль (1818-1889) и в 1844 году независимо от него Э.Х.Ленц (1804-1865) экспериментально установили закон, определяющий количество теплоты, выделяемое в цепи электрическим током в зависимости от величины тока, сопротивления проводника и от времени.

В 1831 году было сделано важнейшее открытие в области электродинамики - М.Фарадей (1791-1867) установил закон электромагнитной индукции. В начале своей научной карьеры он работал в основном в области химии. Но узнав об открытии Эрстеда, он стал уделять главное внимание изучению электрических и магнитных явлений. В 1823 году он пишет в своем дневнике: "Обратить магнетизм в электричество" [112]. После восьми лет настойчивой работы явление было открыто.

Свой первый удачный эксперимент Фарадей описывает следующим образом: "Двести три фута медной проволоки в одном куске были намотаны на большой деревянный барабан; другие двести три фута такой же проволоки были положены в виде спирали между витками первой обмотки, причем металлический контакт был везде устранен посредством шнура. Одна из этих спиралей

была соединена с гальванометром, а другая - с хорошо заряженной батареей из ста пластин в четыре квадратных дюйма с двойными медными пластинами. При замыкании контакта наблюдалось внезапное, но очень слабое действие на гальванометр, и подобное же слабое действие имело место при размыкании контакта с батареей. Но в дальнейшем, при прохождении электрического тока по одной из спиралей, не удавалось обнаружить отклонение гальванометра или иного действия на вторую спираль, похожего на индукцию, хотя мощность батареи и была явно велика, о чем можно было судить по нагреванию всей присоединенной к ней спирали и по яркости разряда, если он пропускаться через древесный уголь" [113, т. 1, с. 13-14].

Проведенный эксперимент позволил Фарадею сделать вывод, что "ток от батареи при пропускании его через проводник действительно индуцирует подобный же ток в другом проводнике, но что этот ток длится всего один момент..." [113, т. 1, с. 14].



Майкл Фарадей (1791-1867)

Фарадей обнаружил и "образование электричества из магнетизма движением магнита внутрь проволочной катушки".

Эмиль Христианович Ленц (1804-1865) провел детальное изучение явления электромагнитной индукции. Используя баллистический гальванометр, он нашел зависимость индукционного тока и э.д.с. от параметров катушки. Он же установил правило, определяющее направление индукционного



**Эмилий Христианович Ленц
(1804-1865)**

тока и носящее теперь его имя - правило Ленца, Сам он это правило сформулировал так: "Если металлический проводник движется поблизости от гальванического тока или магнита, то в нем возбуждается гальванический ток такого направления, что [если бы данный] проводник был неподвижным, то ток мог бы обусловить его перемещение в противоположную сторону; при этом предполагается, что покоящийся проводник может перемещаться только в направлении движения или в противоположном направлении" [114, с. 148-149].

Открытый закон электромагнитной индукции не имел вначале строгой математической формулировки. Первую попытку получить закон Фарадея в математической форме предпринял Ф.Э.Нейман (1798-1895) в работах, относящихся к 1845-1847 годам. Для этого он ввел две гипотезы. Во-первых, э.д.с. индукции, возникшая в линейном проводнике при его движении относительно контура с постоянным током, пропорциональна скорости движения. Во-

вторых, э.д.с. пропорциональна проекции силы, действующей на линейный проводник, на направление движения. Первую гипотезу Нейман рассматривал как следствие результатов опытов Фарадея, а вторую - следствием правила Ленца.

В 1845 году Г.Т.Фехнер (1801-1887) предлагает новое объяснение закону электромагнитной индукции. С его точки зрения электрический ток есть одновременно движение по проводнику положительных и отрицательно заряженных частиц в противоположных направлениях с одинаковой по абсолютной величине скоростью. По мнению Фехнера это следует из закона Ампера, который позволяет также определить зависимость таких сил от скорости и направления движения.

В результате проведенного анализа Фехнер пришел к выводу, что два одноименных заряда, движущихся в одном направлении, либо два разноименных заряда, движущихся в противоположных направлениях, должны притягиваться. В остальных случаях действуют силы отталкивания. На основе введенных гипотез Фехнер качественно объяснил явление электромагнитной индукции.

В следующем 1846 году В.Э.Вебер (1804-1891) использует идею Фехнера для построения количественной теории электромагнитных явлений. Он исходит из представления, что электрический ток - это движение положительных и отрицательных зарядов, движущихся в противоположные стороны. Между зарядами действуют центральные силы притяжения и отталкивания, зависящие от относительной скорости и ускорения.

Вебер поставил перед собой задачу найти такое выражение для силы взаимодействия зарядов, которое при условии их

неподвижности давало бы закон Кулона, а, с другой стороны, позволяло вывести все известные на то время электродинамические законы. Эту задачу он решил. С помощью найденного им выражения для силы можно было вывести закон Ампера, а также получить те же результаты, что и у Неймана, то есть дать количественное описание явления электромагнитной индукции. В домаквелловской электродинамике результаты Вебера получили широкое распространение.

Практически сразу после открытия явления электромагнитной индукции у Фарадея сформировалось представление о единой природе электрических, магнитных и световых явлений. Об этом он написал в 1832 году в письме, которое в запечатанном виде отдал на хранение в архив Королевского общества. Письмо было озаглавлено: "Новые воззрения, подлежащие хранению в запечатанном конверте в архивах Королевского общества". Письмо было обнаружено лишь в 1938 году.

В 1834 году Фарадей предпринимает попытку обнаружить связь между электрическими и оптическими явлениями. Для этого он пропускает поляризованный свет через раствор электролита. Никакого эффекта он не обнаружил. В 1845 году при определении влияния магнитного поля на распространение света он открывает явление вращения плоскости поляризации в магнитном поле, получившее название эффекта Фарадея.

В это же время Фарадей открывает диамагнетизм. Им были экспериментально найдены вещества, которые считались нейтральными в отношении магнитных явлений, но которые по наблюдениям Фарадея в магнитном поле стремились двигаться в направлении, противоположном направлению магнитных силовых

линий. Магнитные же материалы двигались в направлении магнитных силовых линий, и их Фарадей назвал парамагнитными, а движущиеся против - диамагнитными.

После открытия явления вращения плоскости поляризации в магнитном поле и диамагнетизма у Фарадея сформировалось и представление о магнитных силовых линиях как о реально существующих физических объектах. С его точки зрения индукционный ток возникает тогда, когда проводник пересекает магнитные силовые линии, а величина индукционного тока определяется числом пересекаемых магнитных силовых линий за единицу времени.

В основу своей теории электричества и магнетизма Фарадей положил представление об электрических и магнитных силовых линиях. Несмотря на то, что он их мыслил как реальные объекты, их модельное представление Фарадей считал возможным трактовать достаточно широко: "Те, кто в какой-нибудь мере придерживаются гипотезы эфира, могут рассматривать эти линии как потоки, или как распространяющиеся колебания, или как стационарные волнообразные движения, или как состояния напряжения" [113, т. 3, с. 720].

В дальнейшем эти взгляды Фарадея были развиты Максвеллом.

§ 15 Открытие закона сохранения и превращения энергии

Открытие закона сохранения и превращения энергии во многом определилось исследованиями в области превращения теплоты в работу и обратно. Уже в XVIII веке граф Румфорд (он же Бенджамин Томпсон) (1753- 1814), наблюдая за сверлением пушечных стволов и отмечая большое количество выделяющегося при этом тепла, пришел к выводу, что теория теплорода не верна.

Дэви исследовал трение кусков льда и установил, что при этом можно получить значительное количество воды. На основании проведенных исследований он заключил, что теплота есть движение. Но эта точка зрения не поколебала господствующих взглядов, хотя против них выступал целый ряд и ряд других ученых, среди которых были Юнг, Френель, Ампер и ряд др..

Рассмотрение вопроса об исследованиях по превращению теплоты в работу начнем с возникновения самого понятия "работа". Оно появилось вначале в технике как характеристика эффективности водоподъемных машин, а затем проникает и в механику. В 1803 году Лазарь Карно (1753-1823), обобщая более ранние определения, дает выражение для работы, которую он называл моментом деятельности, как произведение силы на пройденный при ее действии путь и на косинус угла между направлением силы и направлением движения. Далее он показал, что эта величина связана с *живой силой*. Л.Карно доказал теорему, называемую в механике теоремой Карно, следствием которой был вывод, что для

исключения потерь *живой силы* передача движения в механизмах не должна производиться скачком.

Несколько позже у Ж.В.Понселе (1788-1867), а затем и у Г.Г.Кориолиса (1792-1843) часто используется сам термин "работа". В механике к понятию работы относились как к определению из области прикладной науки. В аналитической механике это понятие использовали редко.

Вместе с тем введение понятия работы конкретизировало идею о невозможности вечного двигателя, признаваемую большинством ученых, но возможность применимости этого понятия к немеханическим процессам оставалась неясной.

Впервые исследованием вопроса о превращении теплоты в работу занялся Сади Карно (1796-1832), сын Лазаря Карно. В 1824 году была опубликована его работа "Размышления о движущей силе огня и о машинах, способных развивать эту силу" [115, с.17-61; 116]. В ней он ставит вопрос: есть ли предел совершенствования тепловых машин? Затем дает на него ответ, определив коэффициент полезного действия тепловой машины (кпд), работающий по циклу, при котором ее КПД должен быть максимальным.



Сади Карно (1796-1832)



Титульный лист книги Карно

состоящий из двух изотерм и двух адиабат. Он реализуется в виде схемы, состоящей из двух тепловых машин, включенных между холодильником и нагревателем, при этом одна из машин совершает работу a_1 а над другой совершается работа a_2 . Из условия сохранения теплорода при данном процессе и невозможности вечного двигателя Карно получает, что $a_1 = a_2$, а затем и величину КПД в виде

$$\eta = tc$$

для случая, когда температура нагревателя равна $t^\circ\text{C}$ а холодильника - 0°C . Здесь c - постоянная, получившая впоследствии

Карно основывается на теории теплорода. При этом он считал, что количество теплорода должно сохраняться, а тепловая машина действует по аналогии с водяной мельницей. Кроме того, основываясь на теореме Лазаря Карно, Сади Карно считал, что для создания оптимальных условий производства полезной работы необходимо, чтобы тепло от нагревателя к холодильнику переходило при постоянной температуре.

Окончательно он получает обратимый цикл - цикл Карно,

название постоянной Карно. Таким образом, исходя из теории теплорода, Карно все же удалось получить верный результат.

Уже после смерти Карно стало известно из его неопубликованных до того записей, что он фактически пришел к верной формулировке закона сохранения и превращения *живых сил* (энергии), а также определил механический эквивалент теплоты, значение которого по его расчетам составляло $370 \text{ кГм} / \text{ккал}$.

В 30-х годах XIX столетия Б.П.Э.Клапейроном (1799-1864) вводится графический метод изображения круговых процессов. Он же впервые записал уравнение состояния Бойля-Мариотта в виде

$$pV = A(270 + t)$$

от которого было нетрудно перейти к уравнению идеального газа в общем виде.

Такая ситуация сложилась к началу 40-х годов, когда был установлен закон сохранения и превращения энергии. К его открытию независимо пришли Юлиус Роберт Майер (1814-1878), Джемс Прескотт Джоуль (1818-1889), Герман Людвиг Фердинанд Гельмгольц (1821-1894).

Майер родился в г. Хейльбронне (Германия) в семье аптекаря [117]. После окончания Тюбингенского университета работал в парижских клиниках, а в 1840-41 годах в качестве судового врача голландского судна направляется в Батавию (о.Ява). Практикуя в тропиках,



**Юлиус Роберт
фон Майер
(1818- 1878)**

Майер заметил, что венозная кровь у людей здесь ярче, чем в умеренном климате. Исходя из этого наблюдения он приходит к выводу, что существует взаимосвязь между потреблением пищи, образованием тепла в живом организме и внешними условиями.

Дальнейшее осмысление этой идеи привело его к написанию работы "О количественном и качественном определении сил", которую он послал 16 июля 1841 года в "Annalen der Physik" И.Х.Поггендорфу. Эта работа не была опубликована и вышла в свет гораздо позже. В этой работе был впервые сформулирован закон сохранения и превращения энергии в форме: наука "должна считать количество своих объектов неизменными и только качество их изменяющимися". Следует отметить, что в работе был ряд неточностей.

В 1842 году Майер опубликовал работу "Замечания о силах неживой природы" в журнале "Annalen der Chemie und Pharmacie" [118]. В ней он уточняет ряд формулировок и приводит дополнительные соображения в подтверждение открытого им закона. Дается и новая формулировка закона: причины суть (количественно) неразрушимые и (качественно) способные к превращениям объекты. Майер считает, что в природе существует два типа причин, между которыми нет перехода: причины - силы и причины - материи. Под силами он понимает неразрушимые, способные к превращениям объекты, то есть то, что мы теперь называем энергией.

В данной работе Майер выдвигает и возражения против теории теплорода. Во-первых, он полагает, что появление тепла при трении не может быть объяснено уменьшением объема трущихся тел. Во-вторых, плавление льда при трении и при сильном давлении тоже

противоречит теории теплорода. В-третьих, он предлагает свой собственный эксперимент по встряхиванию воды в закрытом стеклянном сосуде, при котором происходит нагревание воды. Последнее по его мнению также противоречит теории теплорода.

В заключение работы Майер решает вопрос о количественном соотношении теплоты и работы. Исходя из известного в то время значения отношения теплоемкости при постоянном давлении к теплоемкости при постоянном объеме для воздуха ($c_p / c_v = 1.421$), он получает механический эквивалент теплоты равным $365 \text{ кГм} / \text{ккал}$.

В 1845 году отдельным изданием выходит книга Майера "Органическое движение и его связь с обменом веществ". В ней он расширяет содержание предыдущей работы, более точно вычисляет механический эквивалент теплоты ($425 \text{ кГм} / \text{ккал}$). В качестве реализации физической силы приводится электричество и вводится понятие химической силы.

В дальнейшем закон сохранения и превращения энергии получает все большее признание. В результате усиливаются нападки на Майера уже не по поводу признания закона, а по поводу приоритета на его открытие. В 1847-1849 годах проходила его полемика с Джоулем. В 1849 году против Майера выступили газеты в Германии.

В результате в 1851 году Майеру пришлось выступить со статьей "Замечания о механическом эквиваленте теплоты", в которой он подробно остановился на анализе своего открытия его истории. Майер писал, что летом 1840 года при врачебной практике на острове Ява он заметил, что кровь из плечевой вены имеет ярко

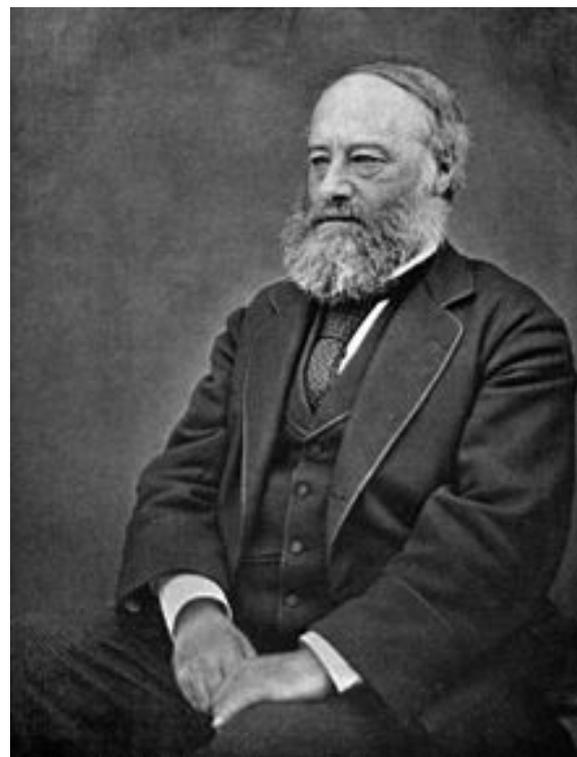
красную окраску. Осмысливая этот факт и исходя из теории Лавуазье, согласно которой животное тепло есть результат процесса горения, он приходит к выводу, что для поддержания равномерной температуры тела должен быть баланс между образованием тепла и его потерей. Далее Майер пишет, что хотя открытие закона им и есть дело случая, но он подтверждает свой приоритет и ссылается на первую опубликованную работу 1842 года.

Усиливающаяся травля привела к тому, что он предпринимает в 1850 году попытку самоубийства. В 1852 году Гельмгольц подтверждает приоритет Майера в открытии закона, но и после этого травля не прекратилась. В 1858 году распускаются слухи о смерти Майера. Позднее в 1862 году английский физик Тиндаль выступает в защиту Майера, а Тэт - против него. Между Тэтом и Тиндалем возникает полемика. Ситуацию обострило выступление Е.Дюринга в защиту Майера, который вместе с тем принижал заслуги Джоуля и Гельмгольца.

Фактически борьба вокруг Майера представляла собой борьбу вокруг понимания закона сохранения и превращения энергии. Если о наличии постоянных величин, характеризующих движение говорилось и значительно раньше (Декарт и др.), то превращение различных форм движения друг в друга было открыто лишь Майером. Большинство же ученых понимало закон сохранения энергии в духе Гельмгольца, то есть рассматривало его как следствие закона сохранения живых сил, используемого на микроуровне. Следует также отметить, что неудачи Майера были обусловлены не только несовпадением его идей с господствующей точкой зрения, но и тем, что его работы носили общий характер и были опубликованы в непрофильных журналах. Но, зачастую,

принципиально новые идеи с трудом пробивают себе дорогу в "профильных" журналах.

Независимо от Майера к установлению закона сохранения и превращения энергии пришел Джоуль, владелец пивоваренного завода близ Манчестера. Занявшийся впоследствии физическими исследованиями. В 1841 году, как отмечено выше, он установил закон, определяющий количество тепла, выделяющегося при прохождении в цепи электрического тока. В работах 1843-1850 годов Джоуль



**Джемс Прескотт Джоуль
(1818-1889)**

экспериментально определяет механический эквивалент теплоты вначале при вращении катушки в магнитном поле под действием падающих грузов (тепло при этом выделялось в воде), а затем при продавливании воды через узкие трубки [119]. В 1849 году он ставит свой классический опыт по определению механического эквивалента теплоты при вращении лопастей в калориметре под действием падающих грузов и получает значение 424 кГм / ккал .

В своих работах 1843-1847 годов Джоуль приводит и различные формулировки закона сохранения и превращения энергии. В 1850 году он был избран в члены Лондонского королевского общества.

Своим путем к открытию закона сохранения и превращения энергии шел и Гельмгольц, немецкий физик, математик, физиолог и

психолог. Он начал свои исследования с изучения превращения различных форм энергии в живом организме. Затем, исходя из факта невозможности вечного двигателя, ставит вопрос о том, какие соотношения при этом должны существовать между различными силами природы [120,121].



**Герман Людвиг
Фердинанд фон
Гельмгольц
(1821-1894)**

Далее Гельмгольц исходит из закона сохранения живых сил, который, как уже было известно в то время, справедлив для центральных сил в механике. Он высказывает мысль, что все явления природы в конечном счете сводятся к движению микроскопических тел, между которыми действуют центральные силы. В результате этого, утверждал Гельмгольц, закон сохранения живых сил проявляется во всех физических явлениях: механических, тепловых,

электродинамических и др..

В дальнейшем он занимался изучением переходом одной формы энергии в другую: механического движения в теплоту, электрической энергии в теплоту и т.п.. Исходя из закона сохранения энергии, он выводит закон электромагнитной индукции.

Первую работу Гельмгольца, как и первую работу Майора, в "Annalen der Physik" не опубликовали. Она была опубликована отдельной книгой в 1847 году.

Если вначале закон сохранения и превращения энергии был холодно встречен в научных кругах, то уже в конце 40-х - начале 50-х было оценено его значение, и он стал широко использоваться в научных исследованиях. Большую роль в его развитии сыграли В.Томсон (1824-1907), У.Дж.М.Ранкин (1820-1872) и Р.Ю.Клаузиус (1822-1888).

Ранкин вводит в широкое употребление термин "энергия", которую он разделяет на "актуальную" и "потенциальную"[122]. Несколько позже вместо термина "актуальная" В.Томсон вводит название "кинетическая" энергия. С открытием закона сохранения и превращения энергии были ликвидированы перегородки между различными областями физики. "Невесомые" материи, кроме эфира, перестали использоваться в физике.

Глава IV

ЗАВЕРШЕНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ КЛАССИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

§ 16. Общая характеристика периода

Во второй половине XIX века происходит окончательное формирование различных областей физической науки, в основном термодинамики и электродинамики.

Этот период характеризуется существенными изменениями в производстве и его техническом оснащении. Совершенствуются паровые машины, появляются двигатели внутреннего сгорания (в 1878 году четырехтактный двигатель Отто, а в 90-х годах - дизель). С 80-х годов XIX столетия в промышленность стали внедряться паровые турбины.

Широкое применение получает и электричество. Распространение получает телеграфная связь, в том числе между Европой и Америкой. С 70-х годов в практику входит телефон. Растет производство электрических приборов. Электричество начинает использоваться для освещения.

Павел Николаевич Яблочков (1847-1894) в 1876 году взял патент на дуговую лампу. Первую электрическую лампу накаливания изобрел Александр Николаевич Лодыгин (1847-1923). В дальнейшем широкое распространение получила электрическая лампа накаливания, изобретенная Томасом Альвой Эдисоном (1847-1931).

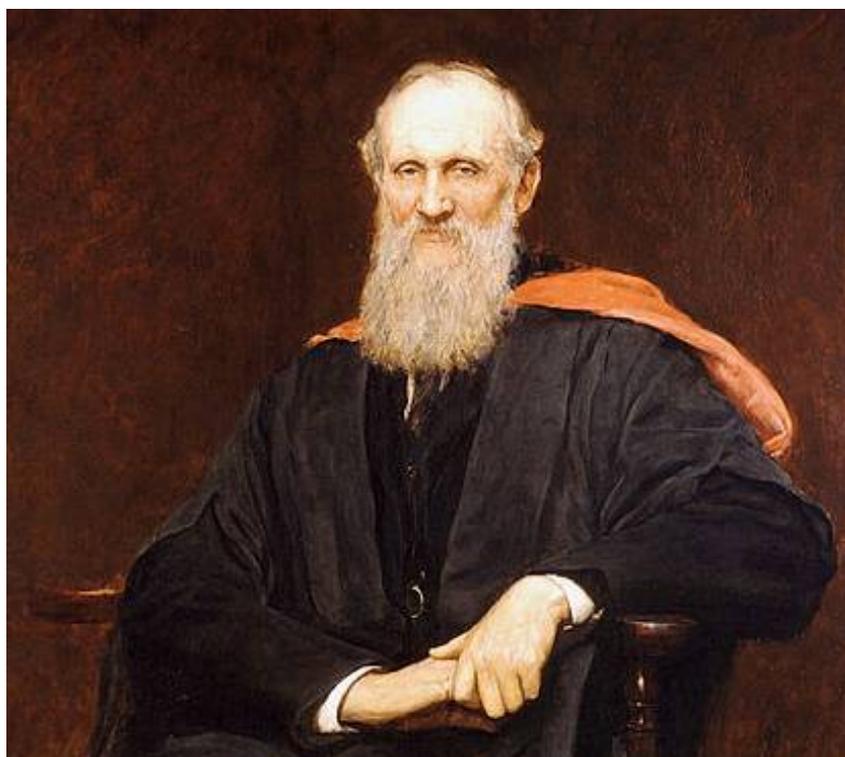
С появлением практически удобных генераторов на транспорте и в промышленности начинают широко применяться электродвигатели. В практику внедряется переменный электрический ток.

§ 17 Термодинамика

Начиная с 1849 года в работах Вильяма Томсона (лорда Кельвина) (1824-1907) и Рудольфа Клаузиуса (1822-1888) закладываются основы термодинамики и формулируются ее первое и второе начала. Но если первое начало термодинамики является прямым следствием установленного к этому времени закона сохранения и превращения энергии и не вызывало особых возражений, то второе начало осмысливалось с трудом.

Развитие термодинамических представлений привело Томсона к установлению еще в 1848 году абсолютной термодинамической шкалы температур [123, т. 1, с. 113]. Позже он пишет: "Температуры двух тел пропорциональны количествам теплот, соответственно взятой и отобранной

материальной системой в двух местах, имеющих эти самые температуры, когда система совершает полный цикл идеальных обратимых термодинамических процессов и защищена от потери или приобретения теплоты при какой-либо другой температуре"



**Вильям Томсон, лорд Кельвин
(1824-1907)**

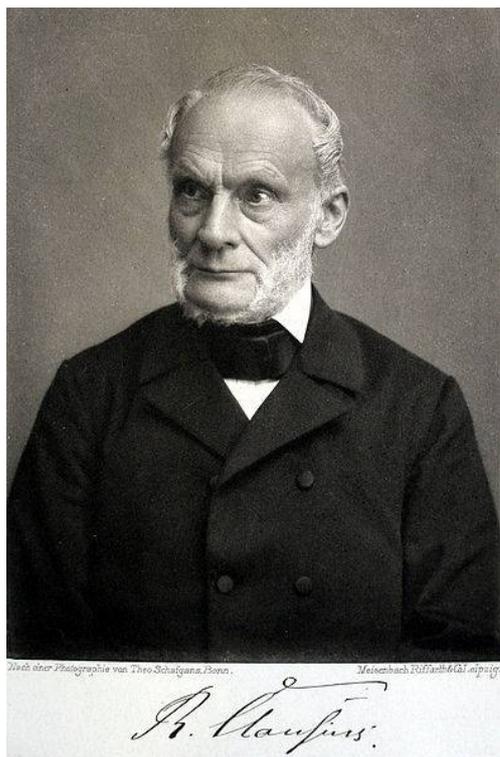
[51, ч. 1, с. 25; 123, т. 1, с. 235].

В 1851 году он же формулирует второе начало термодинамики в форме: "Невозможно при помощи неодушевленного материального деятеля получить от

какой-либо массы вещества механическую работу путем охлаждения ее ниже температуры самого холодного из окружающих предметов" [51, ч. 1, с. 25; 115, с. 165]. В 1850 году Клаузиус также формулирует второе начало термодинамики, окончательная форма которого, сформулированная позже, гласит: "Переход теплоты от более холодного тела к более теплему не может иметь места без компенсации" [115, с.134; 124].

Томсон, а затем и Клаузиус дают и математическое выражение второго начала термодинамики. В наиболее полной

форме оно приведено Клаузиусом в виде равенства нулю интеграла по замкнутому контуру от выражения, представляющего собой отношение количества теплоты, полученного при абсолютной температуре T , к этой температуре. Некоторые соображения по этому поводу приводились и Ранкиным, но они были непоследовательными.



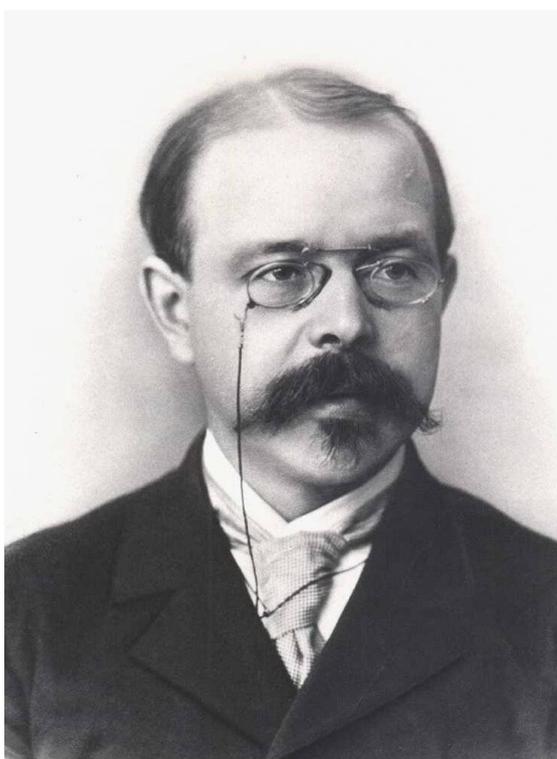
**Рудольф Юлиус
Эмануэль Клаузиус
(1822-1888)**

Томсон, а в более позднее время в 1862-1865 годах и Клаузиус, приходят к обобщению второго начала термодинамики и на случай необратимых процессов. Для общего случая они получают, что интеграл по замкнутому контуру от отношения количества теплоты, полученному при температуре T , к этой температуре не может превосходить нуля. В дифференциальном виде это сводится к соотношению, где

подынтегральное выражение не превосходит дифференциала энтропии. Энтропия - это функция, которая была введена Клаузиусом как мера способности теплоты к превращению [124].

В самом начале XX века, в 1906 году в результате исследований свойств веществ при низких температурах В.Г.Нернстом (1864-1941) было установлено третье начало термодинамики, споры об обоснованности которого продолжают до настоящего времени, хотя оно прочно вошло в науку. Согласно третьему началу

термодинамики по мере приближения температуры к $0K$ энтропия всякой равновесной системы при изотермических процессах перестает зависеть от каких-либо термодинамических параметров состояния и в пределе ($T \rightarrow 0K$) принимает одну и ту же для всех систем постоянную величину, которую можно принять равной нулю. Этот закон позволяет определить аддитивные термодинамические постоянные, которые нельзя найти из других законов термодинамики [125,126].



**Вальтер Герман Нернст
(1864-1941)**

Достаточно быстро была установлена эквивалентность формулировок второго начала термодинамики в форме Томсона и Клаузиуса. Исходя из него оба они делали далеко идущие философские выводы о *тепловой смерти Вселенной*, то есть о таком ее состоянии, когда энергия Вселенной не может превращаться из одной формы в другие. Этот вывод противоречил закону сохранения и превращения энергии. Поэтому ряд

ученых выступили против второго начала термодинамики.

В частности, искались противоречия в формулировках Клаузиуса и Томсона, для чего предлагались мысленные эксперименты Г.А.Гирна (1815-1890), П.Тэта (1831-1901), С.Т.Престона и др.. Но эти попытки не увенчались успехом. Противоречий во втором начале термодинамики не было найдено. Проблема *тепловой*

смерти Вселенной получила свое разрешение лишь в рамках возникшего позже статистического толкования второго начала термодинамики.

Другой подход по устранению необычных для физики XIX столетия выводов о направленности физических процессов в природе сводился к развитию аксиоматического направления в термодинамике. Наибольшие успехи в этом направлении были достигнуты Н.Н.Шиллером (1848-1910), К.Каратеодори (1873-1950), Т.А.Афанасьевой-Эренфест (1876-1964).

Наряду с заложением основ термодинамики развиваются и ее методы. Вначале - метод круговых процессов, а затем - метод термодинамических потенциалов, элементы которого встречаются у Массье и Гельмгольца, а в наиболее развитой форме данный метод разработан В.Д.Гиббсом (1839-1903).

§ 18 Кинетическая теория

Во второй половине XIX века начинает развиваться статистическая физика, сформировавшаяся вначале в форме кинетической теории газов. С середины XIX века изменяется отношение к атомистической теории строения вещества.

Начали появляться наряду с термодинамическими работами и работы по молекулярной теории газов: Джоуль - "Некоторые замечания о природе теплоты и строении упругих жидкостей" (1851), Крениг - "Очерки теории газов" (1856). Известна также

рукопись английского ученого Уотерстона (Ватерстона) "О физической среде, состоящей из свободных и вполне упругих молекул, находящихся в движении" (1845), в которой было показано, что давление газа на стенки сосуда можно объяснить ударами атомов. Статья эта была отклонена рецензентами Королевского общества. Она была обнаружена спустя почти 50 лет в архивах Релеем и опубликована им в 1892 году. Естественно, что эта статья не могла оказать какого-либо влияния на работы других авторов. Вместе с тем отклонение рукописи, несомненно, задержало развитие молекулярной теории газов.

Анализируя различные варианты теории строения газов, Джоуль в своей работе в конце концов объясняет давление, оказываемое газом на стенки сосуда, ударами молекул газа. Он также вычислил скорость движения молекул водорода. Она оказалась равной 1850 м/с.

В "Очерках теории газов" Крениг поставил перед собой задачу объяснить известные феноменологические газовые законы на основе молекулярно-кинетических представлений. Он использовал идею о хаотичности движения частиц газа, которая позволила ему использовать аппарат теории вероятностей. Крениг приходит к выводу, что можно принять допущение об одинаковой скорости движения атомов газа по трем взаимно перпендикулярным направлениям. В результате он получает выражение для давления, которое содержит объем газа, его массу и скорость атомов. Но постоянный коэффициент у него в два раза отличался от точного значения.

В работе "О роде движения, которое мы называем теплотой"[127,128] Клаузиус указал ряд авторов, которые до него пытались построить теорию невидимых, находящихся в движении частиц. Среди них Бернулли, Ле Саж, Джоуль, Крениг. Но как писал Максвелл в своей статье "О динамической теории газов", "именно профессору Клаузиусу из Цюриха мы обязаны наиболее полным развитием динамической теории газов". Максвелл называл Клаузиуса основоположником кинетической теории газов, а Гиббс писал, что Клаузиус является "отцом статистической механики".

В своей работе Клаузиус характеризует движение частиц в твердом теле, жидкости, газе. Относительно газа он писал: "Новая теория газов, получившая название кинетической, допускает, что молекулы газов не колеблются около положений равновесия, но движутся прямолинейно с постоянной скоростью - до тех пор, пока не ударятся о другие молекулы газа или же о непроницаемую стенку; после этого вследствие отражения они получают новое направление движения, причем, однако, живая сила их движений в среднем сохраняет ту же величину, какую она имела до столкновения. Этими именно ударами молекул газа о всякую стенку, оказывающую сопротивление их движению, объясняется давление газа".

При вычислении давления Клаузиус поясняет, что отдельные молекулы сталкиваются со стенкой не по законам упругого удара, но в условиях теплового равновесия "можно признать, что после отражения молекулы в среднем обладают той же самой живой силой, какую они имели в момент налета, и что среди отраженных молекул все направления движений по отношению к стенке представлены совершенно также, как были представлены

направления движений налетающих на стенку молекул" [127, с. 45]. Поэтому "при определении давления совершенно безразлично, если вместо среднего лишь равенства допустить существование равенства при каждом отдельном случае, т.е. если допустить, что молекулы отражаются согласно тем же законам, что и упругие шары от неподвижной стенки" [127, с. 45-46].

Далее Клаузиус подчеркивает, что хотя молекулы газа имеют разные скорости, при вычислении давления "мы можем всем молекулам приписать некоторую определенную среднюю скорость, которую следует взять таким образом, чтобы ее квадрат был средним арифметическим квадратов всех отдельных скоростей" [127, с. 59]. В результате было получено выражение для давления, которое в силу его важности называют основным уравнением элементарной кинетической теории газов.

Клаузиус вычислил среднюю скорость молекул кислорода при 0°C и получил значение 450 м/с.

После опубликования классической работы Клаузиуса, провозгласившей рождение статистической физики, ряд ученых выступил против этой теории. В качестве аргумента указывался, в частности, факт медленного распространения дыма и медленности процесса диффузии в газах по сравнению со скоростью молекул газа (Бейс-Баллот и др.). В 1858 году Клаузиус опубликовал новую работу "О средней длине пути молекул"[127, с. 76], в которой снял указанное возражение, отметив роль столкновения молекул в явлениях переноса - диффузии и теплопроводности. Здесь он вычислил среднюю длину пробега молекул.

Работы Клаузиуса вызвали интерес к кинетической теории у Д.К.Максвелла (1831-1879) и в 1859 году он выступил с докладом "Пояснения к динамической теории газов" [127, с. 185; 131; 132, т. 1, с. 377] на заседании Британской ассоциации наук. В этом докладе впервые сообщалось об установленном законе распределения молекул газа по скоростям. Оно было выведено на основе предположения о статистической независимости компонент скоростей молекул газа и получило название распределения Максвелла.

Доклад был опубликован в 1860 году [131]. Кроме распределения молекул по скоростям в нем были рассмотрены также явления диффузии и теплопроводности. При этом в теории теплопроводности содержались ошибки, которые были отмечены Клаузиусом в 1862 [129] году и признаны Максвеллом в 1867 [133]. В 1866 году Максвелл дает более строгий вывод распределения молекул газа по скоростям, исходя из представления о стационарном процессе и из закона сохранения живых сил [132, т. 2, с. 26].



**Джемс Клерк Максвелл
(1831-1879)**

Работы Клаузиуса и Максвелла составляют первый период в развитии молекулярно-кинетической теории вещества. Второй ее этап связан с работами Больцмана [134-138], подытоженными в его "Лекциях по теории газов" 1896 и 1898 годов, и работами Гиббса, изложенными в законченном виде в его монографии "Основные принципы статистической механики", вышедшей в 1902 году [139, с. 350, 140].

В 1866 году Больцман установил распределение, имеющее в настоящее время название распределение Максвелла-Больцмана. Он также нашел основное уравнение кинетической теории газов - кинетическое уравнение Больцмана (1872). Для этого уравнения Больцман получил ряд частных решений, а также с помощью H-теоремы доказал, что в стационарном случае единственным решением кинетического уравнения является распределение Максвелла.



Людвиг Больцман (1844-1906)

Наряду с этим Больцман установил статистическую природу второго начала термодинамики и на этой основе в противовес существовавшей концепции тепловой смерти Вселенной выдвинул флуктуационную гипотезу. Больцману удалось связать энтропию с

числом микроскопических состояний, соответствующих макросостоянию системы.

Во второй половине XIX века вокруг статистического понимания второго начала термодинамики возникла дискуссия, переросшая в острую борьбу. Теория Больцмана получила всеобщее признание лишь в начале XX века, когда А.Эйнштейну и М.Смолуховскому теоретически удалось описать броуновское движение.

Кинетическое уравнение Больцмана определяет поведение газа с короткодействующими силами взаимодействия между частицами. Это уравнение оказалось неприменимым для изучения плазмы, силы взаимодействия между заряженными частицами которой являются далекодействующими, медленно спадающими с расстоянием. В 1838 году профессор Московского университета А.А.Власов предложил новое кинетическое уравнение, впоследствии получившее название кинетического уравнения Власова.

На начальном этапе статистическая физика развивалась как теория, применимая для газовых систем. Обобщение на более сложные системы вначале было осуществлено Больцманом и

ELEMENTARY PRINCIPLES
IN
STATISTICAL MECHANICS

DEVELOPED WITH ESPECIAL REFERENCE TO
THE RATIONAL FOUNDATION OF
THERMODYNAMICS

BY
J. WILLARD GIBBS
Professor of Mathematical Physics in Yale University

NEW YORK: CHARLES SCRIBNER'S SONS
LONDON: EDWARD ARNOLD
1902

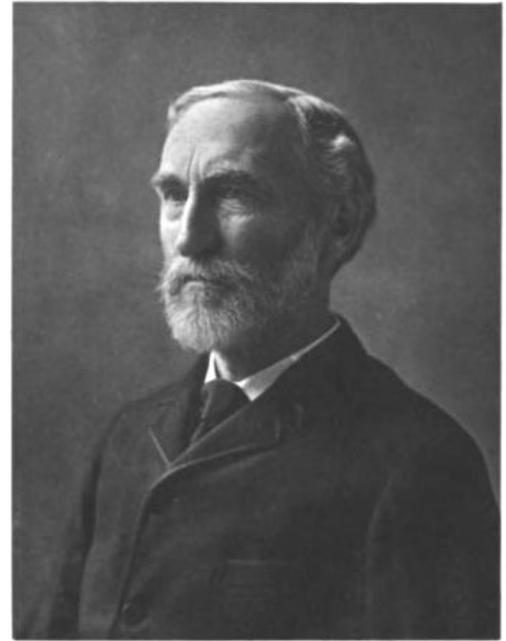
Титульный лист первого издания книги Д.У.Гиббса "Основные принципы статистической механики"

Максвеллом. Больцман ввел эргодическую гипотезу. В результате возникла возможность заменить усреднение по времени усреднением по ансамблю.

В наиболее полном виде статистическая механика была сформирована Дж.В.Гиббсом.

Введенный им метод канонических ансамблей Гиббса представляет собой мощный метод исследования различных систем многих частиц. Гиббс формулирует основную задачу статистической механики как задачу о поведении ансамбля, состоящего из механических систем. Он вводит

также представление о фазовом пространстве и выводит уравнение для плотности ансамбля, известное теперь как уравнение Лиувилля.



J. Willard Gibbs

**Джозайя Уиллард Гиббс
(1839-1903)**

Гиббс получает и анализирует каноническое, микроканоническое и большое каноническое распределения, развивает теорию флуктуаций, а также рассматривает ряд вопросов, в частности, касающихся обоснования статистической механики. Последние являются предметом дискуссии вплоть до настоящего времени.

Что касается теории неравновесных процессов, то Гиббс лишь наметил основные черты ее развития. Значительный прогресс в этом направлении был сделан в работах Н.Н.Боголюбова.

§ 19 Электродинамика

Важнейшим результатом физики второй половины XIX века является создание электродинамики. Определяющую роль здесь сыграли работы Д.К.Максвелла (1831-1879).

Джеймс
Клерк Максвелл
родился 13 июня
1831 года в
Эдинбурге. В
1847 году он
поступил в
Эдинбургский
университет, где



**Эдинбургский университет в первой
половине XIX века**

обучался до 1850
года и увлекся

физикой. Затем продолжил обучение в Кембриджском университете, который окончил в 1854 году и начал свои исследования по электричеству. В 1855-56 годах он работает над работой "О фарадеевых силовых линиях", первую часть которого докладывает Кембриджскому философскому обществу в 1855 году, а в 1857 году посылает работу Фарадею. Она оказала на Фарадея благоприятное впечатление. Работа была опубликована лишь в 1864 году [141].

Следующие две работы Максвелла по электричеству, в которых он развивает электромагнитную теорию, были - "О физических

линиях силы" (1861-1862) (первая из данных статей, которая была опубликована [130, т.1, с. 451]) и "Динамическая теория поля" (1864-1865).

В 1865 году с Максвеллом происходит несчастный случай во время верховой езды, и он уезжает в свое имение Глеплер, где продолжает свои исследования по статистической физике, начатые в 1859 году.

В 1871 году в Кембридже учреждают кафедру экспериментальной физики на средства потомка Генри Кавендиша - герцога Кавендиша. Максвелл стал первым профессором этой кафедры. Кроме того, началась постройка знаменитой Кавендишеской лаборатории, в создание которой много сил вложил Максвелл.

В 1873 году вышел главный труд жизни Максвелла - "Трактат об электричестве и магнетизме" [142,143]. Максвелл скончался 5 ноября 1879 года в своем родовом имении.

Электродинамика Максвелла вошла в золотой фонд науки наряду с ньютоновской механикой.

Свои исследования по теории электричества Максвелл начал с изучения работ Фарадея и В.Томсона и стремился переложить их на математический язык. В своей первой работе "О фарадеевых силовых линиях" он использует метод моделей и аналогий. Максвелл строит модель постоянного электрического поля по аналогии с потоками несжимаемой жидкости, для описания которых существовал математический аппарат. Известные экспериментальные законы электромагнетизма интерпретируются им с позиций близкодействия.

Для построения модели фарадеевых силовых линий Максвелл использует трубки тока в воображаемой жидкости. Но для самого явления электромагнитной индукции Максвелл здесь еще не придумал наглядную модель. Поэтому он описывает это явление без использования моделей, вводя понятия напряженности и индукции магнитного и электрического полей, потока напряженности и потока индукции этих полей, вектор-потенциал и плотность электрического тока. Новых фундаментальных результатов в этой работе получено не было.

В следующей работе, "О физических силовых линиях", Максвеллу удастся построить модель электромагнитного поля. Для этого он использует анизотропную среду: пространство заполнено жидкостью, в которой образуются вихревые трубки, расположенные различным образом в пространстве. В результате давление в данной среде зависит не только от положения в пространстве, но и от направления. Для малого же объема, выбираемого в каком-либо месте жидкости, направления вихрей параллельны.

Согласно введенным Максвеллом представлениям, вихри в жидкости соответствуют магнитному полю, а малые шарики между вихрями - электрически заряженным частицам. Движение вихрей и малых шариков взаимосвязано так, что между ними нет ни скольжения, ни трения. В проводнике движутся малые частицы, и возникает электрический ток. В диэлектрике или в пустом пространстве они смещаются из положения равновесия и возникает ток смещения. Данная система оказалась способной описать распространение электромагнитных волн.

Максвелл проводит математический анализ данной модели и получает ряд новых результатов. Он устанавливает связь между изменением магнитного поля, которое он описывает здесь вектор-потенциалом, и возникающим электрическим полем. В этой работе впервые вводится представление о токах смещения. В результате было получено второе основное уравнение электродинамики.

В работе Максвелл делает вывод, что в предложенной им среде могут распространяться поперечные колебания и скорость их распространения равна скорости света. Кроме того, анализируя выражение для скорости поперечных колебаний в сплошной среде, он получает, что скорость света должна быть равна отношению количества электричества, выраженному в единицах СГСЕ, к тому же количеству, выраженному в единицах СГСМ. Это отношение экспериментально к тому времени (1857 г.) было измерено Вебером и Кольраушем и получено значение, равное скорости света. Отсюда Максвелл приходит к выводу, что скорее всего свет состоит из поперечных колебаний среды той же природы, которая является причиной электрических и магнитных явлений.

В работе "Динамическая теория электромагнитного поля" Максвелл впервые дает определение понятия электромагнитного поля: "Электромагнитное поле - это та часть пространства, которая содержит в себе и окружает тела, находящиеся в электрическом или магнитном состоянии" [141, с. 253]. Здесь он не строит моделей среды, а считает, что ею является эфир, пронизывающий все тела. Кроме того, здесь отдельно вводится гипотеза о наличии токов смещения. В результате Максвелл получает полную систему уравнений для электромагнитного поля, которая лишь по форме отличалась от современной.

В последней части этой работы Максвелл говорит о том, что свет есть распространение электромагнитных волн. Он получает волновое уравнение для вектора магнитной индукции. Максвелл находит выражение для скорости света в среде в зависимости от диэлектрической и магнитной проницаемостей.

Исследования Максвелла по электромагнетизму завершил его фундаментальный труд "Трактат об электричестве и магнетизме". Здесь он начинает с описания истории решения проблемы и подчеркивает, что сам он при ее решении исходил из метода Фарадея, то есть близкодействия, в противовес "немецкому методу", который ассоциировался с дальнодействием.

Первый том трактата посвящен электростатике и постоянному электрическому току. Во втором томе изложена теория магнетизма, электромагнетизма и электромагнитного поля. При этом Максвелл подчеркивает те две основные гипотезы, которые послужили основой для получения уравнений электромагнитного поля: гипотеза о токе смещения и гипотеза об электротоническом состоянии (изменяющееся магнитное поле вызывает вихревое электрическое поле).

Здесь Максвелл рассматривает электромагнитное поле как динамическую, то есть механическую систему, для описания которой можно использовать механику Лагранжа, беря в качестве обобщенных координат и импульсов соответствующие величины электромагнитного поля. Он получает в основном те же уравнения, что и раньше, при этом использует уже и векторные обозначения. Максвелл нашел волновое уравнение для вектора потенциала

магнитного поля, а также связь скорости света с характеристиками среды ε и μ .

Сам Максвелл на основе имеющихся у него данных для показателя преломления света и для ε на примере парафина определяет скорость света в среде двумя способами и получает примерное равенство обеих скоростей. Кроме того он указывает на возможность экспериментальной проверки существования давления света.

§ 20 Электромагнитные волны

Наряду с теорией Максвелла в электродинамике второй половины XIX века существовал ряд альтернативных направлений, основанных как на гипотезе дальнего действия (теория Вебера и др.), так и ближнего действия (Риман), а также гибридные теории. В качестве примера теорий последнего типа можно привести теорию Гельмгольца. Гельмгольц предполагал, что электрические и магнитные силы являются дальнедействующими, но при этом следует учитывать влияние среды, которая поляризуется под действием этих сил.

Уже проведенный Гельмгольцем теоретический анализ показал недостатки теории Вебера. Вместе с тем для квазистационарных токов теории Максвелла, Вебера и Гельмгольца давали одинаковые результаты. Для выбора правильной теории необходимы были быстроперемennые токи. Эта задача была решена Генрихом Герцем (1857-1894), решавшим конкурсную задачу Берлинской академии

наук: "Установить экспериментально наличие связи между электрическими силами и диэлектрической поляризацией", поставленную по инициативе Гельмгольца. Последний и предложил ее решение Герцу.



Генрих Рудольф Герц
(1857-1894)

Уже в 1887 году Герц построил источник быстропеременных токов ("вибратор Герца") и резонатор для обнаружения колебаний. В том же году в результате проведенных исследований Герц получает результаты, которые можно было объяснить, лишь предположив, что токи смещения, индуцированные в диэлектрике, оказывают такое же электромагнитное

действие, как и токи проводимости. Этот результат опровергал теорию Вебера, но согласовался с теорией Максвелла и Гельмгольца. В 1888 году Герц получил стоячие электромагнитные волны, изучил распространение волн, их отражение и преломление, а также поляризацию. Единственной теорией, соответствующей этим экспериментам, была теория Максвелла [144,145].

Дальнейшие исследования П.Н.Лебедева (1866-1912) с электромагнитными волнами, проведенные в физической лаборатории Московского университета, с частотами, близкими к инфракрасной области, также показали справедливость теории

Максвелла. В 1900 году П.Н.Лебедев сообщает о своих опытах по определению давления света на твердые тела, а в 1901 году публикует свои результаты. Позже он определяет давление света на газы [146].

Триумфом теории Максвелла стало практическое применение электромагнитных волн. В 1896 году Александр Степанович Попов (1859-1905) демонстрирует передачу и прием радиосигналов. Доклад о созданных им приборах А.С.Попов сделал еще в 1895 году. В дальнейшем радио стало быстро развиваться. Итальянец Маркони в 1896 году взял патент на изобретение, аналогичное изобретению А.С.Попова.



**Петр Николаевич Лебедев
(1866-1912)**

Совершенствовался и математический аппарат теории Максвелла. Герц и Хевисайд придали уравнениям современную форму. Герцем также был проведен более подробный по сравнению с Максвеллом анализ получения уравнений.

Пойнтинг (1884) и Хевисайд (1885) ввели выражение для плотности потока энергии электромагнитного поля. Фактически это явилось использованием для частного случая общих идей, высказанных Н.А.Умовым о движении энергии. Несколько позже Дж.Дж.Томсон ввел представление об импульсе электромагнитного поля.

Проведенный Пуанкаре анализ привел его в 1900 году к утверждению, что для сохранения третьего закона Ньютона в электродинамике необходимо ввести представление о количестве движения эфира (электромагнитного поля). При этом импульс должен быть пропорционален вектору потока энергии электромагнитного поля. В 1902 году этот же вопрос более подробно был проанализирован М.Абрагамом. Экспериментальным подтверждением наличия импульса у электромагнитного поля стали опыты П.Н.Лебедева.

В 1898 году А.И.Садовский на основе теоретических исследований приходит к выводу о существовании вращательного момента у эллиптически поляризованного света. Лишь в 1935 году Бет экспериментально подтвердил эффект Садовского.

§ 21 Электронная теория

Другим направлением развития теории Максвелла стала электронная теория. Идея о том, что с частицей вещества связан электрический заряд, высказывалась И.Берцелиусом, Фарадеем, Максвеллом, Гельмгольцем. В 70-х годах XIX века Стоней на основе анализа законов электролиза и молекулярной теории приходит к выводу, что атом водорода несет заряд 10^{-20} единиц СГСМ. Он ввел представление об элементарном электрическом заряде и в 1891 году предложил назвать его электроном.

Известные в то время электрические явления в газах также приводили к выводу о корпускулярном строении электричества. Особенно интенсивно исследования в данном направлении стали развиваться после изготовления в начале 50-х годов Гейслером газоразрядной трубки.

В 1858-1859 годах Глюкнер открыл существование катодных лучей. О их природе существовали различные точки зрения. В 1882 году Гизе ввел гипотезу, что за проводимость в газах отвечают заряженные частицы - ионы. В дальнейшем Шустер исследовал движение заряженных частиц в магнитном поле и нашел отношение заряда частицы к его массе для ионов и для катодных лучей. Для катодных лучей это отношение оказалось значительно меньше. Никаких существенных выводов из этого наблюдения Шустер не сделал.

Дж.Дж.Томсон в 1897 году исследовал отклонение катодных лучей в магнитном и электрическом полях [147]. Он показал, что они представляют собой поток отрицательно заряженных частиц. Томсон измерил их удельный заряд. На этой основе он установил, что масса частиц примерно в 1837 раз меньше массы атома водорода. Так был экспериментально открыт электрон. Обнаруженная вскоре зависимость удельного заряда электрона от скорости



**Джозеф Джон Томсон
(1856-1940)**

привела к возникновению принципиальных проблем в классической физике.

Во второй половине XIX века Фехнер высказал гипотезу о том, что ток проводимости есть движение дискретных зарядов. В дальнейшем эту идею использовал Вебер.



**Гендрик Антон Лоренц
(1853-1928)**

Электронная теория была развита Гендриком Антоном Лоренцем (1853-1928) [148,149]. Он исходил из того, что в теории Максвелла структура вещества учитывается лишь макроскопически через диэлектрическую и магнитную проницаемости. Он же записал уравнение для движения заряженных частиц, которые назвал ионами, в среде (эфире). В

этом смысле уравнения Лоренца описывают поля микрочастиц.

Для получения макрополей необходимо провести усреднение. В зависимости от того, покоится тело или движется, получаются либо уравнения Максвелла или уравнения Лоренца для движущихся тел. Следует отметить, что Лоренц развивал свою теорию для обобщения электродинамики Максвелла на движущиеся тела.

Теория Лоренца заложила основы электронной теории твердого тела. На первом этапе ее начал строить Друде [150,151], который считал, что электроны в металле ведут себя подобно идеальному

газу. В дальнейшем Лоренц в 1904 - 1907 годах завершил построение классической электронной теории твердого тела.

Классическая электронная теория позволила объяснить эффект Зеемана, открытый в 1896 году, магнитные свойства тел (диа-, пара- и ферромагнетизм). В этом направлении работали Ленгмюр, Ланжевен, Вейс и ряд других ученых. С позиций электронной теории стали объяснять и дисперсию света.

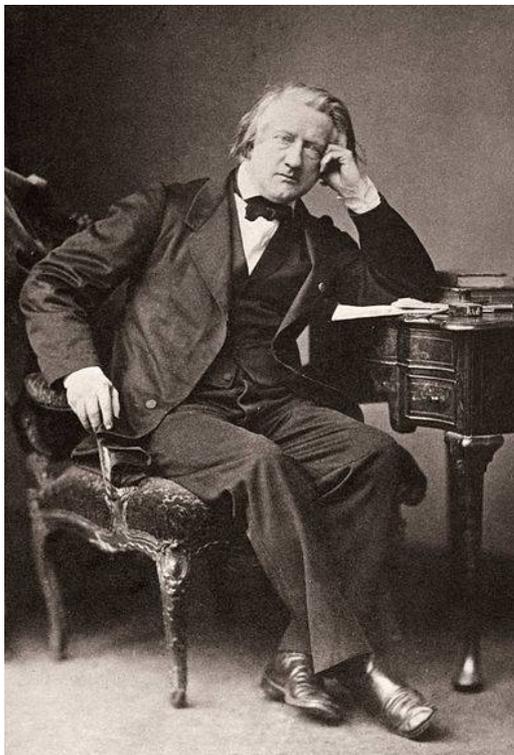
§ 22. Новые формы организации научных исследований

К периоду завершения формирования физики как отдельной науки в этой области знания происходят и существенные организационные изменения.

Как известно, физика - наука экспериментальная. На первом этапе своего развития ученые ставили свои эксперименты в области физики, как правило, индивидуально. Приборы закупались зачастую на собственные средства либо изготавливались самостоятельно, в качестве помещений для экспериментов служили частные комнаты.

При этом в учебных заведениях, в том числе и в университетах научным исследованиям уделялось мало места. Задача преподавателя состояла в чтении лекций, а занятие наукой было делом второстепенным и необязательным.

Начиная с середины XIX века развитие промышленности приводит и к стимулированию развития науки, в первую очередь - экспериментальных исследований. Усиливается связь науки и техники.



**Анри Виктор Реньо
(1810-1878)**

Научные исследования стимулируют и грандиозные технические проекты. Так в прокладке трансатлантического кабеля между Европой и Америкой, завершившегося в 1866 году принимал участие В.Томсон. Лаборатория А.В.Реньо (1810-1878) была организована на Севрском фарфоровом заводе. Совершенствование воздушных насосов позволило получить высокий вакуум, что, по выражению Дж.Дж.Томсона, дало возможность

"изучить свойства отдельных молекул", а при более высоких давлениях "можем только изучать их поведение в плотной толпе".

Физический эксперимент и теория становятся более сложными, требующими участия большего числа ученых. Начинают создаваться физические лаборатории, где научными исследованиями занималось много ученых. Здесь проводятся эксперименты, требующие для их проведения целого ряда участников.

В Германии физическая лаборатория в Геттингенском университете была создана В.Вебером, приглашенным сюда в 1831

году Гауссом. После возвращения В.Вебера в университет в 1849 году (ушел в 1837) происходит деление физического отдела на кафедры экспериментальной (заведовал В.Вебер) и теоретической физики.



Вильгельм Эдуард Вебер (1804-1891) (для студентов третьего и четвертого курсов).

Следует отметить, что примерно в то же время М.Ф. Спасским в Московском университете была установлена следующая последовательность в преподавании физики: опытная физика (для студентов первого курса), математическая физика (для студентов третьего и четвертого курсов).

Студентам второго курса читалась физическая география. В свою очередь опытная физика разделялась на общую и частную [152].

Согласно М.В. Спасскому деление физики на общую и частную вытекает из причин, производящих явления. Общая физика при его делении включает в себя общие понятия о веществе, понятие о силах, общие свойства механического движения, гидростатику и гидродинамику, газовые законы, колебания и волны в упругих жидкостях. Частная физика изучает теплоту, свет, электричество, магнетизм, гальванизм.

В лаборатории В.Вебера работал А.Г.Столетов.

Появляются физические лаборатории и в других университетах Германии, Великобритании, США, Франции.

По университетскому Уставу 1863 года каждый российский университет должен был иметь наряду с физическим кабинетом и физическую лабораторию. Первую научную лабораторию в России создает при Петербургском университете Ф.Ф. Петрушевский.



**Николай Алексеевич
Любимов
(1830-1897)**

Весной 1871 года профессор Н.А. Любимов и доцент А.Г. Столетов представили факультету и Совету университета мотивированное заявление, в котором кратко обосновали необходимость открытия лаборатории. Из-за отсутствия помещений решение данного вопроса затянулось. Проблема была решена лишь к осени 1872 года [152]. Под лабораторию была отведена часть бельэтажа «ректорского дома»,

состоящая из нескольких комнат.

А.Г. Столетов начинает оборудовать лабораторию. Для этого он переносит из физического кабинета приборы, сделанные им совместно с Н.Н. Шиллером, устанавливает кронштейны на стенах, конструирует установки для физического практикума. В этом ему помогают добровольцы из числа студентов.

К концу 1872 года лаборатория была готова для практических занятий студентов. Но для ее открытия необходимо было финансирование, которое не выделили. Тогда Н.А. Любимов уступает для этих целей 600 рублей из штатной суммы кафедры. А.П. Соколов вспоминал: «Лаборатория обнаружила свою



**Здание («ректорский домик»),
в котором была открыта в 1872 году первая физическая
лаборатория
в Московском университете. Сентябрь 2013 года.**

деятельность уже в первый год своего существования. Было установлено несколько инструментов, отчасти пожертвованных бывшим профессором К.А. Рачинским; явилось несколько студентов, которые заинтересовались делом, деятельно стали помогать Ал. Гр. в доставке приборов; из них П.А. Зилов, ныне

проф. Варшавского университета, сделал в лаборатории свою первую работу – определение величины Ома в ртутных единицах. С течением времени лаборатория получила более устроенный вид: был проведен газ, установлены каменные постаменты на сводах для чувствительных к тряске приборов, устроена маленькая оптическая комната, мастерская и т.д. Постепенно были приобретены ценные измерительные приборы: квадрант-электромметр и гальваномметр Томсона, катетометр, спектрометр и пр.».



**Александр Григорьевич
Столетов
(1839-1896)**

Еще в 70-х годах XIX века А.Г. Столетов предпринимал попытки создать физический институт при университете. Лишь спустя двадцать лет решение проблемы сдвинулось мертвой точки. Возникли соответствующие социальные предпосылки и нашлись средства для его постройки.

Весной 1897 года проект института, подготовленный Н.А. Умовым, А.П. Соколовым и П.Н. Лебедевым совместно с архитектором Е.М. Быковским, был разработан.



**Здание, открытое в 1903 году
как Физический институт при Московском университете.
Сентябрь 2013 года.**

В личном архиве Н.А. Умова хранятся многочисленные бумаги и документы, касающиеся строительства института, в частности, «Доклад о сооружении физического института при Императорском Московском университете».

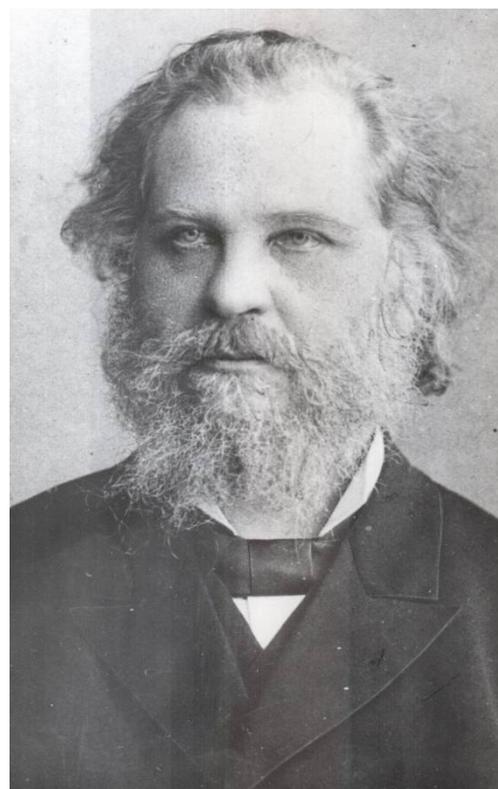
В этом докладе Н.А. Умов так определил цели и задачи данного учреждения: «Кроме обучения студентов, физический институт должен способствовать и развитию физической науки, он должен дать место и поставить в удовлетворительные условия как занятия профессоров, так и начинающих молодых ученых, а также и ученых

и других русских университетов... .
Наконец, физический институт должен быть в состоянии воспроизвести всякое новое открытие и исследование».

Здание института заложено в 1898 году. 3 октября 1903 года в нем была прочитана первая лекция. Возможности научных исследований в университете значительно расширились. В первую очередь это сказалось на исследованиях

П.Н.Лебедева, создавшего большую школу физиков, оказавших значительное влияние на развитие физики в России. В 1900 году у П.Н.Лебедева работало 10 сотрудников, а в 1911 - уже 28. В его лаборатории велось одновременно около десяти научных работ.

Большие лаборатории и научные институты стали неотъемлемой частью физики в XX веке.



**Николай Алексеевич
Умов
(1846-1915)**

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В книге рассмотрен процесс формирования и развития физики и ее методологии в период со второй половины XVII века до конца XIX века. Этот период принято называть периодом классической физики.

Данный период начинается с формирования физики как самостоятельной области знания. Возникает классическая физика, которая является основой физической науки.

Периодизация истории возникновения и развития физики в рамках данного периода основана на внутренней логике развития физики. В результате мы имеем четыре логически связанных периода - формирование физики, период невесомых, период установления закона сохранения и превращения энергии, завершение классической физики.

Ход развития физики привел к тому, что в конце рассматриваемого периода возникает потребность в формировании современной физики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Newton, Isaac. Philosophiae naturalis principia mathematica. Londini, 1687
2. Newton, Isaac. Philosophiae naturalis principia mathematica. Cantabrigiae, 1713
3. Newton, Isaac. Philosophiae naturalis principia mathematica. Londini, 1726
4. Newton, Isaac. Sir Isaac Newton's Mathematical principles of natural philosophy and his system of the world. Transl. into English by A. Motte in 1729. The transl. rev., and supplied with an historical and explanatory appendix, by F. Gajori. Berkley, Cal., Univ. of California press, 1960
5. Ньютон И. Математические начала натуральной философии. Петроград, 1915 - 1916
6. Ньютон И. Математические начала натуральной философии. М.: Наука, 1989
7. Pemberton, Henry. A view of sir Isaac Newton's philosophy. London, 1728
8. Вавилов С.И. Исаак Ньютон. 1643-1727. 4-е издание, дополненное. Отв. ред. В.С. Вавилов. М., 1989
9. Кудрявцев П.С. Исаак Ньютон. М., 1963
10. Кузнецов Б.Г. Ньютон. М., 1982

11. Исаак Ньютон. 1643 – 1727. Сборник статей к 300-летию со дня рождения. Под ред. С.И. Вавилова. М.-Л., 1943
12. Ньютон и философские проблемы физики XX века. Сборник статей. АН СССР. Институт философии. М., Наука, 1991
13. Berry, Arthur. A short history of astronomy. London, 1898
14. Берри А. Краткая история астрономии. М., 1904
15. Берри А. Краткая история астрономии. 2-е изд.. М.-Л., 1946
16. Николаев П.Н. История и методология физики. Т. I. Основы истории и методологии физики. М., 2014
17. Newton, Isaac. Optics or treatise of the reflexions, refractions, inflexions and colours of light. Also two treatises of the species and magnitude of curvilinear figures. London, 1704
18. Newton, Isaac. Optics or treatise of the reflections, refractions, inflections and colours of light. The second edition, with additions. London, 1718
19. Ньютон И. Оптика или трактат об отражениях, преломлениях, изгибаниях и цветах света. Перевод с 3-го англ. Изд. 1721 г. С предисловием С.И. Вавилова. М.-Л., 1927
20. Ньютон И. Оптика или трактат об отражениях, преломлениях, изгибаниях и цветах света. 2-е изд. просмотр. Г.С. Ландсбергом. М., 1954
21. Westfall R.S. Never at rest. A biography of Isaac Newton. 2nd ed. Cambridge, Cambridge Univ. Press, 1982
22. The mathematical papers of Isaac Newton. Ed. by D.T. Whiteside. Cambridge, Cambridge. Univ. Press, 1967 – 1981. Vol. 1 - 8

23. Современные историко-научные исследования (Ньютон).
Реф. сб. М., ИНИОН АН СССР, 1984
24. The correspondence of Sir Isaac Newton / Ed. H.W. Turnbull et al. Cambridge, Cambridge Univ. Press. 1959 – 1977.
Vol. 1 – 7
25. Козарев И.Ю. Исаак Ньютон и его время. М., Знание, 1978
26. Гинзбург В.Л. К трехсотлетию «Математических начал натуральной философии» Исаака Ньютона // Успехи физических наук 1987. Т. 151. С. 119
27. Pask C. Magnificent Principia. Prometheus books, 2013
28. Jalobeanu D. Magnificent “Principia”: Exploring Isaac Newton’s Masterpiece // Phys. Today 2015. V. 68. N 1. P. 45
29. Brache, Tycho. Opera omnia. Ed. J.L.E. Dreyer. V. 1 – 15. Hauniae, 1913 - 1929
30. Brache, Tycho. Tycho Brahe’s description of his instruments and scientific work as given Astronomiae instauratae mechanica (Wandesburgi 1598). Transl. and ed. by Hans Raeder et al. Kobenhavn, 1946
31. Kepler, Johannes. Joannis Kepleri astronimi opera omnia. Vol. 1 – 8. Frankofurti, 1858 – 1871
32. Кеплер, Иоганн. Новая стереометрия винных бочек преимущественно австрийских, как имеющих самую выгодную форму и исключительно удобное употребление для них кубической линейки. М.-Л., 1935
33. Kepler J. Gesammelte Werke. V. 1 – 18. Munchen, 1938 - 1969
34. Белый Ю.А. Иоганн Кеплер. 1571 – 1630. М., 1971

35. Кеплер, Иоганн. О шестиугольных снежинках. М., Наука, 1982
36. Kepler, Johannes. Epitome of Copernican astronomy: IV – V. The harmonies of the world: V // Great books of the western world. 6. Printing. Chicago etc., 1996
37. Kepler. Four hundred years. Proceedings of conferences held in honour of J. Kepler. Oxford, Pergamon Press, 1975
38. НЬЮТОН И. I. Новая теория света и цветов. //УФН 1927. Т.7. № 2. С. 123
39. НЬЮТОН И. II. Одна гипотеза, объясняющая свойства света, изложенные в нескольких моих статьях. //УФН 1927. Т. 7. № 2. С. 136
40. Вавилов С.И. Принципы и гипотезы оптики Ньютона. //УФН 1927. Т. 7. № 2. С. 87
41. Вавилов С.И. Примечания к переводу оптических мемуаров Ньютона. //УФН 1927. Т. 7. № 2. С. 159
42. Birch Th. The history of the Royal society of London. V. III. 1757
43. Cajori F. A history of physics. N. Y., Dover Publications, 1962
44. Dobbs V.J. The Foundations of Newton's Alchemy: or the Hunting of Green Leon. Cambridge, Cambridge University Press, 1983
45. НЬЮТОН И. Замечания на книгу пророка Даниила и Апокалипсис Св. Иоанна. Петроград, 1915
46. Кирсанов В.С. Научная революция XVII века. М., Наука, 1987

47. Кирсанов В.С. Переписка И. Ньютона с Р. Гуком 1679 – 80 гг. // ВИЕТ 1996. № 4. С. 3
48. Карцев В. П. Ньютон. М.: Молодая гвардия, 1987
49. Ball W.W. Rouse. An essay on Newton's "Principia". London and New York, Macmillan and Co., 1893
50. Николаев П.Н., Николаева О.П. История и методология физики. Т. 2. Предыстория физики. М., 2014
51. Спасский Б.И. История физики. Ч. I и II. Издание второе переработанное и дополненное. М.: Высшая школа, 1977.
52. Дорфман Я.Г. Всемирная история физики (С древнейших времен до конца 18 в.). М.: Наука, 1974.
53. Николаев П.Н. // Успехи физических наук 2011. Т. 161. № 11. С. 1201.
54. Базаров И.П., Николаев П.Н. Рождение статистической физики//В сб. «История и методология естественных наук». Вып. 30: физика. М.: изд-во Московского университета, 1983. С. 9
55. Николаев П.Н. О закономерностях развития физики. В сборнике «История и методология естественных наук. Выпуск XXXVII. Физика. М.: издательство Московского университета, 1992. С. 154
56. Базаров И.П., Николаев П.Н. Почему вероятность входит в физику? // Вопросы философии 1986. № 12. С. 142
57. История математики с древнейших времен до начала XIX столетия. Под ред. А.П. Юшкевича. Т. 1. М., Наука, 1972.
58. Heisenberg W. Physics and philosophy. N.-Y., 1958.
59. Льюэли М. История физики. М., 1970

60. Бурбаки Н. Очерки по истории математики. Перевод с франц. И.Г. Башмаковой. Под ред. К.А. Рыбникова. М., ИЛ 1963
61. Еремеева А.И., Цицин Ф.А. История астрономии. М.: издательство Московского университета, 1989.
62. Рыбников К.А. История математики. М.: Издательство Московского университета, 1994.
63. Паннекук А. История астрономии. М., Наука, 1966
64. Lo Presti R. The first scientist //Nature 2014. V. 512. P. 520
65. Физический энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1983
66. История математики с древнейших времен до начала XIX столетия. Т. 2. М., 1970
67. Dugas R. Histoire de la mecanique. Paris, 1950
68. Храмов Ю.А. Физики. Биографический справочник. М.: Наука, 1983
69. Григорян А.Т. Механика от античности до наших дней. М., Наука, 1974
70. Кудрявцев П.С. История физики. Т. 1-3. М., Учпедгиз, 1956 - 1971
71. Философский словарь. М.: издательство «Республика», 2001
72. Краткий очерк истории философии. Под ред. М.Т. Иовчука, Т.И. Ойзермана, И.Я. Шипанова. М., Мысль, 1969
73. Боголюбов А.Н. Математики. Механики. Биографический справочник. Киев, Наукова думка, 1983
74. Гельфер Я.М. История и методология термодинамики и статистической физики. М., Высшая школа, 1981
75. Математическая энциклопедия. Т. 1. М., 1977

76. Антология мировой философии. Т. 1 - 4. М., 1969 -1972
77. Григорьян А.Т., Зубов В.П. Очерки развития основных понятий механики. М., 1962
78. Голин Г.М., Филонович С.Р. Классики физической науки. М., 1989
79. Гюйгенс Х. Книга мирозрения или мнение о небесноземных глобусах и их украшениях. М., 1724
80. Гюйгенс Х. Трактат о свете. В котором объяснены причины того, что с ним происходит при отражении и при преломлении, в частности при странном преломлении исландского кристалла. М.-Л., 1935
81. Гюйгенс Х. Три мемуара по механике. М., 1951
82. Лейбниц Г.В. Сочинения. В 4-х томах. Т. 1 – 4. М., 1982 – 1989
83. Погребынский И.Б. Готфрид Вильгельм Лейбниц. 1646 - 1716. М., 1971
84. Feynman R. The character of physical law. London, 1965 (Фейнман Р. Характер физических законов. М., 1987)
85. Эйлер Л. Основы динамики точки. М.-Л., 1938
86. Voltaire F. Lettres philosophiques. London. V. 2., 1909
87. Вольтер. Философские сочинения. М., 1988
88. Боголюбов А.Н. Роберт Гук. Москва, 1984
89. Эйлер Л. Новая теория движения Луны. М., 1934
90. Эйлер Л. Письма к немецкой принцессе о различных физических и философских материях. СПб., 2002
91. Эйлер Л. Письма к ученым. М.-Л., 1963
92. Эйлер Л. Исследования по баллистике. М., 1961
93. Даламбер Ж. Динамика. М.-Л., 1950

94. Лагранж Ж. Л. Аналитическая механика. Т. 1 и т. 2. М.-Л., 1950
95. Mach E. Die Principien der Wärmelehre. Leipzig, 1900
96. Figuier L. Les Merveilles de la science. Т. 1. Paris, 1867
97. Лакур П., Аппель Я. Историческая физика. Одесса, 1908
98. Крыжановский Л.Н. Питер ван Мюссенбрук // УФН 1991. Т. 161. Вып. 3. С. 155
99. Cavendish H. The electrical researches. Cambridge, 1879
100. Coulomb С.А. de Vier abhandlungen über die Electricität und den Magnetismus. Leipzig, 1890
101. Голин Г.М., Филонович С.Р. Классики физической науки. М., 1989
102. Mémoires de mathématique et de physique présentés à l'Academie Royale des Sciences, par divers savants, 1785 (publ. Paris, 1788), p. 569-611
103. Эпинус Ф.У.Т. Теория электричества и магнетизма. М. - Л., 1951
104. Whittaker E. A history of the theories of aether and electricity. The classical theories. London - Edinburgh, 1951
105. Уиттекер Э. История теории эфира и электричества. Классические теории. Москва - Ижевск, 2001
106. Bouguer P. Traité d'optique sur la gradation de la lumière. Paris, 1760
107. Бугер П. Оптический трактат о градации света. Ленинград, 1950
108. Ломоносов М.В. Полное собрание сочинений. М.-Л., 1950-1983
109. Френель О. Избранные труды по оптике. М., 1955

110. Академик В.В. Петров. М.-Л., 1940
111. Ампер А.М. Электродинамика. М.-Л., 1954
112. Jones V. The life and letters of Faraday. Vol. 1. London, 1870
113. Фарадей М. Экспериментальные исследования по электричеству. Т. 1-3. М.-Л., 1947-1959
114. Ленц Э.Х. Избранные труды. М.-Л., 1950
115. Второе начало термодинамики. Сб. статей под ред. А.К.Тимирязева. М.-Л., 1934
116. Carnot S. Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance. Paris, 1824
117. Майер Ю.Р. Закон сохранения и превращения энергии: Четыре исследования 1841-1851. М.-Л., 1933
118. Mayer J.R., von // Annalen der Chemie und Pharmacie 1842. Bd. XVII. Heft 2. S. 233 -240 (Heidelberg)
119. The scientific papers of James Prescott Joule. Vol. 1 -2. London, 1884-1887
120. Wissenschaftliche Abhandlungen von Hermann Helmholtz. Bd. 1-3. Leibzig, 1882 - 1895
121. Гельмгольц Г. О сохранении силы. М.-Л., 1934
122. Rankin W. Miscellaneous scientific papers. London, 1881
123. Thomson W. Mathematical and physical papers. Vol. 1-3. Cambridge, 1882-1884
124. Clausius R. Abhandlungen über die mechanische Wärmtheorie. Bd. 1-3. Braunschweig, 1879-1891
125. Nernst W. Die theoretischen und experimentellen Grundlagen des neuen Wärmesatzes. Halle, 1918
126. Нернст В. Теоретические и опытные основания нового теплового закона. М., 1929

127. Основатели кинетической теории материи. Под редакцией А.К.Тимирязева. М.-Л., 1937
128. Clausius R. Über die Art der Bewegung, die wir Wärme nennen // Annalen der Physik 1857 Bd. 176 (Bd. 100). N 3. S. 353-379
129. Clausius R. Über die Wärmeleitung gasförmiger Körper // Annalen der Physik 1862 Bd. 191 (Bd. 115). N 1. S. 1-57
130. Clausius R. Ueber verschiedene für die Anwendung bequeme Formen der Hauptgleichungen der mechanischen Wärmetheorie // Annalen der Physik 1865 Bd. 201 (Bd. 125). N 7. S. 353-400
131. Maxwell J. Cl. Illustrations on the dynamical theory of gases // The Philosophical Magazine. Ser. 4. 1860. Vol. 19, pp. 19-32; vol. 20, pp. 21-37
132. The scientific papers of James Clerk Maxwell. Vol. 1-2. Cambridge University Press, 1890
133. Maxwell J. Cl. On the dynamical theory of gases // Philosophical Transactions of the Royal Society of London 1867. Vol. 157. P.49
134. Boltzmann L. Wissenschaftliche Abhandlungen. Bd. 1 - 3. Leipzig, 1909
135. Boltzmann L. Vorlesungen über Gastheorie. T. 1-2. Leipzig, 1896-1910
136. Boltzmann L. Populäre Schriften. Leipzig, 1905
137. Больцман Л. Лекции по теории газов. М., 1956
138. Больцман Л. Избранные труды. М., 1987
139. Гиббс Д.В. Термодинамика и статистическая физика. М., 1982

140. Gibbs J.W. Elementary principles in statistical mechanics, developed with especial reference to the rational foundation of thermodynamics. New York, 1902
141. Максвелл Д.К. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля. М., 1952
142. Maxwell J.Cl. *A treatise on electricity and magnetism*. Vol. 1-2. Cambridge, 1973
143. Максвелл Д.К. Трактат по электричеству и магнетизму. М., 1989
144. Герц Г. Р. 50 лет волн Герца. М.-Л., 1938.
145. Из предыстории радио. М.-Л., 1948
146. Лебедев П.Н. Собрание сочинений. М., 1963
147. Thomson J.J. Cathode rays // *Philosophical Magazine*. Ser. 5 1897. Issue 269. P. 293-316
148. Lorentz H.A. The theory of electrons and its applications to the phenomena of light and radiant heat. Leipzig, 1909
149. Лоренц Г. Теория электронов и ее применение к явлениям света и теплового излучения. 2-е изд. М., 1956
150. Drude P. // *Annalen der Physik* 1900. В. 1(306). S. 566; В. 3(308). S. 369
151. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. Т. 1. М., 1979
152. Николаев П.Н. Михаил Васильевич Ломоносов и развитие физики в Московском университете (Mikhail Vasil'evich Lomonosov and the development of physics in Moscow University). М., 2013

ISBN 978-5-9905275-4-6

