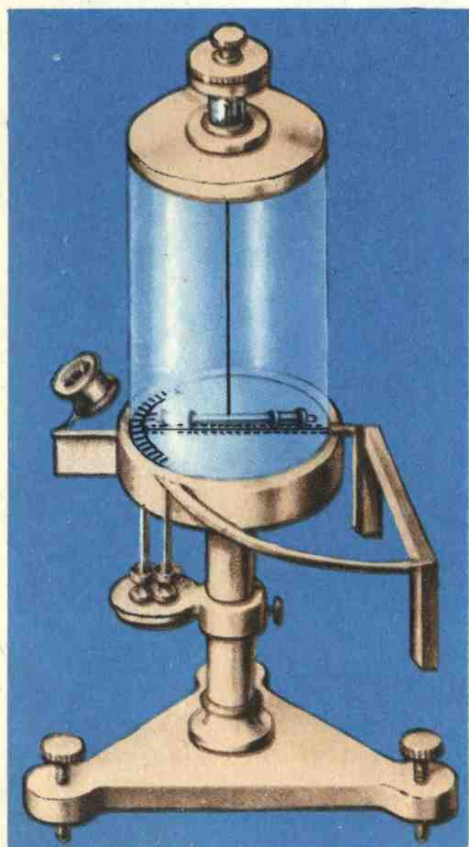


Люди
науки

В. В. КОШМАНОВ

ГЕОРГ ОМ



Люд
науки

В. В. КОШМАНОВ

ГЕОРГ ОМ

Пособие для учащихся

МОСКВА
«ПРОСВЕЩЕНИЕ»
1980

ББК 22.3 г
К 76

Рецензенты: *О. А. Лежнева*, канд. физ.-мат. наук, ст. научный сотрудник Института истории естествознания и техники; *Ц. С. Сарангов*, канд. физ.-мат. наук, ст. преподаватель МГУ.

Василий Владимирович Кошманов

ГЕОРГ ОМ

Редактор Л. Л. Величко

Художественный редактор В. М. Прокофьев

Технический редактор С. Н. Терехова, М. Е. Тургенева

Корректоры О. В. Ивашкина, Л. А. Козлова

ИБ № 4462

Сдано в набор 27.08.79. Подписано к печати 24.01.80. 84×108^{1/32}. Бум. типограф. № 2. Гарнит. школьн. Печать высокая. Усл. печ. л. 5,88. Уч.-изд. л. 5,70. Тираж 80 000 экз. Заказ 2553. Цена 20 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Просвещение» Государственного комитета РСФСР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. Москва, 3-й проезд Марьиной рощи, 41. Полиграфкомбинат им. Я. Коласа Госкомиздата БССР. 220827. Минск, Красная, 23.

Кошманов В. В.

К 76 Георг Ом: Пособие для учащихся.— М.: Просвещение, 1980.— 112 с., ил.— (Люди науки).

В книге рассказывается о жизни и деятельности выдающегося немецкого ученого Георга Ома, приводятся интересные факты из его биографии и познавательные сведения об исторических условиях того времени.

60601—375
К 103(03)—80 298—80 4306021100

ББК 22.3 г
53(09)

© Издательство «Просвещение», 1980 г.

В 1979 г. исполнилось 125 лет со дня смерти немецкого ученого Георга Симона Ома, установившего основной закон электрических цепей, названный впоследствии его именем.

Открытие Ома, в отличие от открытий А. Вольты, Г. Х. Эрстеда, М. Фарадея и ряда других ученых, не произвело революции в науке, но без него невозможно было бы дальнейшее развитие электротехники, конструирование электрических машин, которые до сих пор не имеют серьезного конкурента в промышленности и на транспорте. Элементарное знакомство с электротехникой с необходимостью предполагает знание закона, установленного Омом. Значение этого закона для расчета электрических цепей и радиосхем невозможно переоценить.

В отличие от многих исследователей, чьи открытия в большей или меньшей мере обязаны случаю, Ом — не баловень судьбы. Он четко представлял задачу, решению которой посвятил себя. С завидным упорством, с немецкой педантичностью, через неудачи и ошибки, шаг за шагом ученый шел к цели, намеченной им в начале экспериментальных исследований. В настоящее время справедливость закона, установленного Омом, не вызывает сомнений. Но не так обстояло дело 150 лет назад. Испытав на себе суровую критику и насмешки современников, недоверие коллег и равнодушие администрации, от которой зависело его материальное благополучие, ученый сумел подняться до научных вершин, еще при жизни получив всемирное признание. О том, каков был этот долгий путь к славе, и рассказывается в предлагаемой книге.

В первой главе читатели ознакомятся с кратким очерком развития учения об электричестве с древности до времени, предшествовавшего открытию Ома. Последующие главы посвящены жизни, педагогической и научной деятельности ученого. Настойчивость Ома в достижении цели, его экспериментаторские способности, научная честность и добросовестность, уверенность в справедливости установленных им фактов — эти черты характера ученого вызвали восхищение всех, кто был

близко знаком с ним. Жизнь Ома — одна из страниц, которые составляют великую книгу истории науки.

Научные интересы Ома не ограничивались исследованием электрических цепей. Им успешно разрабатывалась теория электроизмерительных приборов, проводились не менее успешные исследования по акустике и по интерференции света в одноосных кристаллах; написан учебник по физике, в который включены оригинальные идеи автора. Следует обратить внимание на плодотворность одного из методов познания природы — метода аналогии, который весьма успешно использовал Ом в своем научном творчестве.

Значительная часть отрывков из переписки Ома с друзьями, коллегами и административными лицами, представленных в книге, переведена специально для этого издания.

Попытка создания книги о жизни и деятельности Г. С. Ома на русском языке предпринимается впервые, что может служить некоторым оправданием автору за возможные недочеты, от которых не избавлены работы подобного типа.

КРАТКИЙ ОЧЕРК РАЗВИТИЯ УЧЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСТВЕ С ДРЕВНЕЙШИХ ВРЕМЕН ДО 1826 г.

ОТ ФАЛЕСА МИЛЕТСКОГО ДО ГИЛЬБЕРТА

Открытие новых явлений и начало исследований электрических и магнитных свойств вещества связано с именем одного из семи мудрецов Древней Греции Фалеса Милетского (642—548 гг. до н. э.). Подлинные труды древнегреческого мыслителя не дошли до наших дней и о его научных заслугах удалось узнать только из работ более поздних мыслителей: Диогена Лаэртция, Плутарха, Плиния, Аристотеля, Апулея и др. По словам древнегреческих авторов, Фалес имел все основания носить почетное звание первого мудреца. Научные интересы знаменитого милетянина весьма разносторонни: известны его работы в математике, философии, физике, астрономии. Однако стоит отметить, что высказывания древних авторов о научных заслугах Фалеса неполны и противоречивы. Наиболее достоверен факт, упоминаемый большинством историков древности, — предсказание им солнечного затмения 585 г. до н. э. Эта дата является первой точной датой в истории науки.

Скудность сведений о жизни и научных открытиях великого ученого древности восполняется обилием легенд, связанных с его именем. В одной из них рассказывается, что автором открытия электрических явлений был даже не сам Фалес, а его дочь. Протирая как-то шерстяным лоскутом веретено, отделанное янтарем, она заметила, что при более тщательном натирании ян-

таря ворсинки ткани удерживаются на нем, а затем через некоторое время без видимой причины отпадают. Удивленная увиденным, дочь обратилась к отцу за объяснением странного поведения ворсинок. Заинтересовавшись этим явлением, Фалес собственноручно проделал опыты с янтарем и убедился в существовании фактов, о которых сообщила ему дочь.

Но как в действительности обстояло дело — неважно для истории науки. Важно то, что открытие новых явлений и их первое экспериментальное исследование связано с именем Фалеса Милетского и принадлежит VI в. до н. э.

Те же источники, которые упоминают Фалеса как основателя учения об электричестве, называют его пионером и в изучении магнетизма. Однако понять и научно объяснить наблюдаемые явления ему не удалось. Единственное, что предложил он для объяснения электрических и магнитных свойств вещества, — это наличие души у янтаря и магнита. Ничего более серьезного при современном ему уровне знаний Фалес предположить не мог и дальнейших опытов в области электричества и магнетизма не проводил.

Позднейшие исследователи в области электричества дальше повторения опытов Фалеса не шли. Никаких попыток объяснить наблюдаемый феномен не предпринималось. Плотный туман мистики надежно окутал имеющиеся скудные сведения из области электричества. Детство электричества затянулось почти на двадцать два столетия и окончилось только в 1600 г. «Виновником» становления электричества на научные рельсы был английский исследователь Вильям Гильберт.

ОТ ГИЛЬБЕРТА ДО ИЗОБРЕТЕНИЯ ИСТОЧНИКА ТОКА

Начало подлинно научных исследований в области электричества и магнетизма было положено английским естествоиспытателем и придворным врачом королевы Вильямом Гильбертом (1544—1603). В отличие от исследований предшественников, которые познание природы сводили к интуитивным умозаключениям часто с привлечением потусторонних сил, исследования Гильберта носили строго экспериментальный характер.

Заинтересовавшись опытами древнегреческого мудреца, с описанием которых он ознакомился в изложении Аристотеля, Гильберт повторил их и, убедившись в справедливости пересказанного древним философом, значительно расширил рамки экспериментов. Отличаясь необыкновенной изобретательностью, он придумывал все новые и новые опыты и анализировал полученные результаты. Итогом многолетних исследований Гильберта явился труд, вышедший в Лондоне в 1600 г., под названием «О магните, магнитных телах и о большом магните — Земле. Новая физиология, доказанная множеством аргументов и опытов». В этом сочинении было приведено описание проведенных экспериментов.

Среди огромного количества фактов, изложенных в этой книге, заметно выделяется описание экспериментов из области электричества. Для своих исследований Гильберт использовал изобретенный им прибор — версор. Устройство этого прибора понятно из описания, приводимого ученым: «Для того чтобы иметь возможность узнать на основании ясного опыта, каким образом происходит такое притяжение и каковы материи, притягивающие таким образом другие тела... сделай себе из любого металла стрелку длиной в 3 или 4 дюйма¹, достаточно подвижную на своей игле, наподобие магнитного указателя. К одному концу ее приложи янтарь или блестящий и гладкий камешек, слегка потерев его: стрелка немедленно поворачивается».

С помощью этого прибора Гильберт установил, что «не только янтарь... привлекает к себе тела, но то же делают алмаз, сапфир, карбункул, камень, ирис, опал, аметист, ... берилл и кристалл. Подобными же притягательными силами обладают, по-видимому, стекло (особенно светлое и блестящее), затем поддельные камни из стекла или кристалла, сурьмяное стекло, большинство флуоров из рудников и белемениты. Притягивают также сера, мастика и сургуч, составленный из лака, окрашенного в разные цвета...

Все они притягивают не только соломинки и мякину, но и все металлы, дерево, листья, камни, земли, даже воду, растительное масло и все, что подвластно на-

¹ 1 дюйм = 10 линиям = 25,4 мм.

шим чувствам». К веществам, не поддающимся электризации, Гильберт относит мрамор, жемчуг, кость и металлы.

В этой же работе Гильберт проводит четкое разделение электрических и магнитных явлений. В основу этого деления исследователем положено различие между силами притяжения намагниченных и наэлектризованных тел и влияние внешних условий на силу притяжения. «Одна (магнитная сила.— В. К.) выделяется многими свойствами и очень мощна, другая (электрическая.— В. К.) — темна, менее мощна и по большей части как бы заключена в некие темницы, почему эту силу иногда приходится пробуждать трением или натиранием до тех пор, пока тело незаметно не нагреется, не даст истечения и не приобретет блеска. Ведь испорченный воздух, выдыхаемый изо рта, или более сырой воздух подавляет это свойство; если вставить между телами бумагу или полотно, то никакого движения не будет. Магнит же без натирания и нагревания (сухой или облитый жидкостью) как на воздухе, так и в воде зовет к себе магнитные тела, даже если вставить преграду в виде очень твердых тел, деревянных досок или толстых каменных или металлических пластинок. Магнит возбуждает только магнитные тела, а к электрическим телам несется все. Магнит поднимает большие грузы; ... электрические силы притягивают лишь тела очень маленького веса...»

С легкой руки Гильберта электричество и магнетизм в течение многих последующих десятилетий будут рассматриваться как два явления, совершенно не связанные между собой.

Вызывает удивление тот факт, что такой искусный экспериментатор, каким был Гильберт, не смог обнаружить способность металлов к электризации. Не сумел он установить и факт отталкивания электрических зарядов, хотя и проводил эксперименты, которые должны были привести его к этому. Однако и сделанного им достаточно, чтобы считать его пионером целенаправленных исследований в области электричества и магнетизма. Галилей высоко оценил заслуги Гильберта как экспериментатора и основателя учения об электричестве и магнетизме. «Я воздаю величайшую хвалу, — пишет Галилей, — и завидую этому автору, так как ему

пришло на ум столь поразительное представление о вещи, бывшей в руках у бесконечного числа других людей возвышенного ума, но никем не подмеченной; он кажется мне достойным величайшей похвалы также и за много сделанных им новых и достоверных наблюдений... И я не сомневаюсь, что с течением времени эта новая наука будет совершенствоваться путем новых наблюдений и в особенности путем правильных и необходимых доказательств. Но от этого не должна уменьшиться слава первого наблюдателя, наоборот, я ставлю очень высоко, например, первого изобретателя лиры (хотя, нужно думать, инструмент этот был сделан примитивным образом и звучал очень грубо) и ценю его не менее, чем сотни других артистов, которые в последующие века довели профессию музыканта до высокого совершенства»¹.

Описывая дальнейшее развитие исследований в области электрических явлений, нельзя не упомянуть итальянского исследователя Никола Кабео (1585—1650), который в 1629 г. выпустил трактат «Философия магнетизма». В этом трактате Кабео предпринял смелую попытку объяснить причину притяжения наэлектризованных тел. Экспериментально им было установлено, что наэлектризованные тела по весу не отличаются от ненаэлектризованных. Электризуя одно и то же тело тысячи раз, экспериментатор не обнаружил ни малейшего изменения в весе. Этот факт натолкнул его на мысль, что электрическая жидкость, испускаемая наэлектризованным телом, расталкивает и сжимает перед собой воздух. Там, где давление воздуха достигнет некоторого предела, электрическая жидкость возвращается обратно к наэлектризованному телу, увлекая за собой легкие тела. Постоянство в весе тел, независимо от состояния электризации, подтверждало это предположение. Объяснение Кабео несколько наивно, однако важен сам факт, что ученые начинают задумываться над причинами этого таинственного явления.

Следующей заметной вехой на пути развития электричества были исследования магдебургского инженера и администратора Отто фон Герике (1602—1686). Заин-

¹ Галилей Г. Диалог о двух главнейших системах мира — птолемеевой и коперниковой. М.— Л., 1948, с. 290—291.



Отто фон Герике

полнить его растолченной серой и расплавить ее. После охлаждения серы баллон нужно разбить и вынуть серный шар. Для того чтобы удобно было использовать этот шар как генератор электрических зарядов, необходимо просверлить в нем отверстие по диаметру и вставить в это отверстие металлический стержень. Если стержень расположить горизонтально на опорах, то можно легко осуществить вращение серного шара. Натирая этот вращающийся шар руками или кожаными подушками, Герике удалось получить на нем большие заряды.

С помощью этой машины Герике провел ряд экспериментов по изучению электрических явлений. Он первым из ученых установил, что заряженные тела могут не только притягиваться, но и отталкиваться; им же было экспериментально доказано, что электричество может передаваться на расстояние через некоторые тела, названные впоследствии проводниками. Однако опыты немецкого ученого остались незамеченными на фоне его выдающихся исследований по получению и изучению свойств разреженного воздуха, и поэтому другим ученым пришлось заново открывать свойства электричества, обнаруженные Герике.

Затем эстафету в постепенно ускоряющемся процессе развития учения об электричестве принимает французский ученый Ш. Ж. Дюфе (1698—1739). Дюфе по-

тересовавшись электрическими явлениями, Герике протудировал трактат Гильберта и, желая получить более сильные электрические эффекты, пришел к идее создания специального устройства для получения больших зарядов. Для осуществления своих замыслов Герике изготовил машину, устройство которой можно понять из данного им описания. Для желающих повторить проведенные им опыты Герике советует взять стеклянный баллон «величиною с детскую голову», на-

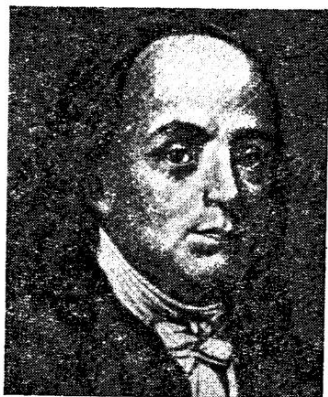
шел дальше своих предшественников. Он установил существование двух родов электричества, получающихся различными способами. Один из них, который возникал при натирании стекла и горного хрусталя, он назвал «стеклянным»; другой, появляющийся при натирании смолы или янтаря, был им назван «смоляным» электричеством. Отличие этих двух родов электричества состояло, по словам Дюфе, в том, что однородные электричества, например натертое стекло и горный хрусталь, отталкивались, а разнородные электричества — «стеклянное» и «смоляное» — притягивались. Исходя из установленного факта, Дюфе предполагает возможность объяснения ряда ранее наблюдаемых явлений и выражает надежду на открытие новых. Описанные наблюдения дают основание считать Дюфе автором качественного закона взаимодействия электрических зарядов: одноименные заряды отталкиваются, разноименные — притягиваются.

Дюфе первым из ученых высказал мысль об электрической природе грома и молнии. «Возможно, — пишет Дюфе, — что в конце концов удастся найти средства для получения электричества в больших масштабах и, следовательно, усилить мощь электрического огня, который во многих из этих опытов представляется как бы одной природы с громом и молнией». Публикации Дюфе вызвали к жизни новые идеи и стимулировали проведение новых экспериментов во все еще таинственной области науки — в области электричества.

Наряду с подлинными исследователями, занятыми упорными поисками истины, в это же время в различных странах появляется огромная армия людей, далеких от науки, которые занимались электрическими экспериментами не по призванию души, а по велению моды. С увеличением числа лиц, занимающихся электрическими исследованиями, растет и число сенсационных «открытий»: электричеством «оживляют» собак, кроликов, птиц; не за горами и факт «оживления» человека. «Экспериментаторы» сообщают, что из яиц, подвергшихся электризации, цыплята вылупляются раньше, чем из ненаэлектризованных; семена сельскохозяйственных культур прорастают скорее и дают большие урожаи, если их перед посадкой наэлектризовать. Все явления природы, в том числе и землетрясения, объяс-



М. В. Ломоносов



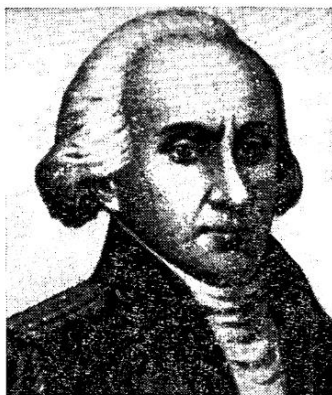
Бенджамин Франклин

нялись электричеством. Электричество захватило всех; человечество уже догадывалось о возможностях его практического применения.

Все-таки драгоценные зерна истины попадались и в этой огромной по тем временам информации, заполнившей научные журналы. Так, в 1745 г. в Померании Э. Клейстом, а в 1746 г. в Лейдене П. Мушенбреком (1692—1761) была создана «лейденская банка», первый конденсатор — прибор, способный накапливать и удерживать значительные заряды. В мае 1752 г. французский ученый Т. Ф. Далибар (1703—1779), а в июне этого же года американский исследователь Б. Франклин (1706—1790) экспериментально установили электрическую природу молнии. Кроме того, Франклин вскоре предпринял первую попытку объяснения электрических явлений на основе созданной им теории. Над выяснением электрической природы молнии много и успешно трудились русские ученые М. В. Ломоносов (1711—1765) и Г. В. Рихман (1711—1753). Результатом этих исследований явилась теория грозового электричества, разработанная Ломоносовым. Несколько позже Ф. Эпинус (1724—1802), с 1757 г. член Российской академии наук, выдвинул гипотезу электрического действия на расстоянии и с ее помощью объяснил открытое Дж. Кантоном (1718—1772) явление электростатической индукции. Кроме того, в своей капитальной работе



Георг Рихман



Шарль Кулон

«Опыт теории электричества и магнетизма» Эпинус спорит с Гильбертом, указывая, что между электрическими и магнитными явлениями сходства больше, чем различия. В эти же годы появляется первый прибор, позволяющий оценить величину электрического заряда — электроскоп, в разработке которого участвовали независимо друг от друга французский ученый Ж. Нолле (1700—1770), русский физик Рихман и другие исследователи.

Закончить перечисление открытий указанного периода можно фактом установления количественного закона взаимодействия электрических зарядов. Изучая законы кручения нитей и проволок, французский ученый Ш. О. Кулон (1736—1806) в 1784 г. нашел, что упругая сила, возникающая в нити при кручении, пропорциональна углу закручивания и зависит от длины нити, ее диаметра и материала, из которого она изготовлена. Используя обнаруженные им зависимости, Кулон сконструировал и изготовил установку, получившую впоследствии название крутильных весов. С помощью крутильных весов Кулон приходит к открытию количественного закона взаимодействия электрических зарядов, известного в настоящее время как закон Кулона.

Далее начинается качественно новый этап в разви-



Луиджи Гальвани

тии учения об электричестве, в результате которого человечество пришло к возможности практического использования электрической энергии.

ГАЛЬВАНИ И ВОЛЬТА

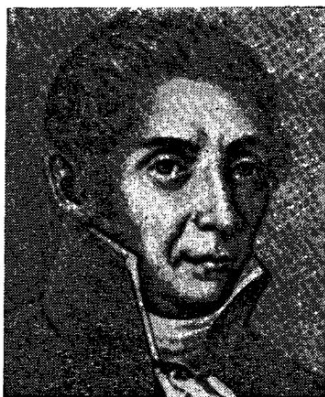
В 1790 г. итальянский ученый Л. Гальвани (1737—1798), медик по образованию, экспериментируя с мышцами лягушки, заметил, что сокращение мышц происходит в момент разряда электрической машины, имеющейся в его лаборатории. Он установил, что со-

кращение мышцы происходит и без разряда и опубликовал результаты своих экспериментов в книге «Трактат о силах электричества при мышечном движении», вышедшей в 1791 г. Гальвани сообщал: «Когда я перенес лягушку в комнату и положил на железную дощечку и когда я прижал медный крючок, который был продет через спинной нерв, к дощечке, те же спазматические содрогания были налицо. Я производил опыты с, разными металлами в различные часы дня в разных местах — результаты были одни и те же, разница была в том, что содрогания были более сильные при одних металлах, чем при других.

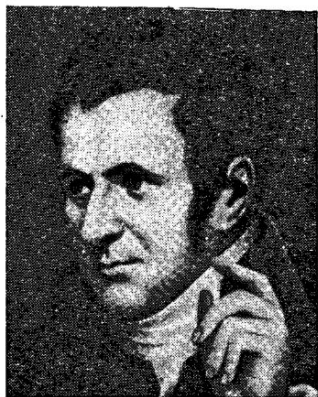
Затем я испытывал различные тела, которые не являются проводниками электричества, например, стекло, смолу, резину, камень и сухое дерево. Явления не было. Это было несколько неожиданно и заставило меня предположить, что электричество находится внутри животного».

Из ясных, вполне однозначных опытов Гальвани сделал неправильные выводы. Он считал, что источником электричества в наблюдаемом им явлении служит мышца. Это отразилось и в названии открытого им феномена — «животное электричество».

Ознакомившись с описанием опытов своего соотечественника, А. Вольта (1745—1827) повторил их, постепенно отходя от несущественного. Результаты многочис-



Алессандро Вольты



Гемфри Дэви

ленных экспериментов привели исследователя к очень важным выводам. Так, Вольты убедился, что ответственными за появление электричества оказываются металлы различной природы, которые замыкаются жидкостью, содержащейся в мышце лягушки. В подтверждение этого Вольты провел опыт с двумя различными металлами, используя вместо мышц воду или слабый раствор кислоты. Эффект не только проявился, но и заметно усилился. В письме от 10 февраля 1794 г., адресованном аббату А. М. Вассали, занимавшему должность профессора физики в Туринском университете, Вольты пишет: «Что касается меня, то я давно убежден, что все действие возникает вследствие прикосновения металлов к какому-нибудь влажному телу или к самой воде. В силу такого соприкосновения, электрический флюид гонится в это влажное тело или в воду от самих металлов, от одного больше, от другого меньше (больше всего от цинка, меньше всего от серебра)». Отвлекаясь от идеи «животного электричества», которую так горячо и не без некоторого основания отстаивал Гальвани, Вольты приходит к конструкции первого источника тока, источника электрической энергии, названного современниками «вольтовым столбом».

20 марта 1800 г. Вольты в письме президенту Лондонского Королевского общества сэру И. Бэнксу пишет, что им создан прибор, «который по своим действиям,

то есть по сотрясению, испытываемому рукой и т. п., сходен с лейденской банкой, или, еще лучше, со слабо заряженной батареей, но который, однако, действует непрерывно, то есть его заряд после каждого разряда восстанавливается сам собой; одним словом, этот прибор создает неуничтожаемый заряд, дает непрерывный импульс электрическому флюиду».

Значение этого открытия Вольта часто сравнивают по его последствиям с запуском ядерного реактора, который был осуществлен 142 года спустя. Из рук Вольта ученые получили источник электрической энергии, который давал возможность проводить систематические исследования в области электричества. Дешевизна и доступность в изготовлении элементов Вольта способствовали вовлечению в электрические исследования еще большего количества ученых, что не замедлило сказаться и на количестве научных сообщений в этой области знаний. Далее приведем только краткий перечень важнейших исследований в области электричества, вызванных открытием Вольта.

ОТ ВОЛЬТА ДО ОМА

В 1801 г. английские экспериментаторы Э. Карлейль (1768—1840) и У. Никольсон (1753—1815), ознакомившись с письмом Вольта еще до официального прочтения его членам Королевского общества, изготовили батарею элементов (согласно описанию Вольта) и с ее помощью впервые осуществили разложение воды. Опыты по разложению воды и других жидкостей были проведены по более широкой программе Г. Дэви (1778—1829) в Англии, И. Риттером (1776—1810) в Германии, В. В. Петровым (1761—1834) в России, Г. Х. Эрстедом (1777—1851) в Дании.

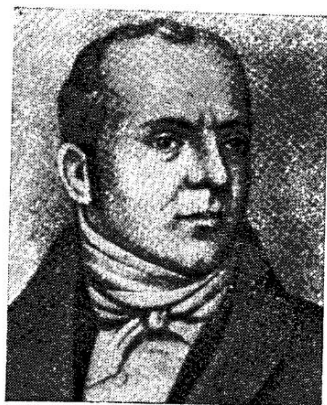
Изучая действие вольтова столба, Петров установил, что его эффективность зависит не только от числа пластин и их размеров, но и от внешней части цепи. Он еще в 1801 г. указывал, что действие, производимое столбом, уменьшается с увеличением длины замыкающей проволоки и увеличивается с увеличением ее сечения. В 1803 г. в России вышла из печати монография Петрова «Известия о Гальвани-Вольтовых опытах», в которой было дано подробное описание экспериментов,

осуществленных им с помощью «огромной наипаче батареи, состоящей иногда из 4200 медных и цинковых кружков». В этой работе Петров описывает свои исследования по электропроводности жидкостей и первым из ученых, работавших в области электричества, вводит термин «сопротивление».

Самым важным в этой работе является открытие Петровым электрической дуги. «Если на стеклянную плитку или на скамеечку со стеклянными ножками,— пишет по этому поводу Петров,— будут положены два или три древесных угля, способные для произведения светоносных явлений посредством Гальвани-Вольтовой жидкости, и если потом металлическими изолированными направителями (*directores*), сообщенными с обоими полюсами огромной батареи, приближать оные один к другому на расстояние от одной до трех линий, то является между ними весьма яркий белого цвета свет или пламя, от которого оные угли скорее или медлительнее загораются и от которого темный покой довольно ясно освещен быть может». Электрическая дуга, впервые полученная Петровым, представляла собой источник не только мощного света, но и высокой температуры, что было очень важно для металлургии.

В 1810 г. Дэви, не зная об исследованиях русского физика, выполнил опыты с батареей из 2000 элементов и пришел к тем же результатам, что и Петров в 1801—1803 гг. Экспериментируя далее с электрической дугой, Дэви заметил, что пламя дуги отклоняется магнитом, предвосхитив тем самым открытие Эрстедом связи электричества и магнетизма. Чрезвычайно интересны опыты Дэви по исследованию электрических цепей. Опыты поражают оригинальностью подхода к раскрытию тайн природы.

Еще Риттер заметил, что различные металлы по-разному проводят электричество. Однако он не сумел количественно оценить электропроводность металлов в связи с тем, что приборы для соответствующих измерений еще не были созданы. Дэви первому из ученых удалось определить проводимость металлов, которая оценивалась по скорости накаливания проволок из этих металлов, замыкающих полюса гальванической батареи. В дальнейших опытах Дэви использовал тот факт, что процесс разложения воды начинается при строго



Ганс Эрстед

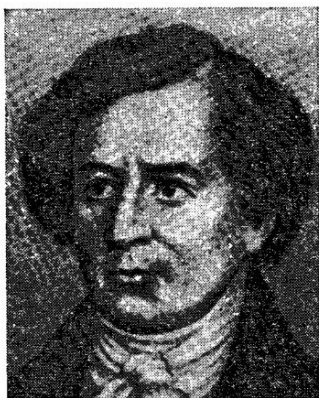
определенном значении напряжения. В электрическую цепь параллельно установке для разложения воды он включал испытуемые проводники. Уменьшая длину проводника, он замечал, при каком ее значении прекращается разложение воды. В результате этих исследований ему удалось установить, что 1 дюйм платиновой проволоки, 6 дюймов серебряной, 5,5 медной, 4 золотой, 3,8 свинцовой, 0,9 проволоки из палладия и 0,9 дюйма железной проволоки имеют одинаковое сопротивление. В

этих же экспериментах он указал на существование обратной пропорциональности между сопротивлением проводника и его поперечным сечением.

21 июля 1820 г. в Копенгагене на латинском языке выходит статья датского физика Г. Х. Эрстеда, содержащая описание опытов, благодаря которым ему удалось установить связь между электричеством и магнетизмом, которую так категорически отрицал Гильберт. «Основной вывод из этих опытов, — пишет Эрстед, — состоит в том, что магнитная стрелка отклоняется от своего положения равновесия под действием вольтаического аппарата и что этот эффект проявляется, когда контур замкнут, и он не проявляется, когда контур разомкнут». Кроме этого, Эрстедом была установлена пропорциональность между интенсивностью движущегося электричества (силой тока. — В. К.) и углом отклонения магнитной стрелки.

Понимая важность своего открытия, Эрстед разослал отдельные оттиски своей работы всем крупным физикам, во все научные учреждения. Результат этой акции не заставил себя долго ждать: интерес, который ученые проявили к опытам Эрстеда, был беспримерным.

Спустя всего лишь несколько дней после выхода из печати этой работы Эрстеда швейцарский физик Ш. Г. Де ля Рив (1770—1834) продемонстрировал перед участниками съезда естествоиспытателей и врачей, про-



Доминик Араго



Андре Ампер

ходившего в Женеве, опыты, описанные датчанином. Французский физик Д. Ф. Араго (1786—1852), присутствовавший на этом съезде, тотчас же по возвращении во Францию на заседании Академии наук 4 сентября 1820 г. сделал сообщение о важнейшем открытии в области электричества, а через неделю, 11 сентября, перед той же аудиторией Араго по просьбе академиков воспроизвел опыты, поставленные Эрстедом. Еще через неделю, 18 сентября, член Академии математик А. М. Ампер (1775—1836), присутствовавший на предыдущих заседаниях, сообщил своим коллегам об установлении им «правила пловца» для определения направления отклонения магнитной стрелки током и о своем открытии пондеромоторного взаимодействия токов, которое он назвал электродинамическим. На очередном заседании Академии 25 сентября Ампер доложил об установлении им количественного выражения закона взаимодействия токов (закон Ампера) и показал ряд разработанных им экспериментов по взаимодействию токов. На следующем заседании он сообщил о том, что свободно подвешенный соленоид с током в магнитном поле Земли ориентируется также, как и магнитная стрелка. На этом же заседании коллеги Ампера Ж. Б. Био (1774—1862) и Ф. Савар (1791—1841) доложили о результатах своих опытов по установлению закона действия прямого проводника с током на магнитную стрелку. Эти поиски были удачно завершены

после того, как член этой же Академии П. С. Лаплас (1749—1827) поделился с экспериментаторами некоторыми математическими соображениями.

Весь этот поток исследований, которые представляют собой фундамент классической электродинамики, вызвала небольшая по объему работа Эрстеда. Однако значение работы Эрстеда для дальнейшего развития учения об электричестве этим не ограничилось.

Дело в том, что для исследования электрических цепей были совершенно необходимы электроизмерительные приборы, но в описываемое время их не существовало и неизвестно было, как подойти к их конструированию. Теперь же, используя открытие Эрстеда, о силе тока в цепи стало возможным судить по углу, на который отклонялась магнитная стрелка, расположенная около проводника с током.

Следующий шаг на пути создания электроизмерительных приборов был сделан Лапласом. Он высказал предположение, что увеличения угла отклонения магнитной стрелки можно добиться, если изогнуть проводник с током так, чтобы он проходил снизу и сверху магнитной стрелки. Это высказывание Лапласа было услышано: им воспользовался немецкий исследователь И. Швейггер (1779—1857), который в сентябре 1820 г. сконструировал и построил первый электроизмерительный прибор, названный впоследствии мультипликатором. Прибор представлял собой несколько витков проволоки, расположенных определенным образом. В центре одной из петель помещалась магнитная стрелка. Если под действием некоторого тока в прямом проводнике стрелка отклонялась на угол 30° , то эта же

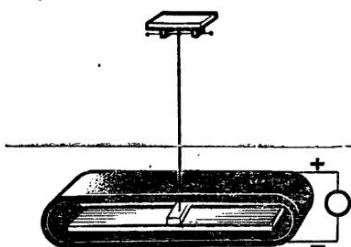


Рис. 1. Мультипликатор (одна из моделей).

стрелка, внесенная в центр тройной петли, по которой проходил такой же ток, отклонялась на угол 90° . При внесении стрелки в другие витки этого же устройства поворот стрелки происходил в противоположном направлении вследствие другого направления тока.

Немецкий физик и издатель научных журналов И. Х. Поггендорф (1796—1877) усовершенствовал прибор Швейггера, свернув изолированную шелком проволоку в круговые витки. Намотка имела минимальный радиус, достаточный для того, чтобы магнитная стрелка могла поворачиваться внутри нее (рис. 1). Чувствительность мультипликатора Швейггера—Поггендорфа определялась до некоторого предела числом витков проволоки.

В 1821 г., используя мультипликатор Швейггера — Поггендорфа, прибалтийский физик Т. И. Зеебек (1770—1831) открыл термоэлектрический эффект, заключающийся в том, что в электрической цепи, составленной двумя последовательно соединенными проводниками из разного материала, возникает возбуждающая сила (ЭДС.— В. К.), если контакты между этими проводниками находятся при различной температуре. Величина электродвижущей силы пропорциональна разности температур контактов.

Наступило время для установления количественных связей, характеризующих процесс протекания электрического тока.

Прежде всего необходимо было выбрать величины, подлежащие измерению. Однако в начале 20-х годов XIX в. такие понятия, как напряжение, падение напряжения, сопротивление проводников, еще не укрепились в физике или не существовали совсем. Следствием неопределенности величин, характеризующих процесс протекания тока в цепи, было, как уже указывалось, отсутствие приборов для их измерения. Не был известен и механизм работы гальванических и термоэлектрических элементов. Разные токи по-разному нагревали проводники, что сказывалось на их сопротивлении. Несмотря на неоднократные попытки экспериментаторов найти соотношение между величинами, характеризующими ток (Беккерель, Дэви, Барлоу, Петров, Марианини), задача не поддавалась разрешению.

Только благодаря упорству, настойчивости, физической интуиции, уверенности в своих силах и той тщательности, с которой он проводил эксперименты, Ому удалось в конце концов преодолеть все препятствия и установить основной закон электрических цепей, справедливо названный его именем.

ДЕТСТВО И ЮНОСТЬ

Георг Симон Ом родился 16 марта 1789 г.¹ в Эрлангене, в семье потомственного слесаря. Слесарем при католическом соборе в Вестерхольте (Вестфалия) работал его прадед Вильгельм Ом; его дед — странствующий слесарь-подмастерье, прибыл в Баварию, где наконец-то нашел постоянную работу по своей специальности при Эрлангенском университете. Отец Ома — Иоганн Вольфганг Ом, продолжил ремесло своих предков.

Еще ребенком Иоганн присматривался к работе отца и по мере сил помогал ему в несложных операциях. Читать, писать и считать он научился рано, правда, до последних дней дела с правописанием обстояли у него неважно. Продолжение образования было делом случая.

¹ Во многих советских и зарубежных изданиях год рождения Ома указывается ошибочно — 1787. Один из биографов Ома, Л. Гартман, в составленной им книге документов, касающихся жизни и научной деятельности ученого, приводит выписку из регистрационной книги церковной общины г. Эрлангена, датированную 18 марта 1789 г.: «Иоганн Симон — сын слесаря Иоганна Вольфганга Ома и его жены, Марии Елизаветы, урожденной Беккин, родился 16 марта 1789 г. в 3 часа дня...» Далее Гартман указывает, что через некоторое время имя «Иоганн» было заменено на «Георг». Эту же дату указывает в своей книге, посвященной ученому, его внучатый племянник Р. Фюхтбауер. Эта ошибка относительно даты рождения ученого привела к тому, что 150-летие со дня его рождения было отмечено общественностью не в 1939, а в 1937 г.

У слесаря квартировал студент богословского факультета местного университета. И вот этот юноша изъявил желание воскресными вечерами заниматься с Иоганном. Так как религия в доме Омов занимала и без того надлежащее место, было решено, что студент-теолог будет изучать с сыном хозяина арифметику и геометрию. Слесарь, сам хотя и не имел достаточного образования, но понимал, что знания в области математики могут оказаться полезными в их деле. Насколько эффективными были занятия Иоганна с теологом,— неизвестно, но важен сам факт: студент дал первый толчок в направлении изучения точных наук.

В книге записей эрлангенской гильдии слесарей сообщается, что 18 июля 1773 г. семнадцатилетний Иоганн Вольфганг Ом был посвящен в ученики слесаря, чему предшествовали все шуточные и подчас унижительные процедуры, соответствующие обычаям гильдии. Факт посвящения в ученики важен скорее юридически, так как Иоганн продолжал по-прежнему работать у отца и выполнять все его поручения.

Однако через два года пора ученичества закончилась, и после шестинедельного путешествия в Ансбах и полугодового периода, проведенного в родном доме, что соответствовало уставу гильдии, он 3 апреля 1776 г. становится подмастерьем. Для получения звания мастера он, как того требовал обычай, должен был совершенствовать свое мастерство в других городах и «в среду перед пасхой отправился на чужбину».

Разлука с родным домом длилась девять лет. Вначале он пробовал свои силы в Мангейме, затем в Лейпциге; последние шесть лет проработал в Берлине, где окончательно сложился как мастер.

Одновременно с приобретением профессиональных навыков Иоганн посещал в Берлине школу технического рисования, причем не безрезультатно. В музее Мюнхена и у частных лиц сохранились его чертежи и рисунки, которые подтверждают это. В свободные часы он неизменно обращался к учебникам математики, черпая в них ту премудрость, которая пригодилась ему впоследствии.

Однако, несмотря на приобретенное мастерство, его положение в обществе не изменилось. Он все еще подмастерье, хотя и достиг уже тридцатилетия. Не имея

постоянного местожительства и постоянной работы, он не мог создать и семью. Для устройства в жизни ему нужно было возвращаться в Эрланген и ходатайствовать перед городским управлением о разрешении на самостоятельную работу в должности мастера. Иоганн так и сделал; в 1785 г. он возвратился в родной город и 28 января 1785 г. получил разрешение на открытие собственного дела. Это был первый шаг в самостоятельную жизнь. Вторым шагом была женитьба на дочери эрлангенского кузнеца Марии Елизавете Беккин, которая состоялась 24 января 1786 г.

Несмотря на удачный выбор спутницы, жизнь Ома была переполнена страданиями и горем. Всего тринадцать лет прожили супруги: 29 августа 1799 г. Мария Елизавета скончалась при родах. Из семи его детей выжили только трое. Старшему, Георгу, в это время было 10 лет, Мартину — 7, а самой младшей Барбаре было всего 5 лет.

Иоганн тяжело переживал потерю. Он с глубокой любовью и уважением всю жизнь вспоминал о жене, называя ее лучшей и нежнейшей из матерей. Но нужно было держаться, воспитывать оставшихся в живых детей.

Условия жизни тех лет во многом определялись политической обстановкой, которая не благоприятствовала мелким ремесленникам, к числу которых принадлежал и Иоганн Ом. Германия того времени представляла собой политически раздробленную и экономически отсталую страну. Феодальный строй тормозил ее развитие, постоянные местнические распри и войны еще больше отягощали ее экономическое состояние. Крестьяне были задавлены налогом, измучены барщиной. Не лучше были и условия цеховых ремесленников. В кругах эксплуатируемых масс зрело недовольство, которое в 1789 г. переросло в крестьянское восстание. Искрой, от которой вспыхнуло пламя народных волнений, стала весть о французской революции. Лозунги французских борцов за свободу всколыхнули не только крестьян: волнения вспыхнули и в рядах ремесленников. Немецкая интеллигенция была всецело на стороне угнетенных и выступала против феодальных порядков. Свободолюбивые немцы вступали в ряды защитников французской революции.

В надежде укрепить свое шаткое положение и удержать ряд ранее аннексированных у Франции владений немецкие князья организовали в 1792 г. поход против соседней страны, который закончился их полным поражением. Французские войска, вступившие на землю германских княжеств, были встречены угнетенным классом с ликованием, как освободители от феодального гнета. Но народ не долго жил в ожидании свободы. Не дождавшись осуществления своих надежд, выступили ремесленники Нижней Силезии. В марте 1793 г. начались выступления силезских ткачей. Германия вступила в свой самый беспокойный период.

Несмотря на ряд сепаратных договоров, положение страны оставалось тревожным. Еще больший упадок экономики Германии наблюдается с приходом к власти Наполеона. Успешные боевые действия французских войск позволили Наполеону утвердить господство Франции и перекраивать карту покоренной им части Европы по своему усмотрению.

Если раньше народ грабили только соотечественники, то теперь к ним присоединились французские оккупанты. Чтобы освободиться от зависимости французов, необходимо было объединение Германии, так как разрозненные выступления против Наполеона, плохо организованные и наспех подготовленные, заканчивались поражением. Только после победы России над французами немецкий народ смог освободиться от иноземного ига.

После полного поражения Наполеона в Вене собрался конгресс стран-победительниц, с тем чтобы снова перекроить границы побежденных государств. По решению конгресса был создан союз, объединяющий 34 немецких княжества и 4 вольных города. Королевские титулы, выданные Наполеоном правителям Баварии, Саксонии и Вюртемберга за поддержку и верную службу, были сохранены конгрессом.

Вновь созданные княжества и королевства приняли конституцию, но по-прежнему вся власть была сосредоточена в руках монархов и за прочностью этой власти строго следили чиновники, назначаемые ими. По-прежнему церковь пользовалась огромным влиянием и с большим размахом вела работу на идеологическом фронте. Вращенные и взлелеянные ею философы с

одобрения правителей и их министров разрабатывали вопросы идеологии, суть которой представляла собой смесь религии и беспрекословного подчинения монарху. Все, мыслящие не так, как предписывала государственная мораль, подвергались резкой критике, травле и даже физическому уничтожению. Основным принципом назначения на государственные посты и раздачи государственных должностей был протекционизм и полное признание государственных догматов. Личные заслуги в счет не шли. Человек, далекий от политических спекуляций, не мог рассчитывать на карьеру. Низшие слои германских княжеств — ремесленники и крестьяне, не играли никакой роли в политической жизни страны. При сложившейся обстановке они видели цель своей жизни только в том, чтобы прокормить себя и свою семью.

Нетрудно представить материальное положение и уровень жизни семьи Иоганна Вольфганга Ома, далекого от политики, получившего в наследство золотые руки, но не имевшего ни золотых слитков, ни замков, ни поместий. Чтобы как-то сводить концы с концами, приходилось ежедневно с раннего утра до позднего вечера заниматься выполнением заказов на кузнечно-слесарные работы.

Похоронив жену, отец Ома все свободное время посвятил воспитанию детей. Роль отца в воспитании и образовании детей была огромной и, пожалуй, всем тем, чего добились его сыновья в жизни, они обязаны отцу. Это признавал впоследствии и Георг — будущий профессор физики — и Мартин, еще раньше ставший профессором математики. Отец передал сыновьям не только знания и опыт работы с металлом, что пригодилось потом Георгу при изготовлении приборов и устройств для научных исследований, но и свою настойчивость в достижении цели, работоспособность и веру в справедливость.

Внешний облик отца будущего ученого можно представить по барельефу, созданному на памятнике Георга Ома в Мюнхене (рис. 2). Перед нами предстает мужчина крупного телосложения, в рабочей одежде, рукава блузы засучены, как-будто он только что оторвался от работы, чтобы передать сыну секреты своего мастерства, унаследованного от дедов. Поза отца располагает

к доброжелательной беседе. И в фигуре, и в лице просматриваются черты сильного волевого человека. Умный спокойный взгляд, деловитость, серьезность — таким и был отец будущего ученого.

Отец знал, что в условиях Эрлангена его дети не смогут получить достаточную подготовку для поступления в университет. О том, что собой представляла городская начальная школа того времени, подробно рассказал в автобиографии младший сын слесаря, Мартин Ом.

Город с населением в 10 000 человек имел только четыре начальные школы. Плата за обучение была высокой, а качество преподавания никак не соответствовало его стоимости. Школьное помещение состояло из двух комнат. Та, что побольше, была предназначена для учащихся от 7 до 11—13 лет. Ученики располагались по разные стороны от преподавателя, который возвышался на кафедре, находившейся в середине комнаты. Одна группа учеников читала библию, другая переписывала упражнения, третья отвечала на вопросы преподавателя, который успевал в это же время делать замечания и давать указания каждой из групп, соответствующих разному уровню знаний. Вторая крохотная комнатка с одним окном была выделена для тех, кто еще читал только по слогам или даже разучивал буквы. Занятия с начинающими вела дочь учителя. Основным пособием этой группы были букварь и лютеранский катехизис.

Учитель не имел специального образования. В прошлом чулочник, он оставил свое ремесло, которое не смогло его прокормить, и занялся преподаванием.



Рис. 2. Барельеф на памятнике Г. С. Ому.

Правда, пишет Мартин, бывший ремесленник имел очень красивый почерк, прекрасно решал арифметические задачи и вообще был знающим и всем интересующимся человеком. Добросовестно исполняя свои обязанности, он вдавливал в детские головы всю ту ученую премудрость, которая была необходима для дальнейшего продолжения обучения.

После окончания школы Георг, как и большинство его сверстников, поступил в городскую гимназию. Гимназия Эрлангена курировалась университетом и представляла собой учебное заведение, соответствующее тому времени. Занятия в гимназии вели четыре профессора, рекомендованные администрацией университета. В помощь профессорскому составу выделялись дьякон местной церкви и 2—3 студента университета. В дополнение к этому персоналу в гимназии работали внештатные преподаватели черчения и французского языка. В тех случаях, когда кто-то из преподавателей не мог проводить занятия или штат не был укомплектован, классы объединялись. Основной упор в преподавании делался на латынь и греческий язык; спрашивали эти предметы строго. История же, география и математика преподавались всего два часа в неделю, а физику в старших классах гимназии совсем не изучали. Частая смена преподавателей, особенно сотрудничавших студентов, сводила на нет те успехи, которых с трудом добивалась от гимназистов выбранная профессура. Математика представляла, если можно так сказать, весьма беглый курс: алгебру не изучали вообще, а из геометрии учащиеся только в последние месяцы обучения узнавали о теореме Пифагора, что было необходимо для того, чтобы блеснуть перед представителями городских властей во время экзаменов. Да и что было ожидать другого, если в роли преподавателя математики подвизался за отсутствием специалиста местный дьякон. В силу необходимости он вынужден был нести этот тяжкий для него крест. Прежде чем рассказать что-либо учащимся из геометрии Эвклида, он должен был сам разобраться в этом материале, выучить его и объяснить учащимся, что не всегда проходило с успехом. Правда, в младших классах преподавали геометрическое черчение и учащиеся получали навыки пользования циркулем и линейкой, но всего этого было мало, чтобы говорить об

удовлетворительном преподавании математики в гимназии. Выпускники гимназии обязаны были знать латынь, историю религии, иметь красивый почерк и удовлетворительную орфографию. Для их дальнейшей работы в области строительства, лесного или почтового дела этого было вполне достаточно.

Но отца будущего ученого ни в коем случае не устраивал тот объем знаний и их глубина, которыми обладали выпускники гимназии. Он чувствовал необходимость серьезных занятий в области математики, физики и философии для своих сыновей с тем, чтобы можно было успешно продолжать обучение в университете. Большой заслугой отца является то, что он сумел приучить своих детей к самостоятельной работе с книгой. Хотя по тем временам книги стоили дорого, приобретение их было частой радостью семьи Омов. С трудом сводя концы с концами в семейном бюджете, Иоганн никогда не жалел денег на книги. Сохранился счет книготорговца Пальма, из которого удалось узнать, какие книги приобретал этот жадный до знаний слесарь. В основном это книги по математике: «Введение в анализ бесконечно малых», «Дифференциальное исчисление» Л. Эйлера и др. Но не только одна математика господствовала в семье Омов. Среди счетов Пальма имеются и упоминания о трудах по истории, географии, философии, педагогике, слесарному делу и др.

Отец не переоценивал своих возможностей: он знал, что одному ему не под силу дать хорошее образование детям, и решил обратиться за помощью к преподавателям Эрлангенского университета. На просьбу самоучки охотно откликнулись профессора Клюбер, Лангсдорф, в будущем экзаменатор Георга, и Роте. Все трое приняли самое душевное участие в судьбе слесаря и его детей. Они не жалели времени и отдавали много сил для повышения образования сыновей Ома, испытывая удовлетворение от их способностей и любознательности. Роте впоследствии сообщал, что во время визитов к Ому он не только передавал знания, но и сам узнавал много нового, беседуя с отцом и детьми. По прошествии многих лет, когда Клюбер был уже государственным советником в Карлсруэ, а Лангсдорф в Гейдельберге, они, бывая в Эрлангене, непременно посещали дом слесаря

и на всю жизнь остались верными советчиками и покровителями его семьи.

По совету Клюбера Иоганн Ом приобрел переведенный с датского языка трехтомный учебник «Элементарной математики» Томаса Бугге. Этот учебник стал первой серьезной книгой по математике для самого Иоганна и для его детей. Книги Бугге, вспоминая впоследствии Георг Ом, явились теми ступеньками для пятнадцатилетнего подростка, которые ввели его в мир математики. За «Элементарной математикой» последовало изучение работ Эйлера. «Интегральное исчисление» Эйлера не было еще переведено на немецкий язык, и Иоганн, не владеющий латынью, вынужден был прибегать к помощи Георга, который был одним из первых в гимназии по этому предмету. Под диктовку сына отец записал перевод этой работы Эйлера главу за главой с тем, чтобы впоследствии по записям изучать ее с сыновьями.

Следует отметить, что изучение математики не ограничивалось стенами комнаты. Отец, следуя принципу «в здоровом теле здоровый дух», в долгие летние вечера, в воскресные и в праздничные дни совершал вместе с детьми прогулки по живописным окрестностям города. Эти прогулки сопровождались решением небольших практических задач. Отец увлекал сыновей землемерными расчетами; они измеряли пашни и вычисляли их площадь, наносили на план схемы дорог и вычисляли их длину. Из подручных материалов отец всегда умел изготовить нехитрый измерительный инструмент. Особенно возбуждены были юные математики, если поле, площадь которого им нужно было определить, имело форму, отличную от прямоугольника.

Во время этих прогулок Иоганн, наряду с расширением математического кругозора детей, раскрывал им красоту окружающей природы. Он учил их различать породы деревьев и кустарников, определять плодородность почв, рассказывал о строении цветов, обращал внимание на необычную раскраску жуков и гусениц. Во время этих маленьких путешествий в природу отец предоставлял полную свободу детям: они резвились, собирали ягоды и с удовольствием слушали рассказы отца, который знал много необычного о природе и делился с детьми своим жизненным опытом.

Эти прогулки способствовали развитию детей, расширяли круг их знаний о природе. На долгие годы Георг и Мартин сохранили впечатления детства и были глубоко благодарны отцу за все, что тот делал для них. Но все-таки самым главным отец считал изучение математики и придавал этому самое большое значение, не жалея ни времени, ни денег, ни собственного здоровья.

О качестве математической подготовки сыновей слесаря известно из письменного свидетельства профессора математики Эрлангенского университета К. Е. Лангсдорфа, который экзаменовал будущего ученого. В протоколе от 25 июня 1804 г. профессор, отдавая дань уважения отцу и восхищаясь его подвигом, пишет о глубоких знаниях Георга: «В течение пятичасовой беседы я проверил его знания по всем важнейшим разделам элементарной математики: арифметике, геометрии, тригонометрии, статике и механике, а также выяснил его знания в области высшей геометрии и математического анализа. На все мои вопросы я получал быстрые и точные ответы. Почти убежден, что оба брата из этой семьи станут не менее знамениты, чем братья Бернулли; обладая таким усердием и имея такой талант, они обогатят науку, если найдут соответствующие внимание и поддержку».

Этот благоприятный отзыв означал зачисление Георга в университет и, успешно закончив гимназию, весной 1805 г. он приступил к изучению математики, физики и философии на философском факультете Эрлангенского университета.

Нетрудно представить, что солидная подготовка под наблюдением и при активном участии отца, незаурядные способности Георга благоприятствовали тому, что обучение в университете шло легко и гладко. Характер у него был общительный; его оптимизм и юношеский задор благоприятно действовали на окружающих. Да и трудно быть иным, имея за плечами неполных семнадцать лет, а на плечах — светлую голову.

В университете Ом всерьез увлекся спортом и отдавал ему все свободное время. Он был лучшим бильярдистом среди студенческой молодежи университета; среди конькобежцев ему не было равных. На студенче-

ских вечеринках никто не мог соревноваться с лихим плясуном, каким был Ом.

Однако все эти увлечения требовали очень много времени, которого все меньше оставалось для изучения университетских дисциплин. Чрезмерные увлечения Георга вызывали тревогу у отца, которому все труднее приходилось содержать семью. Между отцом и сыном произошел очень крупный разговор, который надолго испортил их взаимоотношения. Конечно, Георг понимал справедливость отцовского гнева и некоторую резкость упреков и, проучившись три семестра, к общему удовлетворению обеих сторон принял приглашение занять место учителя математики в частной школе швейцарского городка Готтштадта. В сентябре 1806 г. через Ансбах, Галле, Нейштадт на Линде, Карлсруэ, Базель он прибыл в Готтштадт, где и началась его самостоятельная жизнь вдали от семьи, от родины.

НАЧАЛО ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Поездка к месту работы была для Ома увлекательным путешествием. Его врожденная любознательность не знает предела. Он посещает картинные галереи, промышленные предприятия, интересуется историей, тех городов, через которые проходит его маршрут. Первое письмо, отправленное им домой 28 сентября 1806 г. из Готтштадта, наполнено юношескими восторгами. С изумлением ребенка описывает он липы, растущие вблизи Нейштадта. Его поражают их размеры: «шесть шагов в поперечнике, ветви длиной около сорока шагов; для того чтобы они не обломились под собственным весом, их поддерживают железными колоннами». С восторгом описывает он вид из окна своей комнаты: «Я думаю, это самое прекрасное место в Швейцарии. Из окна моей комнаты как на ладони видна цепь снежных гор Веттерхорна и Монблана, хотя в действительности до них 20 часов пути, а до Монблана и все 30...»

В первые же дни Георг обследовал окрестности, ознакомился с местными достопримечательностями. Чтобы родные могли лучше понимать все, что он описывает им в письмах, он начертил и раскрасил план окрестностей Готтштадта и выслал отцу. Готтштадт

можно было называть городом с большой натяжкой, так как все его строения состояли из трех зданий: церкви, дома священника и огромного замка бывшего наместника города. Вокруг было расположено несколько деревень; по соседству же находился город Бил и маленькие городки Бюрен и Нидау.

Число учащихся частной школы священника Зеендера не превышало двадцати человек. По замыслу священника их должны были подготовить для работы на государственных и частных предприятиях. В соответствии с этим была составлена и программа. Педагогический персонал представляли четыре преподавателя и чертежник.

Зеендер, кроме дома, предназначенного для священника, занимал купленный им замок и, таким образом, был единственным хозяином города. В первом этаже замка были расположены кабинет директора, столовая и хозяйственные помещения. На втором — комнаты для преподавателей, четыре спальные комнаты для воспитанников и одна учебная комната.

Ому нравилось здесь все. Он расточает восторги, описывая своих будущих воспитанников, с легкостью раздает лестные эпитеты, характеризуя сотрудников, с которыми ему предстоит делить педагогические заботы, и превозносит заслуги директора школы Зеендера. «Как я рад быть среди этих людей!» — заканчивает он свое первое письмо. Полудетские восторги Ома можно понять. Необычная обстановка, начало самостоятельной жизни, первые шаги на педагогическом поприще — эта новизна возбуждала чувства и без того эмоционального юноши. Кроме всего прочего, Ома вдохновляли некоторые практические соображения: помочь отцу в его бедственном положении рассчитаться с долгами, на которые пришлось пойти, собирая сына в дальнее путешествие.

После резкого разговора с сыном по поводу прекращения университетских занятий и отъезда в Швейцарию отец почти год не отвечал на его письма. В двух первых письмах даже обращение «отец» он так жирно зачертил, что ничего нельзя было разобрать, а в третьем и вообще, вырезал, не читая писем. Огорчение и обида отца были очень велики. Позже он объяснял это состояние не гневом отца на непослушное чадо, а круше-

нием всех надежд, который тот возлагал на старшего сына, и сознанием собственного бессилия.

Но хорошие вести постепенно успокоили родителя. Ободряющие отзывы директора школы, хорошая зарплата, серьезность вопросов и рассуждений, которыми были заполнены письма Георга, убедили отца, что сын сделал правильные выводы из семейного конфликта. С 1807 г. между отцом и сыном устанавливается регулярная переписка. В письмах отец и сын делятся своими соображениями по всем важным вопросам, касаясь человечества в целом и современности, обмениваются задачами и решениями из области математики и физики.

Георг не только преподает, но и продолжает заниматься естественными науками. Отец поощряет эти занятия: «Я радуюсь, что ты прилежно изучаешь природу, к которой я отношу математику, физику, химию и философию. Я всей своей жизнью убедился в том, что никто не сможет дать более полных знаний, чем сама природа».

Большое внимание отец уделял и педагогическому мастерству. Он постоянно подбадривал сына и давал ему советы, основываясь на собственном жизненном опыте. Главная мечта отца — не допустить остановки сына на жизненном пути, не дать ему успокоиться на достигнутом. «Передавать знания человечеству — это большое искусство, — пишет отец в письме от 1 октября 1809 г., — но еще большее искусство учить самого себя». Эта мысль отца, по-видимому, глубоко запала в душу молодого учителя и вызвала внутреннее неудовлетворение существующим положением вещей. Это заметно по тону и содержанию его писем. Со временем эмоции все реже и реже встречаются в его сообщениях. Первые восторги улеглись. Будни с их однообразием начинают тяготить Георга. Он готов оставить работу, для того чтобы продолжить обучение в университете, и сообщает об этом отцу.

В этот год его мечте так и не суждено было осуществиться. Отец, описывая положение в городе, с горечью сообщает старшему сыну о невозможности и несвоевременности этого шага. Отец был бы рад приезду сына, но обстоятельства того времени не способствовали их встрече. Наполеоновские солдаты хозяйничали в городе.

Постои солдат, постоянные реквизиции и поборы разоряли и без того бедных ремесленников. Университет представлял собой жалкое подобие высшего учебного заведения; приема новых студентов не было уже несколько лет и мечты молодого учителя были напрасны. Да и бросать хорошо оплачиваемое место было неразумно в то время, когда, как писал Мартин, в семье не хватало денег на хлеб и на почтовые расходы.

Но в 1809 г. Георгу Ому все-таки пришлось оставить преподавание в Готтштадте, правда, не по своей воле: неожиданно к священнику возвратился на постоянное жительство его сын, математик по специальности. Георгу было предложено освободить место и принять приглашение на должность преподавателя математики в город Нейштадт. Другого выхода не было, и к рождеству он перебрался на новое место.

Мечта закончить университет не покидает Ома. Он перебирает все возможные варианты, способствующие осуществлению его желаний, и делится своими мыслями с Лангсдорфом, который в это время работал в Геттингенском университете. Профессор категорически советовал Ому бросать педагогическую деятельность и, зная его способности к самостоятельной работе, настойчиво рекомендует ему вплотную заняться изучением оригинальных трудов выдающихся ученых: Эйлера, Лапласа и др. Ом прислушивается к совету профессора и полностью отдается изучению работ, рекомендованных Лангсдорфом.

Однако Ом тяжело переживает оторванность от дома, от родины и, не выдержав одиночества, в 1811 г. возвращается в Эрланген. Советы Лангсдорфа не пропали даром: самостоятельные занятия Ома были настолько плодотворными, что он уже в этом году смог закончить университет, успешно защитить диссертацию и получить степень доктора философии. Сразу же по окончании университета ему была предложена должность приват-доцента кафедры математики этого же университета.

Преподавательская работа вполне соответствовала желаниям и способностям Ома. Но, проработав всего три семестра, он по материальным соображениям, которые почти всю жизнь преследовали его, вынужден был подыскивать более оплачиваемую должность.

С этого времени начинается черная полоса в жизни будущего ученого, которая затянулась почти до последних лет его жизни. Как пишет один из биографов Ома, начинается первый акт трагедии, которая затем в 1827 г. найдет свое продолжение.

Уроженец Эрлангена И. С. Швейгтер, в будущем друг и издатель Ома, с 1803 г. занимал должность профессора физики и математики в гимназии Байрета. В 1811 г. он был приглашен на ту же должность в реальное училище Нюрнберга. Узнав об этом, Ом начал хлопотать перед администрацией, ведавшей вопросами преподавания, добиваясь этой вакансии. В письме генерал-комиссариату Баварского королевства от 11 ноября 1811 г. он излагает просьбу включить его в число претендентов на освободившееся место, мотивируя свою просьбу желанием «отдать свои силы и способности родине, а не растрачивать то и другое на чужбине». Но все было напрасно: Ом получил ничем не обоснованный отказ.

Однако будущий ученый не падает духом. Он снова пишет письмо, теперь уже в отдел школ Баварского королевства, в котором излагает свою просьбу о должности, соответствующей его знаниям и опыту. На этот раз судьба оказалась к нему благосклонной. Отдел школ переслал это письмо проректору Эрлангенского университета А. Ф. Поссе и запросил у него отзыв об Оме как педагоге. Поссе знал Ома по отзывам Лангсдорфа, знал о заслугах отца в его математической подготовке, слышал благоприятные отзывы преподавателей и студентов Эрлангенского университета, с которыми он работал, и блестяще охарактеризовал просителя. Королевским решением от 16 декабря 1812 г. Ом был назначен учителем математики и физики школы в Бамберге и 2 января 1813 г. после рождественских каникул приступил к работе.

Новое место оказалось не столь удачным, как того ожидал Ом. Небольшое жалованье, к тому же выплачиваемое нерегулярно, не соответствовало объему возложенных на него обязанностей. Но не это, вернее, не только это было главным. Более всего Ома угнетало и приводило в отчаяние состояние школы, методика преподавания в ней и, как следствие, низкое качество знаний учащихся. Присмотревшись к здешним порядкам,

Ом сообщает свои впечатления в Генеральный комиссариат. Указывая на недостатки, Ом одновременно предлагает ряд конкретных мер по их устранению и настаивает на реорганизации всей системы преподавания. Правительство весьма своеобразно отреагировало на письмо Ома: 17 февраля 1816 г. реальная школа в Бамберге была закрыта. Учителю математики предложили за ту же плату проводить занятия в переполненных классах местной подготовительной школы. Эта работа была еще более тягостна Ому: в его классах были собраны ученики, от которых отказались все преподаватели из-за отсутствия у школьников способностей, однако тщеславные родители желали во что бы то ни стало пристроить своих детей в университеты. Необходимо было в короткие сроки научить их разбираться в лабиринте теорем, аксиом и математических формул.

Здесь нужны были огромное терпение и выдержка и, хотя Ом обладал этими качествами, отдача была невелика, что беспокоило и расстраивало учителя. Он снова и снова обращается к администрации, ведавшей вопросами образования, с просьбой о другой работе. Но все его обращения или оставались без ответа, или ответы, полученные им, были столь уклончивы и неконкретны, что у любого на месте Ома опустились бы руки. У любого, но не у Ома.

Ом пишет не только прошения. Весной 1817 г. он публикует свою первую печатную работу, посвященную методике преподавания. Работа называлась «Наиболее оптимальный вариант преподавания геометрии в подготовительных классах». Во введении к этой работе Ом пишет о значении геометрии: «Среди других важных предметов геометрия занимает наиболее почетное место. Объект ее изучения воздействует как на чувства, так и на способности логически мыслить, что облегчает переход от созерцания к мышлению; ее чрезвычайно простое и разумное построение способствует переходу обучаемого из области восприятий в область продуктивного исследования».

В этой работе Ом осуждает холодное формальное преподавание математических дисциплин и предлагает заменить его живым и свободным с использованием новых разработанных им приемов. Самым важным Ом

считает не бездумное заучивание теорем геометрии и их доказательств, а развитие в ученике воображения и способности к математическому мышлению.

Работа Ома была встречена весьма холодно. Учителя не проявляли желания перенимать методы, разработанные их коллегой. Но это не обескуражило автора: такова реакция на все новое. Проходит некоторое время, и ряд преподавателей, несмотря на весьма неодобрительный отзыв министерства, начинают использовать разработки Ома. Постепенно круг сторонников Ома расширяется. В 1822 г. то же самое министерство, сотрудники которого считали, что появление работы Ома «ознаменовало гибель всего математического учения», по настоянию кельнской консистории¹, вынуждено было в экстренном порядке выдать автору денежную премию, признав тем самым значительность его работы.

Свою первую работу Ом посвятил отцу в знак признания его заслуг в математическом образовании автора. Экземпляр этой работы Ом посылает королю Баварии опять с просьбой об изменении служебного положения. И на этот раз ответа не последовало. Но Ом не отступает, он буквально атакует административные органы, имеющие отношение к образованию. Письма с приложением экземпляра его работы идут в Баварское министерство внутренних дел, в функции которого входили вопросы преподавательских кадров, в Совет высшей школы, королю Вюртемберга, прусскому королю Фридриху Вильгельму III. Но все его попытки безрезультатны. Ответы приходят, но в одних содержится прямой отказ, в других высказывается недоумение в том, что Ом претендует на должность профессора, тогда как его работа не носит научного характера, а является чисто методической.

Потеряв всякую надежду найти подходящую преподавательскую работу, отчаявшийся доктор философии неожиданно получает предложение занять место учителя математики и физики в иезуитской коллегии Кельна. Он немедленно выезжает к месту будущей работы.

¹ Церковно-административный орган в Германии.

Если в Бамберге Ом был математиком и воспитателем, то в Кельне он — физик и исследователь. Здесь, в Кельне, он проработал девять лет; здесь он «превратился» из математика в физика и здесь в возрасте 37 лет открыл закон электрических цепей, обессмертивший его имя. Но все это впереди, а пока — новое место.

Унижения, невзгоды, отчаяние — все забыто. Ом снова полон веры в будущее, полон творческих замыслов. Снова в нем побеждает оптимист. Он с восторгом отзывается о своей жизни, об условиях работы, о коллегах. Для справедливости следует отметить, что на этот раз его восторги были небезосновательны. Об этом рассказывают коллеги Ома в своих воспоминаниях. Сам он в этот раз воздерживается от выражения эмоций в письмах отцу. Но отец по тону писем чувствует ту благоприятную обстановку, в которой оказался его сын. Ом очень хорошо устроился с жильем. Ему импонировал свободный дух, который царил в коллегии; нравились взаимоотношения между преподавателями. Для Ома и всей его жизни большое значение имел и тот факт, что в коллегии было довольно-таки хорошее собрание физических приборов. И еще, едва ли не самое главное: небольшая педагогическая нагрузка — 18 недельных часов, причем все в послеобеденное время.

Наличие свободного времени способствовало формированию Ома как физика-исследователя. Он с увлечением отдается новой работе, просиживая долгие часы в мастерской коллегии и в хранилище приборов. В первую очередь он разобрал шкафы, чтобы ознакомиться с их содержимым. Если количество приборов и радовало Ома, то их состояние приводило его в уныние. Многие из них требовали ремонта. Необходимо было пополнить хранилище приборами, которые требовались для демонстрационного эксперимента. Нужно было, засучив рукава, браться за дело. Оченьгодились слесарные инструменты, которые он приобрел раньше. Отлично владея ремеслом, он сразу же принимается за дело.

В первую очередь Ом изготавливает весы, обыкновенные и гидростатические. Те и другие имели высокую точность ($1/20000$). В письмах к отцу он регулярно описывает имеющиеся в хранилище приборы, советуется

относительно ремонта некоторых из них, просит проконсультировать по обработке того или иного материала. Так, в одном из писем он приводит подробное описание электростатических машин трения, имеющихся в хранилище. В другом письме он просит сообщить способ шлифовки и полировки янтаря, который ему понадобился в качестве изолятора. Получив от отца нужные сведения, он в короткий срок так научился полировать янтарь, что две пластинки, сложенные вместе, разделить можно было с большим трудом. «Но это стоило мне много пота», — сообщал Ом о полученных им результатах отцу.

Долгое время не удавались опыты с имеющимися в коллегии электрометрами. Но начинающий физик не сдаётся. «Я с удовольствием занимаюсь изготовлением различных электрометров, что доставляет мне немало трудностей, — пишет Ом отцу. — Я хочу, в конце концов, сделать такой прибор, который бы удовлетворял всем моим требованиям». Уже в этом отрывке видна та требовательность, которую Ом предъявлял к приборам. Любое устройство, любой прибор он переделывал десятки раз, пока не получалось того, к чему он стремился. В эти же кельнские годы он изготовил круговую делительную машину¹, точность которой, как он писал об этом брату, превзошла все его ожидания. Все эти факты говорят о том, что преподаватель физики уже созрел для экспериментальных исследований.

Одновременно с работой по конструированию и ремонту приборов Ом продолжает совершенствоваться в физике и математике. Он изучает труды Лагранжа, Лекандре, Лапласа, Пуассона, Био и других ученых. Книготорговец Кельна знает нового физика коллегии как постоянного клиента, приобретающего все, что касается физики и математики. Почти четверть жалованья расходует на книги. В письме от 4 июля 1820 г. Ом сообщает отцу: «Я чувствую, что постепенно приближаюсь к познанию всего того, что в настоящее время известно в физике и математике. Знание современного состояния науки позволит мне более эффективно проводить собственные исследования». Из этого отрывка следует, что уже в 1820 г. у Ома созрела мысль занять-

¹ Круговая делительная машина используется для нанесения шкал на круге или цилиндрической заготовке.

ся самостоятельными исследованиями, менее чем через год он уже указывает и область физики, которой решил себя посвятить. «Я все свое время отдаю изучению недавно открытого явления электромагнетизма,— пишет в 1821 г. Ом в письме к отцу,— и продолжаю внимательно следить за работами, относящимися к этому вопросу». Чутье исследователя улавливает важную проблему в интересующей его отрасли знаний, разрешению которой он мог бы себя посвятить. Проблема гальванического тока была в то время наименее разработана. Ом, как он писал позднее, для своих исследований выбрал такую тему, при разработке которой он меньше всего мог бы опасаться конкуренции. После долгих размышлений Ом формулирует задачу, обсуждает пути ее решения, продумывает в деталях методику эксперимента, изготавливает необходимые приборы и приспособления и приступает к исследованиям, которые в конце концов привели его к славе.

ПЕРВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ

После открытия Вольта электричество стало более доступно не только профессиональным ученым, но и любителям. Изготовление источников тока не составляло труда и в новую область исследований устремились искатели не только истины, но и славы. Сообщения об электрических опытах занимали все больше места в научных журналах того времени.

Чисто качественные исследования уступали место установлению количественных связей. Это с необходимостью следовало из уже сделанного. Известно было, что электростатическая машина дает большую искру, сопровождающуюся сильным треском, и оказывает заметное физиологическое действие. Однако процесс разложения воды с помощью этого устройства длится лишь мгновение. Напротив, элемент Вольта дает малую искру с чуть слышимым треском, оказывает слабое физиологическое действие, но зато процесс разложения воды с помощью этого источника тока продолжается длительное время. Необходимо было как-то различать источники электричества; требовалось введение физи-

ческих величин, характеризующих количество электричества и его интенсивность.

Экспериментаторы пытались решить вопрос о механизме работы источников тока. Было установлено, что элемент Вольта, изготовленный из пластин с большей площадью, лучше нагревает проволоки. Кроме того, было известно, что магнитное действие тока, возбуждаемого гальванической батареей, зависит от материала электродов этой батареи.

Исследователи (Риттер, Фуркруа, Тенар, Дэви) заметили, что проволока, соединяющая полюса источника тока, нагревается. Естественно, возник вопрос: одинаково ли будут нагреваться проволоки, имеющие разную длину и изготовленные из различных материалов? Опыт показал, что скорость и интенсивность накала проволок зависят от металла, из которого они изготовлены. Батареи разряжаются за различное время, если их замыкать проволоками из различных металлов. Появилось понятие электропроводности вещества.

Разрабатывались различные методы, с помощью которых можно было количественно оценить электропроводность металлов. Среди множества методов следует упомянуть сравнение электропроводности по степени накаливания проволок, замыкающих полюса гальванической батареи, и сравнение электропроводности по времени, которое требовалось для полного разряда батареи. После выхода из печати работы Эрстеда были предприняты попытки характеризовать электропроводность углом отклонения магнитной стрелки, помещенной около проводника с током.

Требовался скачок от созерцательного исследования и накопления экспериментального материала к установлению закона, описывающего процесс протекания электрического тока по проводнику. Заслуга в решении всех этих вопросов принадлежит Ому.

Трудностей на пути молодого ученого было много. Нужно было иметь научную смелость и уверенность в своих силах, чтобы браться за решение такой серьезной задачи. Необходимо было прежде всего ввести величины, характеризующие процесс протекания тока в цепи и качество гальванического элемента. Далее, необходимо было изготовить приборы, которые позволяли бы измерять эти величины. И наконец, требовались

ум и интуиция ученого, который смог бы найти закон, связывающий эти величины. Были и другие трудности, о чем будем говорить впоследствии.

В основу своего электроизмерительного прибора Ом положил конструкцию крутильных весов Кулона. Магнитную стрелку подвешивали с помощью металлической проволоки над проводником, расположенным в направлении магнитного меридиана. При включении тока магнитная стрелка отклонялась на некоторый угол, и, чтобы вернуть ее в первоначальное положение, Ом закручивал головку, расположенную в верхней части установки, к которой был прикреплен подвес. Изменяя условия опыта, Ом измерял углы, на которые необходимо было повернуть головку, чтобы действием упругой силы в подвесе совместить магнитную стрелку с визирной линией. В качестве источника тока Ом использовал элемент Вольта из меди и цинка, помещенных в раствор соляной кислоты. Исследуемые проволоки, предварительно зачищенные для лучшего контакта, опускались в чашечки со ртутью, куда были помещены концы проводов от источника тока.

Для своих первых экспериментов Ом использовал пять проволок из платинированной меди различной длины, но одинакового поперечного сечения. С помощью описанного выше прибора Ом измерял значение «потери силы» — уменьшение магнитного действия тока за счет включения проволок различной длины. «Потеря силы», согласно рассуждениям Ома, должна быть пропорциональна углу поворота магнитной стрелки относительно магнитного меридиана. Для проволок, обозначенных по возрастающей длине a, b, c, d, e , Ом нашел следующие значения «потери силы» (в условных единицах): 0,12; 0,25; 0,35; 0,43; 0,58. Если считать остальную часть цепи неизменной во все время опыта, то полученные данные, как определил Ом, хорошо удовлетворяют формуле

$$U = 0,41 \ln(1 + x),$$

где U — «потеря силы», магнитное действие тока; x — длина проволоки в футах.

Следующий шаг в исследованиях Ома — попытка обобщить полученное выражение для проволок произ-

вольной длины. Дифференцируя найденную им формулу, ученый приходит к выражению:

$$dU = m \frac{dx}{1+x},$$

и далее, по словам Ома, «...возникает мысль, не может ли быть общей формулой выражение

$$dU = m \frac{dx}{a+x},$$

где постоянные m и a характеризуют неизменяемую часть цепи».

Интегрируя последнее выражение, Ом получает формулу:

$$U = m \ln \left(1 + \frac{x}{a} \right).$$

При значениях $a=2,9$ и $m=0,525$ результаты, полученные экспериментально и вычисленные по формуле, найденной Омом, совпадают с достаточной точностью.

Кроме поисков закона, «по которому металлы проводят контактное электричество», Ом провел опыты по исследованию проводимости металлов. Для этой цели он брал несколько проволок одинакового сечения, изготовленных из различных материалов, и поочередно включал их в цепь. За стандартную эталонную проволоку Ом брал медную, имеющую длину один фут. При включении проволоки из другого материала Ом постепенно укорачивал ее до тех пор, пока отклонение магнитной стрелки не становилось таким же, как и отклонение эталонной. Остающаяся длина проволоки из исследуемого материала и принималась Омом за характеристику проводящих свойств данного материала.

Обозначая проводимость медной проволоки числом 1000, для других материалов Ом нашел следующие значения (в условных единицах): золото — 574, серебро — 356, цинк — 333, латунь — 280, железо — 174, платина — 171, олово — 168, свинец — 97.

Обращает на себя внимание тот факт, что проводимость серебра в опытах Ома получилась меньше, чем проводимость меди, тогда как по современным данным различия в проводимости меди и серебра не столь значительны. Сам исследователь отмечал, что приводимые им значения относительных проводимостей имели в

его опытах большой разброс и ему приходилось из нескольких измерений выбирать среднее. Нужно отметить, что точность измерений в этих опытах не удовлетворяла самого исследователя и он обещает вернуться позднее к этому вопросу.

В этой же серии экспериментов Ом провел исследования зависимости угла отклонения магнитной стрелки от площади поперечного сечения проводников. Для этой цели он брал проволоки из одного и того же материала, но разной толщины — от 0,12 до 1,4 линии и, экспериментируя с ними, нашел, что проволоки из одного и того же материала, но различного поперечного сечения имеют одинаковую проводимость, если их длины пропорциональны их поперечным сечениям.

Результаты своих исследований Ом оформил в виде статьи под названием «Предварительное сообщение о законе, по которому металлы проводят контактное электричество». Статья была опубликована в 1825 г. в «Журнале физики и химии», издаваемом Швейггером. Это была первая публикация Ома, посвященная исследованию электрических цепей.

Появление статьи, в которой описывались поиски закона электрических цепей и формула, связывающая величины, характеризующие процесс протекания тока в цепи, не вызвало интереса ученых, работающих в области электричества. Ученый мир был настроен выжидательно. Да и вряд ли смогла бы заинтересовать исследователей статья неизвестного в ученом мире школьного учителя. Тем более, что до этого Ом не имел научных публикаций, не имел научного имени.

Выражение, найденное и опубликованное Омом, оказалось неверным, что впоследствии стало одной из причин его длительного непризнания. Впрочем, и сам исследователь не претендовал на окончательное решение поставленной им задачи и даже подчеркивал это в названии вышедшей статьи. Поиски нужно было продолжать. Это чувствовал и сам Ом.

Но, несмотря на неудачу, появление первой статьи по избранному им вопросу показало, что Ому под силу решение поставленной задачи. Он самостоятельно сконструировал и изготовил экспериментальную установку. Исследуя электрическую цепь, он установил, что сила тока (его магнитное действие. — В. К.) одинакова в лю-

бых участках замкнутой цепи, хотя накал проволок различного диаметра был различным. Это означало, что определение значения тока по его тепловому действию не эквивалентно его значению, определяемому магнитным действием. В качестве характеристики тока он выбрал магнитное действие и был уверен в правильности сделанного шага. Интуиция и здесь не подвела ученого. Им же была самостоятельно разработана методика исследования зависимости магнитного действия тока от материала проводника.

Наибольший интерес представляет заключительная часть статьи. При чтении этой части чувствуется пристальное внимание Ома к деталям опыта, его наблюдательность и проникновение в суть эксперимента. В подтверждение сказанного приведем отрывок из этой работы Ома. Он пишет: «Доскональное решение вопроса об изменении магнитного действия тока при замене замыкающей проволоки в электрической цепи привело меня к следующим результатам.

1. Электрическая сила при включении любого проводника в первый момент после замыкания имеет самое большое значение, затем со временем постепенно убывает и достигает некоторого минимума (при этом свойства проводящей жидкости считаем неизменными). Если цепь будет некоторое время разомкнутой, то вторичное замыкание дает значение тока, равное первоначальному.

2. Минимум начальной силы достигается значительно быстрее для коротких проволок, чем для длинных (естественно, что сечение проволок одно и то же). Если после короткого проводника включить в цепь длинный, то величина магнитного действия тока будет постепенно расти, пока не достигнет некоторого максимума.

После того, как я обнаружил это явление и оценил его величину для различных случаев, я попытался установить причину того, почему нагревательный аппарат Волластона после прекращения работы возобновляет ее вновь, если его на короткое время извлечь из сосуда с кислотой. Я убедился в этом при следующих обстоятельствах. Цинковая и медная пластинки, используемые в опыте, были изолированы одна от другой с помощью слоновой кости. Провода от пластин опускались в латунные чашечки, наполненные ртутью. Латунная

провода обоими концами опускалась в эти же чашечки, то есть замыкала пластины. Изготовленный таким образом аппарат я помещал в раствор соляной кислоты; замыкающая проволока при этом нагревалась. Затем, не вынимая аппарата из раствора, я на короткое время размыкал цепь; при вторичном замыкании проволока накалялась вновь. Этот опыт можно было повторять многократно...»

Эти наблюдения Ома имеют в виду то, что накал проволоки со временем уменьшается. Чтобы добиться вновь такого же накала, как и в первые мгновения после замыкания, необходимо было на некоторое время разомкнуть цепь. Повторное включение вызывает тепловой эффект, равнозначный первоначальному.

Ом заметил, что размыкание цепи резко изменяет работу гальванической батареи, а если это так, то включение и выключение исследуемых проволок должно вызывать изменение интенсивности используемой батареи. Это значит, что элемент Вольта представляет собой явный источник погрешностей и, несмотря на ту тщательность, с которой Ом проводил свои измерения, получить точное выражение закона электрических цепей с использованием гальванической батареи не было никакой надежды.

Несмотря на правильность общей методики эксперимента, на внимательное отношение к деталям опыта, на точность установки, Ому не удалось решить поставленную им задачу. Полученные им результаты, как уже указывалось, были неточными. Причин этому много.

ПРИЧИНЫ НЕУДАЧ

Главным источником погрешностей была гальваническая батарея. Ом специально исследовал этот вопрос и нашел, что возбуждающая сила батареи непрерывно убывает со временем и каждое замыкание и размыкание цепи вызывает резкое изменение ее.

Вносили искажения и исследуемые проволоки: чистота их материала вызвала сомнения. Кроме того, Ом не совсем точно измерял диаметры тонких проволок, о чем он сам пишет в следующей работе. Следует отметить и такой немаловажный факт: внутреннее со-

противление гальванической батареи было очень большим в сравнении с сопротивлением исследуемых проводов, что снижало чувствительность установки.

Вызывает некоторое недоумение и та поспешность, с которой Ом пришел к окончательному выводу. Для установления закона электрических цепей экспериментальных данных, полученных им, было явно недостаточно. Но можно и здесь понять Ома: он спешит объявить ученому миру о направлении своих поисков, торопится «застолбить» свой «золотоносный участок».

Но Ом был не одинок в своей неудаче. В 1825 г., и тоже весной, в Англии, П. Барлоу (1776—1862) и во Франции А. С. Беккерелем (1788—1878) были опубликованы работы, посвященные этому же вопросу. Общим у них было и то, что обе эти работы, как и статья Ома, содержали ошибочные результаты. Несмотря на то, что в методике эксперимента у этих исследователей было много общего, результаты, к которым они пришли, были различны.

Разнобой в экспериментальных данных мог привести в отчаяние кого угодно. Новое явление упорно не поддавалось исследователям. Все попытки экспериментаторов терпят провал. Но наука не может стоять на месте. Чем загадочнее тайна, тем сильнее она притягивает исследователей, тем почетнее выйти из поисков победителем. Ученые не отступали, они только меняли тактику и предпринимали новые атаки. Ясно было одно: необходим совершенно новый подход к решению назревшей проблемы. И здесь неутомимый Ом обошел своих менее удачливых соперников.

ПОДГОТОВКА К РЕШАЮЩИМ ЭКСПЕРИМЕНТАМ

Ом знал о появлении работ Барлоу и Беккереля, в которых были описаны экспериментальные поиски закона электрических цепей. Знал он и о результатах, к которым пришли эти исследователи. Хотя и Ом, и Барлоу, и Беккерель в качестве регистрирующего прибора использовали магнитную стрелку, соблюдали особую тщательность в соединении цепи и источник электрического тока в принципе был одной и той же конструкции, однако полученные ими результаты были различными. Истина упорно ускользала от исследователей. Необходимо было прежде всего устранить самый значительный источник погрешностей, каким, по мнению Ома, была гальваническая батарея.

Уже в своих первых опытах Ом заметил, что магнитное действие тока при замыкании цепи произвольной проволокой уменьшается со временем. Он измерял угол отклонения магнитной стрелки через каждые пять минут после замыкания цепи и получил следующие результаты: 180; 135; 125,5; 119,5; 115; 111,75; 109,5; 107,75; 106,75; 105,75; 105; 104,5. Это снижение практически не прекращалось с течением времени, и ясно было, что заниматься поиском закона электрических цепей при таком положении дел бессмысленно. Нужно было или использовать другой тип генератора электрической энергии из уже имеющихся, или созда-

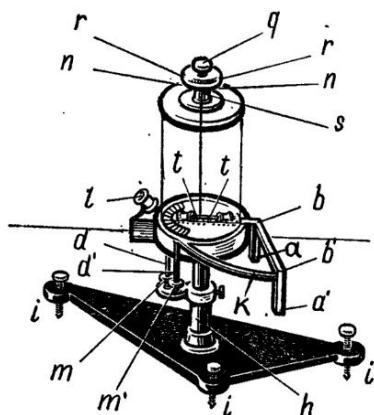


Рис. 3. Схема установки Г. С. Ома.

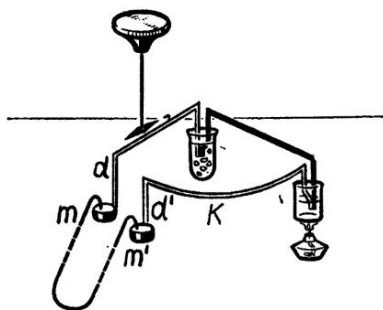


Рис. 4. Электрическая часть установки Г. С. Ома.

вать новый, или разрабатывать схему, в которой изменение ЭДС не сказывалось бы на результатах опыта. Ом пошел по первому пути.

Немецкий физик и издатель И. Х. Поггендорф, комментируя работу Ома после выхода ее из печати, высказал мнение, что точность измерений можно повысить, если в качестве источника тока использовать не гальваническую батарею, а термоэлемент Зеебека. Термоэлемент имел преимущество в том, что, во-первых, значение термоэлектродвижущей силы было достаточно стабильно. Во-вторых, ввиду ее незначительной величины ток, возбуждаемый в цепи, был мал и нагревания проводов практически не наблюдалось, следовательно, сопротивление их оставалось постоянным в течение опыта. В-третьих, внутреннее сопротивление термоэлемента было много меньше сопротивления гальванической батареи, что способствовало повышению чувствительности установки и точности измерений. Мартин в письме сообщил брату о совете Поггендорфа и тот, прислушавшись к совету коллеги, решился на повторение экспериментов, для чего заново изготовил установку.

Принципиально схема новой установки почти не отличалась от той, которая использовалась в первых

опытах. Но только принципиально. В качестве источника тока Ом использовал термоэлемент, представляющий собой пару «медь-висмут». Висмутовая полоса термоэлемента (рис. 3) $abb'a'$ шириной в 9 линий и толщиной в 4 линии, изогнутая в виде вытянутой буквы «П», имела длину «перекладины» 6,5 дюймов и короткие концы по 3,5 дюйма. К концам ab и $a'b'$ с помощью винтов Ом прикрепил такой же ширины медную полосу толщиной в 1 линию. Две медные шины k , каждая длиной около 28 дюймов, были изогнуты так, что их свободные концы dd' опускались в чашечки со ртутью tt' ; туда же подводились тщательно зачищенные концы исследуемых проволок (рис. 4). Вся система укреплялась на штативе h , который с помощью регулировочных винтов ii устанавливался в нужном положении (см. рис. 3). Как и в предыдущих опытах, сверху над проволокой были расположены крутильные весы. Следует отметить, что крутильные весы для предстоящих экспериментов были специально изготовлены Омом в сотрудничестве с механиком коллегии Маухом и имели более высокую чувствительность, чем те, которые использовались в предыдущих опытах. На верхнем основании прозрачного цилиндра, предохраняющего подвес от влияния воздушных потоков, имелось коническое углубление. В это углубление точно входила система, состоящая из конической цапфы nn с шайбой gg и неподвижно скрепленной с ней головкой q , к которой был припаян подвес. На другом конце подвеса была прикреплена магнитная стрелка tt . Вращение шайбы создавало упругую силу в подвесе и, действуя этой силой, экспериментатор мог возвращать магнитную стрелку, отклоняющуюся при замыкании цепи, в первоначальное положение вдоль магнитного меридиана. Число делений, на которое было необходимо повернуть шайбу для возвращения магнитной стрелки в исходное состояние, фиксировалось экспериментатором.

Магнитная стрелка tt изготавливалась из стальной проволоки толщиной 0,8 линии и длиной около двух дюймов. На ее концы были насажены цилиндры из слоновой кости, в один из которых зажималась латунная проволока, отогнутая к шкале и служившая указателем; второй цилиндр выполнял роль противовеса. Стрелка подвешивалась на золотой расплющенной про-

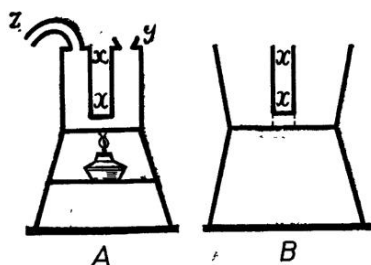


Рис. 5. Сосуды для термопар.

велики, что требовалось совершать повороты шайбы на несколько оборотов.

Во избежание неточностей, связанных с отсчетом показаний, на штативе, на расстоянии одного дюйма от шкалы, укреплялась линза l , расположенная так, что в поле ее зрения резко просматривалась визирная линия и конец латунной проволоки-указателя. Отсчет снимался только после того, как колебания стрелки полностью прекращались. Все опыты повторялись дважды.

Эту систему, сконструированную и изготовленную Омом, вполне справедливо историки физики называют первым прибором для электрических измерений.

Для поддержания разности температур концов термопары Ом изготовил два свинцовых сосуда (рис. 5), имеющих внутри цилиндрические полости для спаев xx . В один из сосудов A наливалась вода и с помощью спиртовки нагревалась до кипения. Этот сосуд имел отверстие для добавления воды y и трубку для выхода пара z . Другой сосуд B наполнялся мелкоколотым льдом со снегом. В полости сосудов помещались концы термопар, предварительно обмотанные тонким, но плотным шелком, и засыпалась мелкая свинцовая дробь на один дюйм, а сверху — мелкотолченное стекло. Сверху сосуды закрывались стеклянными крышками. Все эти предосторожности были предприняты для того, чтобы поддерживать постоянную температуру концов термопар в течение всего эксперимента.

Приняв все меры предосторожности, заранее устранив все предполагаемые источники ошибок, Ом приступил к измерениям. Результаты его опытов были изло-

волоке s длиной 5 дюймов так, что точка подвеса, ось цилиндрического корпуса весов и ось магнитной стрелки лежали на одной вертикали. Проволока расплющивалась для того, чтобы уменьшить углы поворота стрелки, которые при использовании цилиндрической проволоки были так

жены в статье «Определение закона, по которому металлы проводят контактное электричество, вместе с наброском теории voltaического аппарата и мультипликатора Швейггера», вышедшей в 1826 г. в «Журнале физики и химии», редактором которого был все тот же Швейггер.

**«ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНА,
ПО КОТОРОМУ МЕТАЛЛЫ ПРОВОДЯТ
КОНТАКТНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО...»**

Для своих первых экспериментов Ом выбрал 8 проводников, имеющих длину 2, 4, 6, 10, 18, 34, 66, 130 дюймов и обозначенных им порядковыми номерами по возрастающей длине. Все исследуемые проволоки были нарезаны из одного и того же медного платинированного провода толщиной $7/8$ линии. После того как на концах термопар устанавливалась температура 0 и 100 °C, Ом последовательно включал в цепь приготовленные им проволоки. Сняв показания магнитного действия тока¹, Ом проводит те же измерения, включая те же проводники, но в обратном порядке. Результаты своих измерений, вернее, средние их значения, Ом оформил в виде таблицы.

Время наблюдения	Номер опыта	Проволоки							
		1	2	3	4	5	6	7	8
8 января 1826	I	326,75	300,75	277,75	238,25	190,75	134,50	83,25	48,5
11 января	II	311,25	287,00	267,00	230,25	183,50	129,75	80,0	46,0
	III	307,00	284,00	263,75	226,25	181,00	128,75	79,0	44,5
15 января	IV	305,25	281,50	259,00	224,00	178,50	124,75	79,0	44,5
	V	305,00	282,00	258,25	223,50	178,00	124,75	78,0	44,0

Из таблицы видно, что отклонение магнитной стрелки при включении одного и того же проводника уменьшалось от опыта к опыту, хотя и незначительно (рис. 6).

¹ Здесь и в дальнейшем значения силы тока (его магнитного действия), которые регистрировал Ом, даны в условных единицах, соответствующих углам, на которые поворачивалась магнитная стрелка.

По этому поводу Ом замечает в своей работе: «Не берусь утверждать, что является причиной этого уменьшения силы (магнитного действия.— В. К.): изменения, произошедшие в месте контакта, или то, что 8 и 11 января дни были очень холодные, а сосуд со льдом стоял на окне холодной комнаты». Однако, поясняет далее Ом, результаты двух серий опытов, выполненных 15 января, имеют очень малое расхождение, хотя время между 4 и 5 сериями, выполненными в этот день, составляло около четырех часов. Стабильность термоэлектрического источника тока в сравнении с гальванической батареей много выше, и Ом надеется на успешное завершение начатых им исследований. В этом убеждает и хорошая повторяемость при обратном включении проволок.

Исследуя табличные данные, Ом находит, что они «очень хорошо удовлетворяют выражению

$$X = \frac{a}{b + x},$$

где X — сила магнитного действия проводника с током, длина которого x , а a и b — постоянные величины, зависящие соответственно от возбуждающей силы и от остальной части цепи».

Если величине b для всех опытов придать значение 20,25, а величине a несколько отличающиеся для каждой из пяти серий значения 7285, 6965, 6885, 6800, то, вычисляя по вышеприведенной формуле, Ом находит для соответствующих проволок следующие значения:

Номер опыта	Проволоки							
	1	2	3	4	5	6	7	8
I	328,0	300,50	277,50	240,75	190,50	134,50	84,25	48,50
II	313,0	287,25	265,33	230,25	182,00	128,33	80,75	46,33
III	309,5	284,00	262,33	228,00	180,00	127,00	79,75	45,75
IV	305,5	280,50	259,00	224,75	177,75	125,25	79,00	45,00
V	305,5	280,50	259,00	224,75	177,75	125,25	79,00	45,00

Различия данных, полученных экспериментально и вычисленных по предложенной Омом формуле, незначительны, что подтверждает правильность найденного Омом выражения. Но ученый помнит неудачи

прошлых исследований и на этом не прекращает эксперимент, желая окончательно убедиться в справедливости открытого им закона пропорциональности силы тока и напряжения («возбуждающей силы», по терминологии Ома. — В. К.).

Для следующей серии опытов Ом использует 4 латунные проволоки длиной 2, 4, 8, 16 дюймов и толщиной 0,3 линии. Для них он находит значения, соответствующие силе тока 111,5; 64,75; 37; 19,75. Применяя полученную формулу, Ом вычисляет значения силы тока, которые хорошо совпадают с данными, установленными экспериментально. Используя результаты для медной и латунной проволок, Ом по выведенной им формуле находит, что 1 фут медной проволоки диаметром $7/8$ линии имеет такое же сопротивление, как и 20,5 футов латунной проволоки диаметром 0,3 линии. Установив это, Ом включает пятый проводник из латуны длиной 276 дюймов, для которого получает значение $X=1,25$. Эта цифра вытекала и из формулы Ома, если учесть различия в проводимости латунной и медной проволок, то есть для x принимать значение не 276, а в 20,5 раз больше ($x=5658$). Подставляя для a и b те же значения, что и в предыдущих расчетах, Ом нашел:

$$X = \frac{6800}{20,25 + 5658} \approx 1,2.$$

Отсюда следует важный вывод, что найденная Омом формула, связывающая физические величины, характеризующие процесс протекания тока в проводнике, справедлива не только для проводников из меди. По этой формуле можно рассчитывать электрические цепи независимо от материала проводников, используемых при этом.

В следующей серии опытов Ом изменяет температурный режим термопары. Один ее конец по-прежнему остается в сосуде со льдом, а второй находится при комнатной температуре, равной $9,4^{\circ}\text{C}$ ¹. Проводники из первой серии опытов включались в цепь в последовательности 1, 2, 3, 4, 5, 6, 5, 4, 3, 2, 1. Данные для магнитного действия тока в этих экспериментах образуют

¹ На этот факт всегда обращают внимание биографы Ома, характеризуя условия, в которых ученый проводил свои экспериментальные исследования.

следующий ряд чисел: 27,25; 23,25; 20; 15,5; 10,75; 6,5; 10,75; 15,5; 20; 23,5; 27,75. Если в установленную Ом формулу подставить b , равное 20,25, то можно вычислить величину a , определяющую значение возбуждающей силы. Подставляя в формулу Ома средние значения данных, полученных для первого проводника, найдем для возбуждающей силы значение $a=612$. Следовательно, при изменении температуры одного из спаев примерно в 11 раз, возбуждающая сила термопары уменьшается примерно во столько же раз. На основании этих исследований Ом делает вывод, что возбуждающая сила термоэлемента пропорциональна разности температур спаев.

Кроме того, Ом установил, что постоянная b не зависит ни от возбуждающей силы, ни от длины включенной проволоки. Этот факт дает основание утверждать, что величина b характеризует неизменяемую часть цепи. А так как сложение в знаменателе полученной формулы возможно только для величин одинаковых наименований, то, следовательно, постоянная b , заключает Ом, должна характеризовать проводимость неизменяемой части цепи.

В последующих опытах Ом изучал влияние температуры проводников на их сопротивление. Он вносил исследуемые проводники в пламя, помещал их в воду с толченым льдом и убеждался, что электрическая проводимость проводников уменьшается с повышением температуры и увеличивается с понижением ее.

Основательно убедившись в справедливости полученного выражения, которое представляло собой закон электрических цепей, Ом в дальнейших экспериментах использует его для исследования режима работы «вольтова столба» и мультипликатора Швейгера — Поггендорфа. Выводы из этих экспериментов позволили Ому использовать мультипликатор в качестве электроизмерительного прибора в последующих опытах.

**«...НАБРОСОК ТЕОРИИ
ВОЛЬТАИЧЕСКОГО АППАРАТА
И МУЛЬТИПЛИКАТОРА ШВЕЙГЕРА»**

Успех пришел к Ому только после того, как он заменил гальваническую батарею термоэлементом Зеебека.

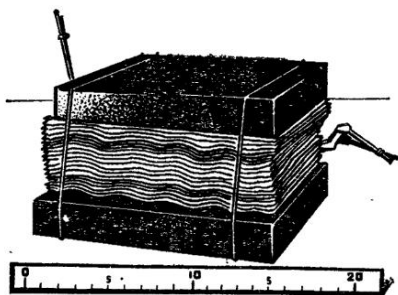


Рис. 7. Сухой элемент, изготовленный Омом.

Но механизм работы как гальванического, так и термоэлектрического источников тока не был известен ученым. Никто из них не знал, как влияет на силу тока площадь пластин, образующих гальваническую батарею, расстояние между ними, каков эффект работы нескольких гальванических эле-

ментов, соединенных определенным образом в батарею. Поэтому вполне объясним следующий шаг Ома после установления им основного закона электрических цепей: исследование гальванических батарей.

Экспериментируя с батареями (рис. 7), изготовленными из пластин разной площади, Ом установил, что численное значение постоянной для гальванической батареи обратно пропорционально площади пластин. Он заметил также, что сила тока, порождаемого батареей гальванических элементов, значительно больше, чем сила тока, даваемого термоэлементом. Из этого следовало, что величина a для гальванической батарей во много раз больше, чем для термоэлемента.

Далее Ом приходит к выводу, что при использовании одной и той же батареи увеличение замыкающей проволоки на длину h вызывает уменьшение силы тока X на величину V , причем

$$\frac{V}{X} = \frac{h}{b+x} - \frac{h^2}{(b+x)^2} + \frac{h^3}{(b+x)^3} \dots$$

где x — первоначальная длина исследуемой проволоки.

Если h очень мало в сравнении с $b+x$, то можно с достаточной степенью точности записать:

$$\frac{V}{X} = \frac{h}{b+x},$$

т. е. изменение магнитного действия тока пропорционально изменению длины замыкающей проволоки. В современной терминологии это означает, что сила

тока в цепи с постоянным источником ЭДС обратно пропорциональна сопротивлению цепи.

Затем Ом предпринимает попытку использовать открытый им закон для расчета цепи, составленной из m гальванических элементов. В своих рассуждениях Ом принимает возбуждающую силу одного элемента за единицу; тогда батарея, составленная из m элементов одинаковой конструкции будет иметь возбуждающую силу в m раз больше. Если считать сопротивление всех элементов одинаковым, то сопротивление всей батареи при этом увеличится тоже в m раз. Вычисляя магнитное действие от одного элемента по формуле

$$X = \frac{a}{b + x},$$

для батареи из m элементов Ом нашел выражение:

$$X = \frac{am}{bm + x}.$$

В этой формуле произведение bm не зависит от возбуждающей силы, а, как уже указывалось, представляет собой сопротивление всей цепи, без учета сопротивления замыкающей проволоки.

Анализируя полученное равенство, Ом находит, что для случая, когда x много меньше bm , вышеприведенная формула будет иметь вид:

$$X = \frac{a}{b},$$

т. е. в случае, если сопротивление неизменяемой части цепи много больше сопротивления замыкающей проволоки ($x \ll bm$), магнитное действие тока не зависит от числа элементов, составляющих батарею.

Если сопротивление замыкающей проволоки x очень большое в сравнении с bm , то, утверждает Ом, действие гальванической батареи будет в m раз больше. Этот вывод можно подтвердить, экспериментируя с жидкими проводниками, например наблюдая процесс разложения воды.

Продолжая исследования, Ом сравнивает силу тока по его магнитному действию (отклонение магнитной стрелки) и по его химическому действию (объем газов, образующихся при разложении воды). Для этой цели он использует 4 батареи по 51 элементу в каждой.

Включая их в цепь по одной последовательно и фиксируя при этом объем выделившегося газа, получает следующие значения (в условных единицах): 37, 62, 83, 100. Принимая сопротивление одной батареи за единицу, x положив равным 5,6, а возбуждающую силу одной батареи $a = 240$, Ом получил, вычисляя по установленной им формуле, следующие значения:

$$X_1 = \frac{240 \cdot 1}{1 + 5,6} = 36,3; \quad X_2 = \frac{240 \cdot 2}{1 \cdot 2 + 5,6} = 63;$$

$$X_3 = \frac{240 \cdot 3}{1 \cdot 3 + 5,6} = 83,75; \quad X_4 = \frac{240 \cdot 4}{1 \cdot 4 + 5,6} = 100.$$

Данные, вычисленные по формуле закона Ома и полученные экспериментально, очень хорошо согласуются, что дает Ому возможность утверждать справедливость его выводов относительно эквивалентности химического и магнитного действия тока. Это означает, что о силе тока в цепи можно судить по его действиям — химическому и магнитному; результаты измерений при этом совпадают с достаточной степенью точности.

Следующую серию опытов Ом посвящает исследованию работы мультипликатора и созданию его приближенной теории. Важность этой работы можно понять, если вспомнить, что мультипликатор был единственным электроизмерительным прибором того времени.

Рассматривая электрическую цепь без мультипликатора и пренебрегая сопротивлением замыкающей проволоки, Ом записывает для этого случая формулу:

$$X = \frac{a}{b}.$$

Если включить в цепь мультипликатор, сопротивление которого ml , где m — число витков, образующих мультипликатор, l — сопротивление одного витка, то сила тока в цепи для этого случая может быть выражена формулой:

$$X' = \frac{am}{b + ml}.$$

Магнитное действие тока в цепи с мультипликатором будет относиться к силе тока в цепи без мультипликатора, как

$$\frac{am}{b + ml} : \frac{a}{b}.$$

Так как a и b константы, то из этого соотношения следует:

$$k = \frac{bm}{b + ml},$$

где k — коэффициент усиления мультипликатором магнитного действия тока.

Из последнего выражения можно сделать вывод, что коэффициент усиления мультипликатора будет больше единицы, если $bm > b + ml$, т. е. усиление магнитного действия тока возможно только в том случае, если сопротивление одного витка мультипликатора будет меньше сопротивления остальной части цепи.

Заменяя в последнем равенстве $b = nl$, где n показывает, во сколько раз сопротивление неизменяемой части цепи больше сопротивления одного витка мультипликатора, получим:

$$k = \frac{mn}{m + n}.$$

Если n бесконечно мало в сравнении с m , то для коэффициента усиления найдем значение:

$$k = n,$$

т. е. усиление магнитного действия тока с использованием мультипликатора будет во столько раз больше единицы, во сколько раз внутреннее сопротивление элемента больше сопротивления одного витка мультипликатора. Учитывая это, Ом предлагает для увеличения чувствительности мультипликатора изготавливать его из проволоки большего диаметра. Ом было также найдено, что максимум усиления мультипликатора не зависит от ЭДС элемента. Однако, добавляет Ом, число витков для мультипликатора, имеющего максимальный коэффициент усиления, будет различным для элементов с различным значением электродвижущей силы.

Для экспериментальной проверки справедливости своих теоретических выводов Ом изготавливает два мультипликатора из проволоки толщиной $\frac{1}{5}$ линии, изолированной сургучом. Один мультипликатор содержал 220 витков, намотка другого была в 4 раза длиннее.

Диаметр намотки составлял один дюйм; расстояние между мультипликаторами — 5 линий. В пространстве между ними точно в середине подвешивалась магнитная стрелка. Все устройство было изготовлено так, что оба мультипликатора включались поочередно, причем их переключение производилось практически мгновенно. Измеряя магнитное действие тока так же, как и в первых опытах по установлению закона электрических цепей, Ом для мультипликатора из длинной проволоки при некоторых условиях нашел значение магнитного действия тока, соответствующее 263 делениям. Для мультипликатора из более короткой проволоки при тех же условиях прибор показывал 68 делений, что хорошо совпадало с тем результатом, который предсказал Ом. Источник тока в опытах представлял собой пару «медь—цинк», опущенную в концентрированный раствор нашатыря.

В заключение своей работы Ом пишет: «В этой статье в приближенном виде изложена теория гальванической батареи и мультипликатора, причем результаты теории и эксперимента очень близки. Однако главным в этой работе является установление закона проводимости электрического тока металлами. Неподобное на первый взгляд явления в действительности образуют прекрасное целое. Открытие Зеебека послужило той нитью, которая вывела из лабиринта учение о разветвленных электрических токах».

Информация, которая содержалась в этой работе Ома, была исключительно плодотворной. Объем экспериментальных исследований, выполненных ученым, поражает воображение. И все это было сделано только в свободные от основной работы часы. Предчувствия и научная интуиция не обманули его: на этот раз все было доказано неопровержимо.

Так завершились кропотливые, полные предосторожностей, многократно проверенные исследования Ома по установлению закона электрических цепей (рис. 8). Большая заслуга Ома в том, что, несмотря на все препятствия, на трудность стоящей перед ним задачи, на неудачи в первых экспериментах, он не опустил руки, а проявил волю и упорство, настойчивость и энергию в достижении поставленной цели.

ДАЛЬНЕЙШИЕ ПОИСКИ

Появление статьи, содержащей результаты экспериментальных исследований в области электрических явлений, и на этот раз не произвело впечатления на ученых. Никто из них даже не мог предположить, что установленный Омом закон электрических цепей представляет собой основу для всех электротехнических расчетов будущего. Экспериментатор был обескуражен приемом коллег: ему не пришлось разделить с ними радость первооткрывателя, не удалось услышать признания своих заслуг. Он не жаждал славы. Ему нужна была поддержка, стимулирующая дальнейшие научные исследования. Однако ученый мир его не принял.

Выражение, найденное Омом, было настолько простым, что именно своей простотой вызывало недоверие. Кроме того, научный авторитет Ома был подорван первой публикацией и у оппонентов были все основания сомневаться в справедливости найденного им выражения. Были даже откровенные заявления, что возможно скоро появится третья работа Ома, содержащая формулу закона электрических цепей, так же хорошо удовлетворяющая его экспериментальным данным, как и первые две. Проверить же результаты исследований Ома было чрезвычайно сложно, так как его установка была весьма чувствительной и требовалось огромное мастерство, терпение и навык в экспериментальной работе, чтобы повторить сделанные им опыты.

Также следует отметить тот факт, что практика еще не нуждалась в законе, установленном Омом. Гальванические элементы еще не получили широкого практического применения; телеграф совершал только первые шаги, а до практического применения электрических машин было совсем далеко.

Перечисляя причины непризнания важнейшей работы Ома, нельзя не упомянуть и о том, что личность учителя гимназии не вызывала доверия у маститых ученых, работающих в крупнейших научных центрах Германии. Зарубежные ученые, не владеющие немецким языком, не смогли своевременно ознакомиться с открытием Ома. Так, в частности, Фарадей, ссылаясь на позднейшую работу Ома по униполярной проводимости,

мости, с горечью и досадой заявляет: «Вследствие незнания немецкого языка, мне, к величайшему моему сожалению, недоступны весьма ценные статьи по экспериментальным исследованиям по электричеству, опубликованные на этом языке, и я не в состоянии отдать им должное».

Ом был твердо убежден в справедливости открытого им закона и сдавать позиции не собирался. Он знал, что в его положении имеется только один выход: убеждать, доказывать, а для этого снова работать, работать и работать.

Чтобы иметь возможность для продолжения научных исследований по избранному вопросу, Ом обращается в министерство с просьбой предоставить ему годичную командировку в Берлин, где условия для работы были более подходящими. Прежде чем решить вопрос по ходатайству Ома, министерство потребовало отзыв о выполненной им научной работе и предложило берлинскому профессору физики П. Эрману прорецензировать ее. Выбор рецензента был не случаен: Эрман, как и Ом, проводил исследования в области электричества и магнетизма. И вот, несмотря на то, что рецензент был компетентен в обсуждаемом вопросе, отзыв, полученный от него, имел более чем странное содержание: «...Недавно появилась очень поучительная работа этого автора (Ома.— В. К.),— пишет П. Эрман,— в которой математические и механические исследования удачно переплетаются. Однако эти исследования не внушают серьезного уважения». Скорее всего Эрман не захотел вникать в суть излагаемого Омом. Может быть, всему виной была зависть профессора к успехам того, кто стоял ступенью ниже на академической лестнице. Может быть, Эрман не смог как следует вникнуть в сущность экспериментальных исследований Ома. А может быть, и то, и другое, и третье.

Но все-таки к чести министерства распоряжением от 10 августа 1826 г. просьба Ома была удовлетворена. В официальных документах по этому поводу сообщается: «...Конечно, это тяжело отразится на кельнской гимназии, где целый год будут жалеть о таком достойном преподавателе, но тем не менее министерство считает возможным содействовать вашему стремлению к научным исследованиям. На вашу просьбу от 1 апреля

сего года министерство находит возможным освободить вас на один год от работы с тем, чтобы вы смогли найти время здесь и целиком посвятить себя научным поискам». Однако сохранить за ним полное жалование министерство «не нашло возможным»: ему была предложена только половина месячного оклада. Но Ом привык к лишениям и безоговорочно соглашается на такие условия. Жилище и стол ему предоставил Мартин, который в это время прочно обосновался в Берлине. Остальное меньше всего волновало Ома.

Этот берлинский год был наиболее плодотворным в научных исканиях настойчивого исследователя. Ровно через год, в мае 1827 г. в издательстве Римана вышла обширная монография «Теоретические исследования электрических цепей» объемом в 245 страниц, в которой содержались теперь уже теоретические рассуждения Ома по электрическим цепям (рис. 9). Эта работа, считал Ом, должна способствовать признанию его экспериментальных работ и наконец-то изменить его служебное, а следовательно, и материальное положение, что в конце концов позволит ему полностью посвятить себя науке.

К теории Ом обратился не случайно. Он чувствует ее силу и значение для развития науки. «Теория, притязаящая на звание непреходящей и плодотворной, — пишет в своей монографии Ом, — должна, по моему, обнаруживать свое благородное происхождение не в пустой словесности, а в том, чтобы действительно всюду выявлять свое родство с духом природы, изъясняясь простыми и полными выражениями, без всяких словесных прикрас и служа глашатаем борьбы человека с высшей силой. Погоня за изящной математической формулой нередко превращается в самоцель, причем «родство с духом природы» теряется».

В основу своих теоретических рассуждений Ом положил идеи французского ученого Ж. Фурье (1768—1830), изложенные им в работе «Аналитическая теория тепла», вышедшей в свет в 1822 г. В своей работе Фурье, представляя передачу теплоты как распространение потока теплорода в теле, получил формулу, описывающую этот процесс («закон теплопроводности»). Работа Фурье быстро завоевала признание в ученом мире и привлекла самое пристальное внимание Ома. Он тща-

als die Mischung des Mühlsteinfurners mit der Steigart,
mischte. ^{3. u. 4.} 1. f. geht auf in den Fellen, und
2. u. 3. u. 4. f. geht auf in den Fellen, und
3. u. 4. f. geht auf in den Fellen, und
3. u. 4. f. geht auf in den Fellen, und

wenn die Wirkung einer ganz gleichen Winding
der Kette ohne Mehrfacher auf die Nadel

$\frac{A}{L}$

gewirkt wird. Hieraus folgt nun sogleich, daß die Verletzung auf die Magnetkraft der Erde den

Multiplikator verstärkt oder geschwächt wird,
je nachdem n_1 größer oder kleiner als L ist.

n), d. h. je nachdem die n -fache reduzierte Länge der Kette ohne Multiplikator größer

$$\frac{A}{\lambda}$$

Verzichtet man diese Grenzartung des Multiplikationsgesetzes auf die Eigenschaft, welche eine völlig gleich beschaffte

seine Windung der Kette ohne Multiplikator be-
zeichnet so nimmt man wahr, daß sich beide

[Faint handwritten notes at the bottom of the page]

Рис. 9. Страница из «Теоретических исследований электрических цепей» с пометками Ома.

тельно изучил эту работу, детально усвоил метод рассуждений Фурье и решил распространить его на процесс протекания тока в цепи. Он начал с того, что провел аналогию между возникновением теплового потока в теле и возникновением электрического тока в цепи. Если в теории Фурье наличие теплового тока между двумя телами или двумя точками одного и того же тела объясняется разностью температур этих тел или рассматриваемых точек, то, предполагает Ом, точно также электрический ток обязан наличию «электроскопических сил», которые имеют различные значения в различных точках проводника. «Я предполагал,— пишет Ом,— что переход электричества между двумя близлежащими элементами при прочих равных условиях пропорционален разности электроскопических сил в этих элементах, подобно тому как в учении о теплоте принято рассматривать тепловой поток между двумя элементами тела, пропорциональным разности их температур». Фурье было найдено, что теплота Q , перенесенная от одной точки к другой, может быть определена по формуле

$$Q = \lambda S \frac{\Delta T}{\Delta x} t,$$

где λ — коэффициент теплопроводности; S — площадь поверхности, через которую переносится теплота; $\frac{\Delta T}{\Delta x}$ — градиент температуры — падение температуры в направлении переноса теплоты на единицу длины; t — время, в течение которого осуществляется перенос теплоты.

Для теплового потока Фурье записывает выражение

$$q = \frac{Q}{t} = \lambda S \frac{\Delta T}{\Delta x},$$

где q — тепловой поток (ток).

Придерживаясь рассуждений Фурье, Ом для характеристики процесса протекания электрического тока в цепи находит формулу:

$$S = \kappa \omega \frac{\Delta U}{\Delta x},$$

где S — сила тока (его магнитное действие); κ — удельная электропроводимость; ω — поперечное сечение

проводника; ΔU — разность электростатических сил (разность потенциалов, по современной терминологии) на концах элементарного проводника длиной Δx .

Выражение $\frac{\Delta x}{\kappa \omega}$ Ом назвал приведенной длиной. Если последнее выражение переписать в виде

$$S = \frac{\Delta U}{\frac{\Delta x}{\kappa \omega}}$$

и сравнить это выражение с современной записью закона Ома для однородного участка цепи, то нетрудно заметить, что приведенная длина есть не что иное, как сопротивление проводника, длина которого Δx , площадь поперечного сечения ω , а удельное сопротивление, характеризующее материал проводника, $\rho = \frac{1}{\kappa}$.

В этой же работе Ом, независимо от русского физика Петрова, предложил характеризовать электрические свойства проводника его сопротивлением и ввел этот термин в научный обиход.

В этой же работе Ома содержится много других оригинальных мыслей, причем некоторые из них послужили отправным пунктом для рассуждений других ученых. Исследуя электрическую цепь, Ом нашел более простую формулу для закона электрической цепи, вернее, для участка цепи, не содержащего ЭДС. «В однородном участке цепи, — пишет Ом, — величина тока равна частному от деления электростатических сил на концах этого проводника и его приведенной длины:

$S = \frac{A}{L}$ ». И далее: «Величина тока в гальванической цепи прямо пропорциональна сумме всех напряжений и обратно пропорциональна сумме приведенных длин. При этом общая приведенная длина определяется как сумма всех отдельных приведенных длин для однородных участков, имеющих различную проводимость и различное поперечное сечение». Нетрудно заметить, что в этом отрывке Ом предлагает правило сложения сопротивлений последовательно соединенных проводников.

Исследуя вопрос о соединении элементов в батарею, Ом теоретически приходит к формуле для расчета силы

тока в цепи, которая питается от батареи, составленной из n элементов:

$$S = \frac{nA}{nL + \lambda},$$

где A — ЭДС элемента, L — внутреннее сопротивление источника тока, λ — приведенная длина (сопротивление) внешней части цепи.

Ом отмечает, что если величиной L можно пренебречь в сравнении с λ/n , то действие батареи возрастает пропорционально числу элементов, ее образующих. Если же сопротивление внешней цепи много меньше сопротивления батареи, тогда

$$S = \frac{nA}{nL} = \frac{A}{L},$$

т. е. сила тока не зависит от количества элементов, образующих батарею.

Далее Ом, исследуя участок электрической цепи, приводит установленную им формулу:

$$U - C = \frac{x}{l} a,$$

где a — возбуждающая сила (ЭДС элемента); l — длина исследуемого проводника; U — электроскопическая сила, действующая на электромметр, включенный в точку, лежащей на исследуемой проволоке на расстоянии x от одного из концов проводника; C — величина, определяемая данными обстоятельствами, но не зависящая от x . Из этой формулы следует:

$$\frac{a}{l} = \frac{U - C}{x}.$$

Величина U , называемая Омом электроскопической силой, характеризует состояние цепи в данной точке. Эта величина дала начало введенному позднее в теорию электричества понятию потенциала. Найденная Омом формула означает, что электроскопическая сила пропорциональна сопротивлению участка цепи. Другими словами, Ом установил закон последовательного соединения проводников.

Монография Ома очень насыщена информацией, перемежается отступлениями, рассказывающими о

том пути, по которому пришлось пройти автору. Очень важным является тот факт, что Ом первым из ученых поставил изучение электрических цепей на математическую основу. Он широко пользуется дифференциальным и интегральным исчислениями, теорией рядов и другими математическими операциями. В этом смысле книга Ома представляет собой первую теоретическую работу в области электричества.

Первое впечатление после ознакомления с работой Ома — кажущаяся легкость перехода от закона теплопроводности Фурье к закону электрических цепей. Но это совсем не так.

Следует, прежде всего, отметить трудность выбора величины — электроскопической силы, которая соответствует температуре в рассуждениях Фурье. Это требовало физической интуиции и глубокого знания предмета исследований. Мало того, эту величину нужно было измерять. Для этой цели Ом использовал один из собственноручно сделанных им электрометров. Включая его между «землей» и исследуемой точкой, он получил при этом вполне удовлетворительные результаты, подтверждающие его рассуждения.

К понятию «электроскопическая сила» Ом пришел, используя аналогию течения воды в трубах. Для того чтобы поток воды распространялся вдоль трубы, необходим был уклон, причем большой уклон означал большую скорость течения. Пропорциональность величины, характеризующей уклон, и скорости течения воды в трубе постоянного диаметра ведет с необходимостью к постоянству отношения разности потенциалов к силе тока. Постоянное отношение и есть сопротивление проводника.

Рассматривая замкнутую цепь, Ом строил диаграммы, на которых показывал «уклоны», являющиеся причиной тока.

Во введении к своей работе Ом не смог умолчать о тех трудностях, с которыми ему пришлось встретиться при ее выполнении. Он пишет: «Я публикую теорию гальванического электричества как один из разделов общего учения об электричестве и предлагаю в дальнейшем, поскольку мне это позволит время, воля и условия, последовательно присоединять новые части, образующие единое целое, если только ценность первых

полученных результатов в какой-то мере оправдает те жертвы, которых они мне стоили.

Условия, в которых я до сих пор жил, не были подходящими ни для того, чтобы вновь зажечь во мне отвагу, ни для того, чтобы ознакомиться во всей полноте, что, однако, необходимо, с литературой, относящейся к близким вопросам; поэтому для пробного вступления я выбрал ту часть, в которой я меньше должен был считаться с конкуренцией. Хотелось бы, чтобы благожелательный читатель принял мою работу с той же любовью к предмету исследования, какая привела к его созданию».

Как видно из этого отрывка, Ом понимал значение открытого им закона. Знал он и то, что его работы в данной области являются первыми. И вполне был прав, рассчитывая на поддержку коллег. Сам он о своей работе писал, что «рекомендует ее добрым людям с теплым чувством отца, не ослепленного обезьянней любовью к детям, но довольствующегося указанием на открытый взгляд, с которым его дитя смотрит на злой мир». Ом словно предчувствовал, что мир окажется для него злым, и это скоро подтвердилось.

ПЕРВЫЕ ОТЗЫВЫ

Теоретическая работа Ома разделила судьбу работы, содержащей его экспериментальные исследования. Научный мир по-прежнему выжидал. Ученые не спешили делиться своими впечатлениями об открытии Ома. Но все-таки это молчание было нарушено.

Министерство дало указание университету в Галле составить отзыв на работу Ома, удовлетворив тем самым ходатайство автора. Более других в области электричества был сведущ Швейггер, признанный авторитет в электрофизике. Но книга Ома была послана не Швейггеру, а его ученику Л. Ф. Кемцу, незадолго до этого получившему место экстраординарного профессора этого университета. Компетентность Кемца в вопросах, которые исследовались Омом, сомнительна. Это подтверждает и Мартин Ом, посетивший в это время Галле и встречавшийся с новоявленным профессором. «Он сидит теперь и потеет над твоей книгой,— пишет Мартин брату,— так как не понимает математики, вернее,



Мартин и Георг (справа) Ом. Рисунок одного из слушателей Военной школы в Берлине.

понимает не столько, сколько нужно. Он каждый день радуется тому, что приобретает знания от этого чтения».

После того, что сообщил Мартин, профессор математики Берлинского университета, нетрудно догадаться о том, что собой представлял отзыв Кемца. Содержание отзыва было очень спокойным, сдержанным, без упреков автору и без указания недостатков. Заслуги Ома также не были отмечены. Министерству трудно было понять, какова позиция рецензента относительно рецензируемой им работы. Скорее всего, осторожный Кемц просто кратко изложил суть исследований Ома, никак не выразив к ним своего отношения. Отзыв Кемца был опубликован в № 13 и 14 «Литературной газеты» (издаваемой в Лейпциге Г. В. Брандесом) за 1828 г. Читающий мир не взволновала статья Кемца и, вероятно, так же, как и сотрудники министерства, многие из читателей не смогли понять, что же хотел сказать ее автор.

Зато появление следующей статьи не вызывало сомнений в цели ее написания. В «Журнале научной критики» (№11—14 за 1828 г.) появилась статья немецкого физика профессора Берлинского университета Ф. Поля (1788—1849). Полю, бывший автором ряда ра-

бот по электричеству, в том числе статьи «Процессы гальванической цепи», дал уничтожающую критику теоретическим исследованиям Ома. Рассуждения Ома Поль называет «сплетением голых фантазий», сожалея о том, что «большинство современных гальванистов, кажется, удовлетворено тем лабиринтом, в который они сами себя заключили». Поль считает, что Ом, не вникая в сущность электрических цепей, просто выражает математическими формулами все уже известное из работ других исследователей. Используемые Омом методы, считает Поль, давно уже разработаны Фурье и Пуассоном и вклад самого автора работы представляет собой «самую малость». Первую теоретическую работу в области электричества Поль сравнивает с отчетом о поучительном путешествии, которое совершает читатель, сожалея о плате за проезд и о доплате за скорость.

Совершенно потеряв чувство такта и презрев объективность, являющуюся неотъемлемым качеством каждого истинного ученого, этот оголтелый критик не жалел черной краски, раздвигаясь с работой Ома. Начав в своих критических опусах с указаний на слабые места работы, Поль в конце концов доходит до прямых оскорблений, перемежающихся чуть ли не угрозами. Задача Поля была ясна — очернить Ома как ученого и во что бы то ни стало отрицать значение его работы для дальнейшего развития физики. Не оставляя камня на камне от работы Ома, Поль пишет: «Тот, кто благоговейными глазами взирает на вселенную, должен отвернуться от этой книги, являющейся плодом неисправимых заблуждений, преследующих единственную цель — умалить величие природы».

Старания Поля можно понять. «Журнал научной критики» представлял собой рупор немецкой натурфилософии, последователи которой пытались на основе объективного идеализма обобщить достижения современного ему естествознания. На ограниченность натурфилософии неоднократно указывали К. Маркс и Ф. Энгельс. Характеризуя ее методы и роль в общем прогрессе естествознания, Энгельс писал, что натурфилософия «заменила неизвестные еще ей действительные связи явлений идеальными, фантастическими связями и замещала недостающие факты вымыслами, пополняя

действительные проблемы лишь в воображении. При этом ею были высказаны многие гениальные мысли и предугаданы многие позднейшие открытия, но немало также было наговорено и вздора»¹.

Несмотря на то что сторонники натурфилософии в своих работах заявляли об эмпирическом характере знаний в естественных науках, в действительности же сами они отрицательно относились к их познавательным способностям. Если они и признавали опыт, то скорее всего понимая под этим наблюдение над объектом изучения, а не специально поставленный эксперимент для исследования какого-либо явления природы. Из их утверждений следовала возможность познания природы путем мысленного воссоздания ее. При этом совершенно игнорировался факт, что философы никогда бы не пришли к своим выводам о природе, если бы не опирались на известные экспериментальные данные.

Не менее чуждо натурфилософии и математическое вмешательство в исследование явлений. Сторонники этого философского направления считали, что использование тех или иных формальных математических приемов может в некоторых случаях оказаться более или менее эффективным, но бесспорным им представлялось одно: только развитие идей представляет путь к познанию.

Любое устное выступление или публикация, в которой затрагивалась сущность общепринятых в Германии того времени философских взглядов, вызывали поток гнева и возмущения сотрудников редакции «Журнала научной критики». Понятно, что сущность рассуждений Поля и его сторонников и их отношение ко всем инакомыслящим не способствовали развитию естествознания.

Следует отметить, что отношение истинных ученых к натурфилософии было крайне отрицательным. Они были категорически против всяких попыток возмещать недостаток знаний недостоверными построениями и гипотезами. Против рассуждений натурфилософов активно выступали такие ученые, как Р. Майер, Ю. Либих, А. Гумбольдт и др., справедливо отмечая, что именно

¹ Энгельс Ф. Людвиг Фейербах и конец классической немецкой философии.— Маркс К., Энгельс Ф. Соч. 2-е изд., т. 21, с. 304—305.

по вине натурфилософов развитие естествознания в Германии задержалось на десятилетия.

Необходимо добавить, что подобное отношение к естественным наукам находило поддержку у «высокообразованнейших» монархов. Небезынтересна в этом смысле позиция короля Пруссии Фридриха II. Он открыто издевался над теми учеными, результаты исследований которых по независящим от них причинам не удалось воплотить в практику. Фридрих II вполне серьезно считал, что ученые, занимающиеся изучением электричества и химии, желают только одного — удовлетворить свое любопытство. Такое отношение к науке нельзя объяснить экстравагантностью монарха: все это делалось с целью оправдать отказ этим ученым в материальной поддержке. В действительности же не наука была бесплодной, а «все делалось для того, чтобы она стала бесплодной». Именно в Германии научные открытия и изыскания наталкивались на преграды, обусловленные казенно-церковной рутинной, невежеством правителей, цензурой и живучестью схоластики. Для передовых людей был ясен тупик, в котором оказалось старое метафизическое знание, и они вступили в трудный поединок со схоластикой и церковным мракобесием. Таковы были взаимоотношения науки и государственной власти в Германии того времени.

О положении ученых-физиков Германии того времени справедливо высказывался русский физик А. Г. Столетов. «В области физики,— писал он,— борьба находила себе всего более пищи. Менее обработанная, чем астрономия, более разносторонняя, чем химия, физика особенно соблазняла натурфилософов. Какою благодарною темой для самых необузданных фантазий были явления электрические, с их полярной «любовью и ненавистью», с их таинственным отношением к процессам животного организма! Красивые и туманные дедукции стояли на первом плане; кропотливый труд экспериментатора, точный анализ математика были не в чести: они казались лишними и вредными при изучении природы... Нужна была особенная трезвость и ясность ума, чтобы устоять против общего течения».

В этих словах Столетова полностью обрисована та ситуация, в которой оказались ученые-физики Германии в 20—30-гг. прошлого столетия. Для тех, кто не

хотел подставлять себя под удары сокрушительной критики, оставался один путь: плыть по течению, созданному натурфилософами. Следование по этому пути означало отказ от экспериментов, отказ от математического аппарата при обсуждении результатов опытов. Изучать природу разрешалось, только подсматривая за ней, но ни в коем случае не вмешиваясь. Все остальное — только работа мысли. Для истинного ученого этот путь был неприемлем. Оставалась борьба. Ом знал, что его ждет, и смело выбрал второй путь, вызвав тем самым бурю негодования в стане натурфилософов, от лица которых и выступил Полю.

Чем же конкретно вызвана та злоба и словесная истеричность Поля и его единомышленников, столь явно проступающие в отзыве на теоретическую работу Ома? Это можно понять, ознакомившись с философской позицией Ома, которая однозначно проявляется в его теоретической работе.

Гневные выступления Поля вызваны тем, что ученый в своих трудах последовательно занимал позиции стихийного материализма. Его рассуждения о роли опыта и математических расчетов в познании природы существенно расходились с учением натурфилософов, и реакция сторонников этого учения в отношении Ома вполне естественна. Экспериментатор в своих исследованиях подрывал основы общепринятого философского мировоззрения, и этого ему не могли простить.

Ом ставил свои опыты, имея представление об электричестве как о некотором материальном агенте, распространяющемся в проводнике аналогично распространению теплоты в теле или воды по трубам под действием силы тяжести. Он без колебаний причисляет себя к сторонникам близкодействия, категорически отвергая рассуждения противоположного толка. Этой позиции Ом твердо придерживается в своих теоретических и экспериментальных исследованиях, несмотря на то, что сторонники дальнего действия в Германии того времени были еще сильны. «Я исходил из предположения, — пишет Ом в своей теоретической работе, — что электричество может передаваться от одного тела только непосредственно близлежащему телу и что непосредственная передача от одного элемента к другому, более отдаленному, не имеет места».

Ом не только убеждал и защищался — он наступал. Объясняя назначение своей теоретической работы, он пишет, что хотел в ней «высказать математический характер исследования природы в противоположность натурфилософским бредням наших дней».

Понятно, что сторонники Поля не хотели, чтобы подобное отношение к познанию природы, а следовательно, и к их учению получило поддержку в ученом мире, и, зная Ома как искусного экспериментатора и способного математика, не могли допустить, чтобы ему были созданы благоприятные условия для работы, опасаясь того, что подобный удар по их построениям мог повториться.

Однако Ом остался до конца верен своим убеждениям, несмотря на злобное шипение и активное давление со стороны лагеря идеалистов. Он не склонил перед ними головы, отстаивая в своих последующих работах материалистические позиции. Эта научная смелость стоила ему многих лет нравственных страданий. Необходимо помнить, что в описываемое время все или почти все руководящие посты в правительстве Пруссии были заняты лицами, стоявшими на тех же философских позициях, что и Полю. Не составляло исключения и министерство по делам вероисповеданий, которое ведало вопросами религии, здравоохранения и просвещения, возглавляемое бароном фон Альтенштейном, который был глубоко убежден в государственном значении философии идеализма. Без сомнения, ученый, философские взгляды которого шли вразрез со взглядами высокопоставленных особ, не мог рассчитывать на академическую карьеру.

Но Ом не собирался сдавать свои позиции, несмотря на то что его материальное положение было весьма затруднительным. 6 марта 1828 г. он посылает в министерство письмо, в котором просит обратить внимание на содержание и тон статьи Поля и оставляет за собой право на защиту своей работы от «безрассудных утверждений» оппонента.

Министерство оставило письмо Ома без ответа. Поддержки ждать было неоткуда, и ученый предпринимает самостоятельные попытки выступить в печати против критики Поля. Для этой цели он подготовил статью в «Литературную газету», которую редактировал Бран-

дес. Однако Брандес в одном из писем настойчиво отговаривает ученого от этого шага, имея на то свои причины. Но письмо Брандеса не успокоило Ома. Он обращается к Швейггеру с просьбой о предоставлении страниц издаваемого им журнала для ответа Полю. Швейггер также отговаривает ученого от этого шага.

Несмотря на уговоры друзей, Ом все-таки поместил свой ответ на критику Поля в журнале «Архив» Кастнера (№ 14, 1828 г.). Однако его положение, как и предсказывал Брандес, от этого не изменилось. По-прежнему его работа не была признана. По-прежнему его жалование было мизерным и не было никакой надежды получить подходящее место.

Ожидая решения министерства, Ом не покидает Берлин. Он, как и прежде, занимается научными исследованиями, по-прежнему пишет во все инстанции, ведающие педагогическими кадрами, и по-прежнему остро и даже колко отвечает на нападки, невзирая на должности и титулы этих «всезнающих» критиков. Близкие друзья и коллеги поддерживали Ома в это трудное для него время. Но главное, что помогло Ому выстоять,— это твердая уверенность в том, что полученный им закон является именно тем законом, который правильно описывает процесс протекания электрического тока в цепи, и убеждение, что будущее рассудит его с современниками лучше, чем все опровержения.

ОТ ОТКРЫТИЯ ДО ПРИЗНАНИЯ

Закон, поисками которого занимались многие исследователи, был установлен Омом. Ученый был глубоко убежден в справедливости полученного им соотношения между электрическими величинами, характеризующими процесс протекания тока в цепи. Однако, как мы уже говорили, ученый мир не оценил по достоинству работу Ома. Желая получить справедливую оценку своих результатов, Ом рассылает экземпляры своей работы во все научные учреждения Германии.

Высоким научным авторитетом в те годы пользовалась Французская академия наук, где работали Лаплас, Ампер, Фурье, Араго и другие светила науки. Ом направляет в Париж свою монографию вместе с сопроводительным письмом. «Посылая вам работу по математической теории электрического тока, — пишет Ом, — я руководствовался желанием представить эту слабую попытку на рассмотрение вашего ученого общества, которому эта теория обязана больше, чем самому автору, хотя, быть может, вы найдете в ней и некоторые оригинальные рассуждения. В своем исследовании я имел случай воспользоваться методом, который, как мне кажется, является новым для введения в расчет молекулярного действия. Также я имел случай сравнить его с методом, автором которого является Лаплас, и который с большим успехом использовался

во многих физико-математических исследованиях. Я счел нужным сделать несколько замечаний, которые, если я не ошибаюсь, проливают свет на природу этого метода. Если в этих замечаниях я прав, то знаменитый автор «Небесной механики» был бы, без сомнения, первым, который бы признал это. Если же то, что я предлагаю — неверно, то мой авторитет много слабее для того, чтобы предъявить когда-нибудь хотя бы малейшее обвинение этому человеку, глубокоуважаемому среди людей науки. Вот и все, что я полагал нужным высказать в пользу моего исследования. Остаюсь с уважением, Ом». Ответ за подписью Фурье, который в это время выполнял обязанности неперменного секретаря Академии, пришел быстро. В письме сообщалось: «Академия получила труд, озаглавленный «Теоретические исследования электрических цепей», который Вы ей адресовали. Я имею честь передать Вам благодарность Академии. Ваш труд передан в библиотеку Академии и согласно Вашему желанию назначена комиссия (Дюлонг и Ампер) для рассмотрения этого труда и представления затем доклада Академии».

Однако отзыва на свой труд Ом так и не дождался. Сейчас трудно судить о причине этого. Возможно члены комиссии не заметили в нем ничего оригинального. Может быть, они были настолько увлечены собственными исследованиями, что не нашли времени детально ознакомиться с работой столь большого объема. Не менее вероятен и тот факт, что члены Академии устали от досаждавших им псевдоученых типа изобретателей «вечного двигателя». Во всяком случае, факт остается фактом: поддержки, на которую так рассчитывал Ом, получить не удалось. Не получил он ответа и от других лиц и учреждений, которым послал экземпляры своей работы. Год упорных теоретических исследований ничего не изменил в судьбе Ома.

А между тем срок берлинской командировки заканчивался и администрация кельнской коллегии все настойчивее требовала возвращения Ома для продолжения преподавательской деятельности. Но он не хочет уезжать, не получив должной оценки своей работы. Возвращение в Кельн возможно, отвечал ученый, только в качестве победителя, а не жертвы борьбы мировоззрений. Даже делегация учащихся коллегии, прибыв-

шая, чтобы склонить его к возвращению, не смогла изменить принятого решения. Только здесь, в Берлине, одном из научных центров Германии, можно продолжать исследования, утверждать свое открытие и добиваться признания. Он пишет в министерство краткое письмо, содержащее только две просьбы: освободить его от преподавательской работы в Кельне и предоставить ему работу, соответствующую его способностям, здесь, в Берлине. Ученый справедливо считал, что полученные результаты дают ему право на должность профессора.

Но не так считали те, кто сидел в министерстве. Тайный советник министерства, примыкавший к тому же философскому направлению, что и Поль, И. Шульце, не утомляя себя излишними заботами, предложил Ому работу в Военной школе Берлина с нагрузкой... три часа в неделю. В этом же письме Шульце настоятельно советует просителю согласиться с его предложением. Новое место устраивало Ома в том смысле, что давало возможность заниматься научными исследованиями, но вопрос о содержании был для него далеко не праздным. Ученый решил посоветоваться с братом, на иждивении которого, по существу, находился, одновременно высказав недоумение министру вероисповеданий. Мартин советует Георгу соглашаться на предложение Шульце, заранее оговорив, что это соглашение принимается только на один год. За это время брат надеется с помощью Швейггера и Пфаффа добиться для него должности экстраординарного профессора. Эту же мысль, советует далее Мартин, следует высказать и министру при возможной встрече.

Ома убеждают советы Мартина, и он дает согласие на предложенные ему условия с необходимыми оговорками. Жизнь на грани бедности ему была привычна; для него важнее было иметь возможность проводить научные исследования, менее всего волнуясь о материальном благополучии.

После выхода из печати монографии Ом, решая вопрос о месте своей дальнейшей работы, не оставлял научных исследований. Уже в 1829 г. в «Журнале физики и химии» появляется его статья «Экспериментальное исследование работы электромагнитного мультипликатора», в которой были заложены основы теории элек-

троизмерительных приборов (рис. 10). Здесь же Ом первым из ученых предложил единицу сопротивления, в качестве которой он выбрал сопротивление медной проволоки длиной 1 фут и поперечным сечением 1 квадратную линию. Издатель этого журнала, рецензируя статью Ома, отметил ясность изложения и точность его логических и математических построений.

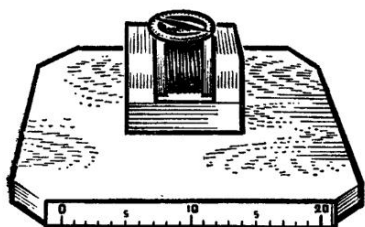


Рис. 10. Гальванометр, изготовленный Омом.

В 1830 г. появляется новое исследование Ома «Попытка создания приближенной теории униполярной проводимости». Эта работа вызвала интерес у многих ученых. О ней очень благоприятно отзывался Фарадей. В своих классических исследованиях (13 серия) Фарадей пишет о результатах научных поисков Ома: «Учение об униполярности, как оно ранее излагалось,... несовместимо с моим взглядом на ток... Если бы могло существовать униполярное тело, то есть такое, которое, проводя одно электричество, не проводило бы другого, то каких совершенно новых характерных особенностей мы вправе были бы ожидать от проходящих сквозь него токов одного электричества и как сильно они должны бы отличаться не только от обыкновенных токов, в которых, по нашему предположению, оба электричества движутся одновременно в противоположных направлениях в равных количествах, но также и друг от друга. Однако Беккерель, Эндриус и др. этим фактам, которые сами по себе превосходны, постепенно дали более правильное объяснение, и мне стало известно, что проф. Ом довел эту работу до конца в своем детальном исследовании всех этих явлений; он показал, что такие же явления могут иметь место в случае хороших проводников, и затем доказывает, что в мыле и т. п. многие из этих явлений обусловлены просто веществами, выделяющимися путем электролитического действия».

В связи с этим вызывает недоумение отзыв на эту работу Ома шведского химика, издателя журнала «Прогресс физических наук» Я. Берцелиуса. После

выхода из печати «Теоретических исследований электрических цепей» Берцелиус сумел правильно понять и оценить эту работу. «Хотя некоторые из результатов Ома и окажутся, может быть, впоследствии не вполне удовлетворительными,— писал в своем журнале Берцелиус,— тем не менее попытка построить и здесь наши знания на такой же твердой почве, на какой стоят закон тяжести и движения, является большой заслугой». Однако о работе по униполярной проводимости Берцелиус по непонятным причинам высказался более категорично. Он заявил: «Объяснения Ома очень просты, однако не совсем достаточны. Теория, которая не может объяснить все известные явления с позиций униполярной проводимости, не может быть правильной».

Ом был удивлен содержанием отзыва Берцелиуса. Все издаваемые Омом работы всегда были тщательно выверены. Он знал своих «детей», как он называл научные работы, и готов был с кем угодно скрестить шпаги, защищая их. Друзья и коллеги с трудом сдерживали воинственный пыл ученого, убеждая его подождать, пока само время подтвердит правильность установленных им связей. Швейггер в письме пытается успокоить ученого: «Кажется он (Берцелиус.— В. К.) даже сам себя не считает физиком; да по-моему у него нет и физического чутья, так что слишком много чести для него в подробном отчете на заметку, вообще не заслуживающую внимания... Не волнуйся, со временем ты встретишь более спокойные условия, которых я тебе искренне желаю. Совершенно не обращай внимания на подобные вещи».

Вместо того чтобы продолжать научные исследования, Ом вынужден тратить время и энергию на научную и околонаучную полемику. Быть спокойным трудно: от признания его открытия зависит назначение на ту или иную должность, что, в свою очередь, связано с материальным благополучием и возможностью проводить дальнейшие исследования. Администрация не спешила создавать ученому условия, которые бы содействовали успешному творчеству. Случайные заработки, неподходящее место работы, отсутствие условий для научных исследований терзают ученого, выматывая физические и нравственные силы. Несправедливая критика буквально выводит его из равновесия, не дает

возможности сосредоточиться на исследуемых проблемах. Его отчаяние в это время можно почувствовать, прочитав письмо, посланное Швейгтеру: «Рождение «Электрических цепей» принесло мне невыразимые страдания, и я готов проклясть час их зарождения. Не только мелкие придворные людишки, которым не дано понять чувства матери и услышать крик о помощи ее беззащитному ребенку, издают лицемерные сочувствующие вздохи и ставят на свое место обманщика-нищего, но даже те, которые занимают одинаковое положение со мной, злорадствуют и распускают злобные слухи, доводя меня до отчаяния. Однако время испытаний пройдет или скорее всего уже прошло; о моем отпрыске позаботились благородные люди. Он встал на ноги и впредь будет твердо стоять на них. Это толковый ребенок, которого родила не чахлая больная мать, а здоровая, вечно юная природа, в сердце которой хранятся чувства, которые со временем перерастут в восхищение».

Только в 1841 г. работа Ома была переведена на английский язык, в 1847 г. — на итальянский, в 1860 г. — на французский¹.

Бесконечные обращения к административным органам относительно подходящего места работы не привели к успеху. Ом решился на последний шаг: он написал письмо с просьбой о работе королю Баварии Людовику I. Это письмо было передано в министерство, сотрудники которого, чтобы затянуть решение вопроса, вновь запросили отзыв на работу Ома. Рецензентами на этот раз были профессора Шталь и Зибер. Шталь ответил очень уклончиво: конечно, заслуги Ома неоспоримы, но если уже предлагать ему место, то скорее профессора математики, чем физики. Все равно рано или поздно он получит такое место. Просто нужно ждать случая. Еще более замысловатым был ответ Зибера. Было отчего проклинать свое любимое детище.

¹ На русский язык работы Ома, по-видимому, не были переведены. Это можно объяснить тем, что русские ученые-физики того времени (Ленц, Якоби и др.) свободно владели немецким языком. Основные положения исследований Ома они изложили в своих трудах, написанных на русском языке, и русские читатели, изучая эти труды, имели возможность познакомиться с открытием Ома. См. отрывок из работы Ленца и Якоби на с. 89—90.



Георг Ом (1845 г.). Рисунок с натуры Е. Гейделоффа.

Наконец, 16 февраля 1833 г., через семь лет после выхода из печати статьи, в которой было опубликовано его открытие, Ому предложили место профессора физики во вновь организованной политехнической школе Нюрнберга. Ом без колебаний согласился и немедленно выехал к новому месту работы. Назначение устраивало его, и он с воодушевлением приступил к работе, которая вполне соответствовала его желаниям. Через полгода он стал заведовать также кафедрой математики и исполнять должность ин-

спектора по методике преподавания. В 1839 г. Ома назначили ректором школы в дополнение ко всем имеющимся у него обязанностям. Но, несмотря на большую загруженность, Ом не оставляет научную работу.

Направление научных поисков Ома в нюрнбергский период находится в стороне от проблем электричества. После некоторого времени, необходимого для осуществления ряда организационных мероприятий, ученый приступает к исследованиям в области акустики. Первая работа по акустике была опубликована в 1839 г. и содержала предварительные сведения о предмете и цели предполагаемых исследований. Вторая работа, посвященная вопросам акустики, по объему информации и по своей значимости вряд ли уступит той, в которой дано описание открытого им закона электрических цепей. В этой статье ученым было дано описание опытов, которые он проводил с сиреной.

Вопросами акустики, в частности звучанием сирены, занимались многие ученые, и Столетов имел все основания назвать сирену «любимым музыкальным инструментом физиков». Из них следует упомянуть Зеебека, который считал, что ухо непосредственно ощущает форму звуковой волны и в зависимости от ее формы человек различает тембр того или иного источника звука. По утверждению Зеебека, две волны, сдвинутые

одна относительно другой на различные доли периода, будут давать при сложении результирующие волны различной формы; при этом они будут восприниматься ухом как звуки различного тембра. Выводы этого ученого были подвергнуты сомнениям.

Ом решил экспериментально исследовать, при каких обстоятельствах возникает тон определенной частоты, и детально изучить вопрос о тембре звука. Экспериментальная часть работы состояла в том, чтобы, изменяя число отверстий сирены, их расположение и скорость вращения диска, перекрывающего отверстия, через которые подается воздух, зарегистрировать частоты, которые при этом издает сирена. Затем, используя математический аппарат, разработанный Фурье, он приступил к решению поставленной задачи.

Анализируя полученные экспериментальные данные, Ом нашел, что частоты, издаваемые сиреной, соответствуют членам, а амплитуды колебаний — коэффициентам формулы Фурье (ряд Фурье). Из этого Ом сделал вывод: любой звуковой сигнал представляет собой сочетание основного гармонического колебания и нескольких дополнительных гармоник. Частоты дополнительных гармоник кратны частоте основного тона. Согласно утверждению Ома, ухо анализирует звуковую волну, разлагая ее на простые гармоники. В результате возникает ощущение некоторого звука определенного тембра. Форма же волны совершенно не влияет на тембр звука, и высказывания Зеебека не отвечают действительности.

Трудность экспериментальных исследований заключалась в том, что Ом должен был приглашать для прослушивания звуковых сигналов сирены своих друзей, так как сам не обладал музыкальным слухом и не мог проверить справедливость своих математических исследований.

Результаты своих акустических исследований Ом сформулировал в виде закона, получившего впоследствии название акустического закона Ома. К сожалению, этот закон Ома разделил судьбу его закона для электрических цепей. Только в 1862 г., после того как соотечественник Ома Г. Гельмгольц более тонкими экспериментами с использованием резонаторов подтвердил результаты Ома, были признаны заслуги нюрн-

бергского профессора в установлении акустического закона.

Продолжение научных исследований осложнялось большой педагогической и административной загруженностью. 6 мая 1842 г. Ом написал прошение королю Баварии о снижении нагрузки. К удивлению и радости ученого, его просьба была быстро удовлетворена. Признание его работ все-таки приближалось, и этого не могли не знать те, кто стоял во главе министерства вероисповеданий. К этому времени Ому было уже более пятидесяти лет. Из них пятнадцать он отдал борьбе за утверждение своего открытия. Годы давали себя знать; жизнь, полная лишений, не способствовала его научному творчеству. Он мог бы сделать гораздо больше, если бы условия, в которых он жил, были чуть менее суровыми.

ПРИЗНАНИЕ

Работу Ома «Теоретические исследования электрических цепей» после ее выхода в свет оценили только его ближайшие друзья и единомышленники — Поггендорф, Фехнер, Пфафф и др. Однако эта горстка людей не могла разрушить ту стену непонимания, которая существовала между ними и остальным миром. В 1831 г. Фехнер в работе «Измерения гальванической цепи» описал опыты, поставленные с целью проверки справедливости соотношения, найденного Омом. Результаты исследований Фехнера блестяще подтвердили закон Ома. Более того, Фехнер нашел возможным распространить этот закон на внутренний ток батареи.

Ом знал о работах Фехнера, вел с ним переписку относительно уточнения некоторых частных фактов. По обоюдному согласию они отказались полемизировать на страницах печати, разрешая все спорные вопросы в личной переписке. Но результаты Фехнера не означали всеобщего признания: этот единичный факт подтверждал правоту ученого, но только и всего. Настоящее признание пришло к Ому лишь после того, как его труды были достойно оценены за рубежом. Германия была последней страной, признавшей ученого.



Э. Х. Ленц



Б. С. Якоби

Раньше всех из зарубежных ученых Закон Ома признали русские физики. Уже в 1832 г. Э. Х. Ленц (1804—1865) применил закон Ома в первом количественном исследовании электромагнитной индукции. Затем в 1835 г. Б. С. Якоби (1801—1874) в трактате «О применении электромагнетизма для приведения в движение машин» писал: «Теория, предложенная Омом... так проста и настолько хорошо согласуется со всеми явлениями, происходящими в гальваническом элементе, что я не поколебался принять ее и положил ее в основу моих работ по конструированию моего магнитного аппарата». Через три года в работе «О законах электромагнитов», написанной Якоби совместно с Э. Х. Ленцем, русские ученые вновь отмечали справедливость полученного Омом закона. «Основой для расчета элементов гальванической цепи,— писали они,— является закон Ома, получивший строгое и многократное подтверждение в прекрасных работах других физиков; он, как известно, выражается формулой

$$F = \frac{A}{L + l},$$

где F — сила тока, A — сумма действующих в цепи электродвижущих сил, L — полное сопротивление самой цепи, а l — сопротивление включенного в нее проводника...»

Через два года в письме к Фарадею Якоби писал: «...Я не могу не сделать замечания, что испытания, которыми сейчас занимаются, дали бы гораздо более плодотворные результаты для науки и для ее приложений, если бы они сопровождались точными измерениями, которые можно было бы вычислить по формулам Ома». Якоби считал теорию Ома весьма плодотворной и способствующей «успехам науки и открытию значительно большего числа важных фактов... Но, к сожалению, недостаточно известной в Англии. Я не думаю, чтобы принцип, из которого она (теория Ома. — В. К.) вытекает, был свободен от всяких возражений, но я знаю, что простые формулы, которыми она пользуется, объясняют все явления гальванизма, — даже те, которые сначала кажутся наиболее странными».

Выступая на собрании Академии наук 29 января 1841 г., Якоби вновь с высокой трибуны пропагандирует открытия Ома. «Я с удовольствием воспользовался этим случаем, — заявил в начале доклада Якоби, — для того чтобы высказаться по поводу теории г-на Ома, которую, как мне кажется, можно рассматривать как один из самых замечательных успехов в этой области физики. Она собирает большое число фактов под одним углом зрения; она объясняет очень хорошо все явления, относящиеся к силе гальванического тока; наконец, эта теория была подтверждена и расширена наиболее выдающимися физиками. Закон Ома, известный в Германии в течение тринадцати лет, начинает распространяться в Англию и даст, как я надеюсь, новое направление ревностным экспериментаторам этой страны. Во Франции этот самый закон через десять лет после его опубликования объявляется новым открытием и принимается как таковое».

И Ленц, и Якоби не только пропагандировали открытие Ома, но и использовали его в своих работах. Более того, они неоднократно выступали против тех экспериментаторов, которые в своих исследованиях приходили к выводам, противоречащим закону Ома.

В 1842 г., после того как работа Ома была переведена на английский язык, пришло первое официальное признание заслуг ученого. 5 мая 1842 г. Лондонское Королевское общество наградило его золотой медалью и избрало своим членом. Награждение Ома было важ-

ным актом для его международного признания: Ом был вторым ученым Германии, удостоенным такой чести. В протоколе заседания Королевского общества было записано: «В своих трудах доктор Ом установил закон электрической цепи. Он показал, что обычные путанные различия между силой и количеством — необоснованны и все выводимые из этого положения объяснения закона совершенно ложны. Он доказал теоретически и экспериментально, что действие одной цепи равно сумме электродвижущих сил, деленной на сумму сопротивлений, и что если это частное для любых двух токов — вольтова и термоэлектрического — одинаково, то ее действие остается одним и тем же. Кроме того, он нашел способ с точностью определять отдельные сопротивления и электродвижущие силы в цепи. Эти исследования пролили немалый свет на теорию электрического тока».

Большую роль для признания в Англии работ Ома сыграли русские физики. Это подтверждает заключительная часть цитированного протокола, где говорится, что «самые выдающиеся ученые этой эпохи — Гаусс, Ленц, Якоби — с успехом пользовались законом Ома». Правда, к чести самого ученого следует сказать, что он не переоценивал своих заслуг в установлении закона электрических цепей. Со свойственной ему скромностью он писал: «Я чувствую, что такое отличие является слишком большим за работу, которая в то время была выполнена только в общих чертах».

Наиболее старательным пропагандистом идей Ома и его верным сторонником в Англии был Ч. Уинстон (1802—1875), известный автор мостовой схемы. Несмотря на то что идея этой схемы была высказана раньше Уинстона, авторство принадлежит последнему, так как только он теоретически обосновал и рассчитал этот метод, используя для этой цели закон Ома, тогда как его предшественники обосновывали возможность использования этой схемы скорее интуитивно, чем научно.

Очень эмоционально отзывался о заслугах немецкого ученого его американский коллега Дж. Генри (1797—1878). «Когда я первый раз прочел теорию Ома, — писал он, — то она мне показалась молнией, вдруг осветившей комнату, погруженную во мрак».

Любопытный казус произошел с французским ученым М. Пулье. Хотя на французский язык работа Ома полностью была переведена только в 1860 г., однако отдельные части его теоретических рассуждений были переведены вскоре после их публикации в Германии. Пулье, ознакомившись с теоретическими исследованиями Ома, решил экспериментально проверить соотношение, установленное немецким ученым, не зная о его предшествующей экспериментальной работе. Естественно, результаты Пулье были положительными. После того как Пулье опубликовал свои данные по проверке закона Ома, этот закон был принят французскими физиками и получил название закона Пулье. Впоследствии Пулье безоговорочно признал приоритет Ома.

В Италии закон Ома первым из ученых принял и настойчиво пропагандировал известный физик Карло Маттеуччи (1811—1868).

Признанию работ Ома способствовали и исследования, проводимые с целью опровергнуть его открытие с помощью более чувствительной аппаратуры. Его соотечественник Р. Кольрауш (1809—1858) в 1848—1849 гг., проводя измерение напряжения на полюсах гальванической батареи с помощью изобретенного им электрометра, пришел к тем же результатам, что и Ом более 20 лет назад. Г. Кирхгоф без колебаний принял закон Ома и положил его в основу своих известных работ по разветвленным цепям. Но даже еще в 1852 г. французский физик М. Депре (1843—1918) писал, что «закон Ома никак не представляет собой точного выражения фактов», хотя в это время уже весь ученый мир, без каких-либо сомнений, пользовался формулами, установленными Омом.

ПОСЛЕДНИЕ ГОДЫ

Родина ученого, как уже отмечалось, была последней страной, признавшей его заслуги. Почти двадцать лет ученый жил в ожидании этого факта. В 1845 г. его избирают действительным членом Баварской академии наук. В 1849 г. шестидесятилетнего ученого приглашают в Мюнхенский университет на должность экстраординарного профессора. В этом же году указом короля Баварии Максимилиана II он назначается хранителем государственного собрания физико-математических

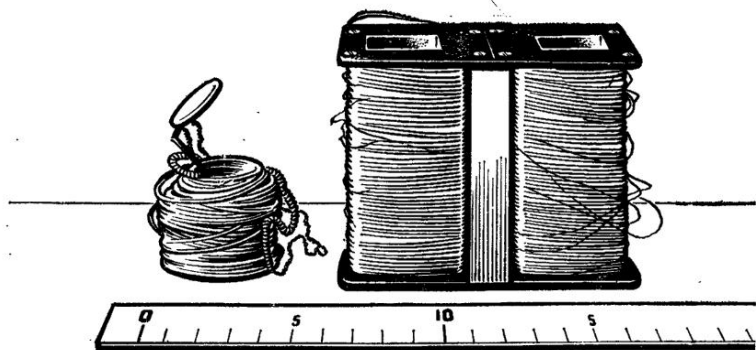


Рис. 11. Катушка и электромагнит из собрания приборов, изготовленных Омом.

приборов с одновременным чтением лекций по физике и математике (рис. 11). Кроме того, в это же время его назначают референтом по телеграфному ведомству при физико-техническом отделе Министерства государственной торговли.

Но, несмотря на все поручения, Ом и в эти годы не прекращал занятия наукой. В мюнхенский период Ом занимался научной работой в области, далекой от его прежних увлечений. Не прерывая педагогической деятельности, он экспериментально и теоретически исследовал и объяснил наблюдаемое с помощью одноосных кристаллов явление интерференции плоскополяризованного света. Результаты этих исследований были им оформлены в двух статьях, общим объемом свыше ста страниц. Однако завершение этих работ не принесло радости ученому. Оказалось, что все его выводы, по крайней мере в главном, не новы, а уже открыты и опубликованы норвежским физиком Лангбергом. Ом был очень расстроен таким совпадением случайностей, но сумел перебороть себя и правильно воспринять случившееся. Во введении ко второй работе он писал: «Я не знаю, радоваться я должен или печалиться, что не заметил эту интереснейшую статью». И здесь можно понять Ома: его классические исследования очень удачно дополняли результаты Лангберга.

Кроме чисто исследовательской работы, Ом много времени уделял демонстрационному эксперименту. Не довольствуясь имеющимся оборудованием, он сам раз-

рабатывает установки, которые позволяли бы четко и эффективно показать то или иное явление. Результаты одной из своих демонстрационных разработок ученый изложил в статье «Описание одного простого и легкого в изготовлении прибора для постановки демонстрации по интерференции света». Сконструированная им установка позволяла очень эффектно демонстрировать это оптическое явление, не требуя при этом дорогого лабораторного оборудования и высокого экспериментаторского мастерства у демонстратора.

Даже в преклонном возрасте Ом не прекращал научных исследований. Сам факт появления научных публикаций в эти годы говорит о том, что ученый мог бы сделать много больше, если бы ему были созданы благоприятные условия в годы его творческого подъема.

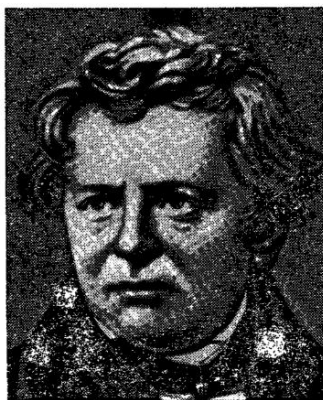
Наряду с научными исследованиями в продолжение всей жизни Ома волновали вопросы методики преподавания. Примечательно в этом отношении то, что его первая печатная работа была посвящена решению именно этих вопросов. Не менее примечательно и то, что его последняя работа также носит методический характер. В последние годы, когда к ученому уже пришло запоздалое признание, один из издателей, И. Л. Шрагг, предложил ему написать учебник физики. У Ома и раньше была такая мысль, он неоднократно возвращался к ней, но время и обстановка сдерживали его. После признания его работ Лондонским Королевским обществом Ом, получив огромную моральную поддержку, снова возвращался к этой мысли, но большая загруженность педагогической и административной работой не позволяла ему всерьез взяться за дело. Однако учебник был все-таки создан и в этом «повинна» создававшаяся обстановка.

Аудитория, в которой Ом читал свои лекции, была предназначена для преподавания гуманитарных дисциплин, и физики оказались в ней просто по счастливому недоразумению. Столы для записи лекций отсутствовали, и студенты могли только слушать лекции, не составляя конспектов. Для того чтобы студенты могли успешно приготовиться к экзаменам, Ому пришлось согласиться на создание учебника. Учебник был создан и размножен литографским способом. Таким

образом, неподходящая аудитория явилась тем последним толчком, который вызвал к жизни этот учебник.

Учебник физики был задуман Омом как капитальный труд. Об этом говорил на юбилейном заседании, посвященном Г. С. Ому, Е. Ломмель в 1889 г. Из его выступления следует, что Ом в своем учебнике хотел описать все тепловые, оптические и электромагнитные свойства тела, исходя из формы, величины и характера взаимодействия атомов, составляющих это тело. В окончательном виде этот труд должен был быть тем же для микрокосмоса, чем являются ньютоновы «Начала» для макрокосмоса. Однако завершить свою фундаментальную работу Ом не смог. Из всего задуманного он издал только первый том «Вклад в молекулярную физику». Все вопросы этого тома рассмотрены с привлечением аппарата аналитической геометрии в косоугольной системе координат.

Хотя Ом и без особого удовольствия брался за работу, но учебник был подготовлен с большой любовью к делу. Изложение было доступным, ясным, логичным. Пониманию сущности изложенного способствовали более 150 чертежей и рисунков, иллюстрирующих текст учебника. Сам он впоследствии писал, что составление учебника принесло ему не только много работы, но и много радости. После смерти ученого король Баварии предложил государственному советнику фон Герману выкупить у сестры Ома второй том рукописи под названием «Динамика образования твердого тела». Однако степень его готовности была недостаточной для публикации. Все-таки приобретенный второй том и сейчас, по-видимому, хранится, не дождавшись исследователя, в отделе рукописей Баварской государственной библиотеки.



В 1852 г. Ом получил наконец-то должность ординарного профессора физики. Ом в последние годы жизни.

нарного профессора, о которой мечтал всю жизнь. В 1853 г. он одним из первых награждается только что учрежденным орденом Максимилиана «за выдающиеся достижения в области науки». С этим орденом ученый изображен на одном из последних портретов. Но признание пришло слишком поздно. Силы уже были на исходе. Вся жизнь была отдана науке и утверждению сделанных им открытий.

Вступив в новый 1854 г., Ом почувствовал, что силы начинают покидать его. Здоровье не позволяло, как прежде, заниматься научной и педагогической деятельностью. словно предчувствуя близкий конец жизни, Ом в предисловии к своему учебнику пишет: «Я заставлял себя работать в сложившихся условиях, быть может, ценой собственного здоровья». Описывая действие протекания тока по проводникам — теорию Ампера, он пытается по-своему пересмотреть этот вопрос, но заключает эти рассуждения словами: «...сомневаюсь, хватит ли

у меня сил, чтобы вернуться к прежним исследованиям.

В начале 1854 г. Ом перенес сердечный приступ. Но через некоторое время оправился настолько, что смог продолжать чтение своих летних лекций. Однако его жизненные силы слабели и король Максимилиан издал указ от 28 июня 1854 г. об освобождении Ома от обязательных лекций. «Мы, принимая во внимание преклонный возраст и слабое здоровье профессора Г. С. Ома, — говорится в указе, — освобождаем его от обязательного чтения лекций по экспериментальной физике».

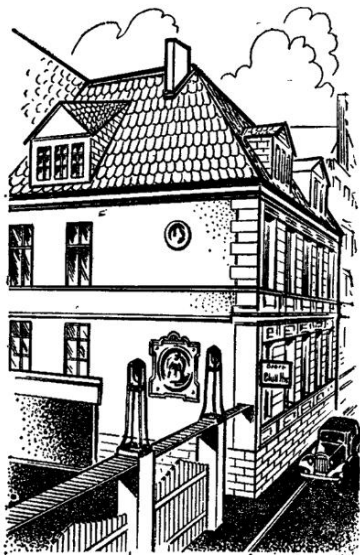


Рис. 12. Мемориальная доска, установленная на стене кельнской гимназии.

В четверг 6 июля 1854 г. в половине одиннадцатого вследствие повторного удара знаменитый ученый в возрасте 65 лет скончался. В воскресенье 9 июля в пять часов после полудня он был похоронен на старом южном кладбище города Мюнхена.

Полное собрание его трудов вышло в свет почти через сорок лет после смерти ученого. Лишь в 1895 г. в Мюнхене ему был поставлен памятник. В 1939 г. на здании кельнской коллегии была установлена мемориальная доска (рис. 12), содержащая следующий текст: «Георгу Симону Ому, известному физику, который в должности учителя в старой кельнской гимназии открыл в 1826 г. основной закон электрического тока, 6 марта 1939 г. в день 150-летия со дня его рождения установлена эта памятная доска».

ОМ КАК ЧЕЛОВЕК И УЧИТЕЛЬ

Несмотря на трудные условия, в которых постоянно находился Ом, он сохранил добрый характер, веру в людей и через всю жизнь пронес любовь к своим ученикам. Его внешний облик можно представить по содержанию книги, которую написал один из его учеников, позднее профессор Фридрих Манн. В описании Манна Ом предстает энергичным, подвижным, с мужественным лицом, среднего роста, плотным, с прямой осанкой. Сгорбленным ученого никогда не видели — ни в болезни, ни в старости. Походка его была уверенной, шаги быстры и упруги. Его высокий лоб выдавал мыслителя; большие глаза светились умом. Рот был резко очерченным, в уголках губ можно было заметить легкую усмешку. Носил он длинный темно-синий костюм. В обоих карманах пиджака постоянно находились табакерки. Входил в аудиторию быстро, стремительно, что не вязалось с его возрастом. Был жизнерадостен и остроумен. Часто бывал задумчив. Говорил всегда мало, но содержательно. С шуткой указывал ученикам на их ошибки. Без горечи сносил свое стесненное положение, когда его работы не были признаны, и не зазнавался после того, как его труды получили международное признание.

За успешную и добросовестную преподавательскую деятельность Ом трижды получал денежную премию.

Администрация кельнской коллегии сообщала в Министерство, что выпускники Ома лучше других разбираются в математике и имеют более основательные знания, в чем несомненна заслуга Ома и успех разработанной им методики. Среди его бывших учеников имеются ученые, получившие широкое признание: математик Дирихле, астроном и математик Е. Гейс и др. Многие из воспитанников Ома пошли по стопам своего учителя, посвятив себя педагогической деятельности.

Духовная близость связывала Ома с родственниками, с друзьями, с учениками. Самые теплые отношения были у него с братом. Мартин был для него первым советчиком в личных делах и первым научным критиком его исследований. До самой смерти Ом помогал отцу, помня нужду, в которой тот жил, и постоянно высказывал ему благодарность за черты характера, которые тот воспитал в нем. Собственной семьи Ом так и не создал: он не мог делить своих привязанностей и полностью посвятил всю свою жизнь науке.

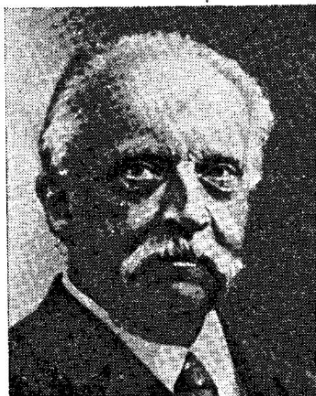
ЗАКОН ОМА ДЛЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

После того как в 1831 г. Фарадеем было открыто явление электромагнитной индукции, электротехника начала свой стремительный марш из лабораторий ученых в промышленность. Появляются первые генераторы постоянного, а затем и переменного тока. Важным преимуществом последних явилось то, что переменный ток можно было передавать потребителю с меньшими потерями.

Цепи переменного электрического тока имеют ряд особенностей, и, естественно, предполагали, что математический расчет их должен быть не таким, как расчет цепей постоянного тока. Однако Гельмгольц в работе «О процессе протекания индукционных токов...» показал, что закон Ома можно применять и для расчета электрических цепей переменного тока. Используя закон Ома для участка цепи, можно рассчитать сопротивление участков, содержащих различные элементы — индуктивность и емкость. Рассмотрим простейший способ расчета электрических цепей переменного тока.

Пусть генератор переменного тока создает в цепи ЭДС \mathcal{E} , которая изменяется по синусоидальному закону:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_0 \sin \omega t,$$



Герман Гельмгольц

где \mathcal{E}_0 — амплитудное значение ЭДС; ω — циклическая частота. В этом случае и сила тока, возбуждаемого во внешней части цепи, будет изменяться по такому же закону:

$$i = i_0 \sin \omega t.$$

Если значения емкости C и индуктивности L исследуемого участка цепи переменного тока пренебрежимо малы, то, используя закон Ома, найдем напряжение на участке цепи, сопротивление которого r :

$$U = ir = i_0 r \sin \omega t,$$

где $i_0 r = U_0$ — амплитудное значение напряжения. Из полу-

ченного следует, что если на некотором участке цепи практически отсутствуют индуктивность и емкость, то переменный ток и напряжение на концах этого участка совпадают по фазе.

Если индуктивность исследуемого участка пренебрежимо мала ($L \approx 0$), а значением емкости пренебречь нельзя, то результаты расчета будут несколько иными.

Зная, что мгновенное значение силы тока определяется выражением

$$i = \frac{dq}{dt},$$

можно найти количество электричества, протекающее за время t через поперечное сечение исследуемого участка:

$$q = \int_0^t i dt.$$

Подставляя в это выражение значение переменного тока, получим:

$$q = \int_0^t i_0 \sin \omega t$$

или после интегрирования:

$$q = -\frac{i_0}{\omega} \cos \omega t + C.$$

Постоянная интегрирования имеет смысл заряда, которым обладает конденсатор до включения его в

цепь. Если в цепь включают незаряженный конденсатор, то можно считать $C=0$ и тогда

$$q = \frac{i_0}{\omega} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right).$$

Так как емкость конденсатора выражается формулой

$$C = \frac{q}{U},$$

то напряжение на концах участка цепи, содержащего емкость, определим по формуле:

$$U = \frac{q}{C} = \frac{i_0}{\omega C} \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right).$$

Сравнивая формулы для силы тока и напряжения, замечаем, что на участке цепи, содержащем емкость, значение напряжения отстает от значения силы тока по фазе на $\frac{\pi}{2}$; то есть сила тока достигает максимума в тот момент, когда напряжение на исследуемом участке обращается в нуль.

Амплитудное значение напряжения для указанного случая определяется выражением

$$U_0 = \frac{i_0}{\omega C}.$$

Снова используя закон Ома для участка цепи, получим формулу, позволяющую вычислить емкостное сопротивление участка:

$$R_C = \frac{1}{\omega C}.$$

Приведем расчет участка цепи переменного тока, содержащего индуктивность; значение емкости этого участка учитывать не будем вследствие его малости. Зная, что при изменении тока в катушке индуктивности в ней возникает ЭДС самоиндукции, запишем для этого случая закон Ома:

$$U = ri - \mathcal{E}.$$

Пренебрегая активным сопротивлением исследуемого участка ($r=0$) и учитывая, что ЭДС самоиндукции определяется по закону

$$\mathcal{E} = - L \frac{di}{dt}$$

получим:

$$U = L \frac{di}{dt}$$

Для тока, изменяющегося синусоидально, найдем:

$$U = L \omega i_0 \cos \omega t,$$

или

$$U = L \omega i_0 \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right).$$

Сравнивая выражения для тока и напряжения, видим, что напряжение на концах участка цепи, содержащего индуктивность, опережает ток в нем по фазе на $\frac{\pi}{2}$. Амплитудное значение напряжения для этого случая определим по формуле:

$$U_0 = i_0 \omega L.$$

Используя закон Ома, найдем формулу для расчета индуктивного сопротивления участка цепи:

$$R_L = \frac{U_0}{i_0} = \omega L.$$

Расчет участка цепи переменного тока, содержащего активное сопротивление, индуктивность и емкость, проведенный с привлечением метода векторных диаграмм, дает для амплитудного значения напряжения на концах этого участка следующее выражение:

$$U_0 = i_0 \sqrt{r^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2}.$$

Сопротивление этого участка определяется формулой

$$R = \frac{U_0}{i_0} = \sqrt{r^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right)^2},$$

где R — полное сопротивление исследуемого участка цепи, r — активное сопротивление этого участка,

$R_p = \omega L - \frac{1}{\omega C}$ — его реактивное сопротивление.

Максимального значения переменный ток достигает при условии

$$\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0,$$

т. е. при значении частоты переменного тока

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}},$$

что соответствует периоду колебаний $T = 2\pi\sqrt{LC}$.

Если частота переменного тока, вырабатываемая генератором, достигнет частоты собственных колебаний тока в некотором контуре, подключенном к генератору, то в контуре будет наблюдаться резкое возрастание амплитуды колебаний, т. е. резонанс.

Приведенные рассуждения показывают плодотворность приложения закона Ома к расчету цепей переменного тока. Использование закона Ома для цепей переменного тока дает возможность вскрыть механизм электрического сопротивления основных элементов цепи — емкости и индуктивности. Это имеет большое значение в практике, так как неправильный расчет цепи может привести к резонансу силы тока или напряжения и вызвать повреждение приборов, включенных в эту цепь.

Расчеты цепей переменного тока позволяют добиться такого изменения индуктивности и емкости цепи, чтобы разность фаз между силой тока и напряжением была наименьшей. Это влечет за собой повышение мощности переменного тока.

С таким же успехом применяют закон Ома для расчета цепей, питающихся от генератора, ЭДС которого изменяется по какому-либо другому периодическому закону.

ЗАКОН ОМА В ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ФОРМЕ

Закон Ома для однородного участка цепи, все точки которого имеют одинаковую температуру, выражается формулой (в современных обозначениях):

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R}.$$

В таком виде формула закона Ома справедлива только для проводников конечной длины, так как входящие в

это выражение величины I и U измеряются приборами, включенными на этом участке.

Соппротивление R участка цепи зависит от длины l этого участка, поперечного сечения S и удельного сопротивления проводника ρ . Зависимость сопротивления от материала проводника и его геометрических размеров выражается формулой:

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

которая справедлива только для проводников постоянного сечения. Для проводников переменного сечения соответствующая формула не будет столь простой. В проводнике переменного сечения сила тока в различных сечениях будет одинаковой, однако плотность тока будет разной не только в различных сечениях, но даже и в различных точках одного и того же сечения. Различное значение будет иметь и напряженность, а следовательно, и разность потенциалов на концах различных элементарных участков. Усредненные значения I , U и R по всему объему проводника не дают информации об электрических свойствах проводника в каждой его точке.

Для успешного изучения электрических цепей необходимо получить выражение закона Ома в дифференциальной форме с тем, чтобы оно выполнялось в любой точке проводника любой формы и любых размеров.

Зная связь напряженности электрического поля с разностью потенциалов на концах некоторого участка $E = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{l}$, зависимость сопротивления

проводника от его размеров и материала и используя закон Ома для однородного участка цепи в интегральной форме $I = \frac{\Phi_1 - \Phi_2}{R}$,

найдем:

$$\frac{I}{S} = \frac{E}{\rho}.$$

Обозначив $\frac{1}{\rho} = \sigma$, где σ — удельная электро-

проводность вещества, из которого сделан проводник, получим:

$$j = \sigma E,$$

где $j = \frac{I}{S}$ — плотность тока. Плотность тока — это вектор, направление которого совпадает с направлением вектора скорости перемещения положительных зарядов. Полученное выражение в векторной форме будет иметь вид:

$$\vec{j} = \sigma \vec{E}.$$

Оно выполняется в любой точке проводника, по которому течет электрический ток. Для замкнутой цепи следует учесть тот факт, что в ней, кроме напряженности поля кулоновских сил, действуют сторонние силы, создающие поле сторонних сил, характеризующееся напряженностью $E_{\text{ст}}$. С учетом этого закон Ома для замкнутой цепи в дифференциальной форме будет иметь вид:

$$\vec{j} = \sigma (\vec{E}_{\text{кул}} + \vec{E}_{\text{ст}}).$$

В таком виде закон Ома входит в систему уравнений Максвелла, представляющую собой фундамент классической электродинамики.

ЗАКОН ОМА ДЛЯ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

Дальнейшее развитие физики привело к созданию теории электропроводности жидкостей и газов. В 1851 г. Кольрауш обобщил закон Ома, распространив его на жидкости. Экспериментальные исследования показали, что ток в жидкостях представляет собой направленное движение положительных и отрицательных ионов под действием электрического поля, созданного в жидкости.

Проводимость жидкостей и газов обусловлена количеством зарядов, проходящих через перпендикулярное полю поперечное сечение объема, в котором находится жидкость или газ. Кроме того, количество пере-

несенного электричества зависит от скорости перемещения заряженных частиц. Кольрауш показал, что закон Ома в дифференциальной форме выполняется и для жидкостей, причем удельная проводимость для жидкостей

$$\sigma = nq(v_+ + v_-)$$

и закон Ома имеет вид:

$$\vec{j} = qn(v_+ + v_-)\vec{E},$$

где q — заряд иона; n — число ионов, проходящих через единицу площади поперечного сечения за 1 с; v_+ и v_- — скорости положительных и отрицательных ионов.

Для газов в указанном виде закон Ома выполняется только при условии несамостоятельной проводимости и при малой плотности тока. Дело в том, что при больших значениях напряженности электрического поля скорости ионов будут настолько большими, что возможна вторичная ионизация. Вторичная ионизация приводит к увеличению концентрации носителей заряда, и пропорциональность между плотностью тока и напряженностью нарушается.

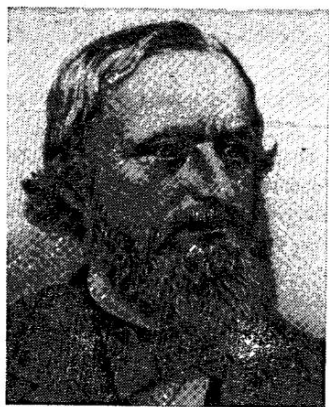
ПРИМЕНЕНИЕ ЗАКОНА ОМА

Все те, кто знаком с основами электротехники, представляют себе значение закона Ома в теории и практике электрических цепей. Не вдаваясь в подробности, перечислим некоторые примеры использования закона Ома при изучении электрических цепей.

В первую очередь, как уже упоминалось, закон Ома в виде

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R}$$

служит для определения сопротивления проводника. При наличии амперметра и вольтметра эта операция даже для неопытного экспериментатора не представит трудностей. Одним из наиболее точных и чувствительных способов определения сопротивления является метод мостовых схем, расчет которых производится также с использованием закона Ома.



Густав Кирхгоф

Применяя закон Ома для полной цепи, можно, изменяя внешнее сопротивление, вычислить ЭДС и внутреннее сопротивление источника тока, решив для этого систему двух соответствующих выражений:

$$I_1 = \frac{E}{R_1 + r} \text{ и } I_2 = \frac{E}{R_2 + r}.$$

Показания I_1 и I_2 снимают при этом с амперметра, включенного в цепь. Сопротивление R_1 и R_2 внешних участков цепи можно найти, измеряя вольтметром

падение напряжения на этих участках и применяя формулу закона Ома для участка цепи.

Этот же закон позволяет рассчитать электрическую цепь, источником тока в которой является батарея, составленная из нескольких элементов.

В настоящее время в электротехнике широко применяются правила Кирхгофа, с помощью которых рассчитывают разветвленные цепи. Зная эти правила, можно, например, определить силу и направление тока в любой части разветвленной системы проводников, если заданы сопротивления и ЭДС всех его участков. Второе правило Кирхгофа получено в результате применения закона Ома к различным участкам замкнутой цепи. Первое правило также следует из теоретических рассуждений Ома, изложенных им в работе «Теоретические исследования электрических цепей».

Изучение нелинейных цепей обязано своим прогрессом также закону Ома. Важнейшие характеристики электронных ламп и полупроводниковых приборов — крутизна характеристики, внутреннее сопротивление — определяется в соответствии с законом Ома.

Специалисты, работающие в области электроники, электротехники и радиотехники, смогут добавить еще много примеров, когда использование закона Ома давало верный ключ к решению ряда сложных теоретических и практических задач.

ГРАНИЦЫ ПРИМЕНИМОСТИ ЗАКОНА ОМА

После всего сказанного о законе Ома уместно поставить вопрос, во всех ли случаях он выполняется? Всегда ли зависимость плотности тока от напряженности электрического поля будет линейной? Трудно сказать — к сожалению или к счастью, но ответ на этот вопрос будет отрицательным. Случаев отклонения от закона Ома достаточно много.

При некоторых значениях напряженности электрического поля, созданного в газах, перемещающаяся заряженная частица может приобрести такую энергию, которой достаточно для того, чтобы вызвать вторичную ионизацию молекул. Число носителей зарядов при этом возрастает, удельная электропроводность изменяется. Вследствие этого пропорциональность между плотностью тока и напряженностью электрического поля нарушается. Отклонение от пропорциональности наблюдается и при искровом разряде в газах. Оба эти случая означают явное нарушение закона Ома.

Не подчиняется закону Ома и ток в электронных лампах, ток через контакт между двумя полупроводниками или полупроводником и металлом. Катастрофическим нарушением закона Ома является ток в сверхпроводниках: о зависимости силы тока от напряжения в этом случае говорить не приходится. Следовательно, закон Ома не является фундаментальным законом природы.

Но если бы закон Ома выполнялся во всех случаях прохождения тока через вещество, то электроника, построенная на нелинейной зависимости тока от напряжения, перестала бы существовать. А в наше время автоматики и телемеханики вряд ли стоит доказывать значение этих разделов науки для промышленности, транспорта, связи.

Однако для металлов ни при каких условиях не удалось заметить отклонений от пропорциональности между плотностью тока и напряженностью электрического поля. Даже при плотностях тока 10^9 А/м², что значительно выше обычной плотности в миллион раз, отклонение от закона Ома не будет превышать одного процента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Значение исследований Георга Симона Ома в деле развития электротехники велико. Его заслуги в этой области и сейчас, спустя полтора столетия, трудно переоценить.

Плодотворная жизнь ученого, много сделавшего в науке, несмотря на условия, в которых он жил и творил, является образцом преданности делу. Он сумел встать выше материальных выгод, выше мелочных отношений, характерных для ученых кругов того времени. Совмещая большую педагогическую работу с постоянными научными поисками, уделяя много сил и времени административным обязанностям, навалившимся на него в последние годы, Ом всегда оставался самим собой: мягким к друзьям, сентиментальным с родственниками, терпимым к ученикам, принципиальным с коллегами и бескомпромиссным к недоброжелателям, травившим его. Он через всю свою жизнь пронес страсть к поискам истины, удачно совместив в себе черты искусного экспериментатора и глубокого теоретика.

Ом первым из ученых сконструировал и изготовил электроизмерительный прибор, имеющий высокую точность и чувствительность, и с его помощью сделал открытие, обессмертившее его имя. Он также первым из ученых применил математические методы в исследовании электричества, совершив тем самым гигантский шаг от качественных наблюдений к количественным исследованиям. Его работа «Теоретические исследования электрических цепей» явилась фундаментом современной теоретической электротехники.

Используя аналогию электрического тока и потока теплоты, Ом тем самым способствовал выработке более ясных представлений о некоторых физических величинах, характеризующих процесс протекания тока в цепи. Не менее плодотворна и аналогия тока с потоком воды в трубах. Все это позволило Ому ввести в науку и уточнить такие понятия, как сила тока, ЭДС, напряжение, сопротивление.

Большой заслугой Ома является и то, что он впервые предложил эталон сопротивления и тем самым способствовал упорядочению проведения эксперимен-

тов. Появилась возможность сравнивать результаты измерений, полученные различными исследователями. Далее, Ом не только использовал термин «напряжение», но одним из первых измерил эту величину, приспособив для этой цели электрометр, соединенный с «землей».

Исследования Ома вызвали к жизни новые идеи, развитие которых вывело вперед учение об электричестве.

О значении исследований Ома хорошо сказал профессор физики Мюнхенского университета Е. Ломмель при открытии памятника ученому в 1895 г.: «открытие Ома было ярким факелом, осветившим ту область электричества, которая до него была окутана мраком. Ом указал единственно правильный путь через непроходимый лес непонятных фактов. Замечательные успехи в развитии электротехники, за которыми мы с удивлением наблюдали в последние десятилетия, могли быть достигнуты только на основе открытия Ома. Лишь тот в состоянии господствовать над силами природы и управлять ими, кто сумеет разгадать законы природы. Ом вырвал у природы так долго скрываемую ею тайну и передал ее в руки современников».

В 1881 г. на электротехническом съезде в Париже ученые единогласно утвердили название единицы сопротивления — 1 Ом. Этот факт — дань уважения коллег, международное признание заслуг ученого.

ЛИТЕРАТУРА

- Выдающиеся физики мира. Рекомендательный указатель. Под ред. В. Г. Кузнецова. М., 1958.
Кудрявцев П. С. История физики, т. I. М., Учпедгиз, 1956.
Кудрявцев П. С. Курс истории физики. М., Просвещение, 1974.
Лауэ М. История физики. М., Гостехиздат, 1956.
Липсон Г. Великие эксперименты в физике. М., Мир, 1972.
Льоцци М. История физики. М., Мир, 1972.
Спасский Б. И. История физики, ч. 1. М., Высшая школа, 1977.

ОСНОВНЫЕ ДАТЫ ЖИЗНИ УЧЕНОГО

- Георг Симон Ом родился 16 марта 1789 г. в г. Эрлангене.
- 1805 — поступил в Эрлангенский университет.
- 1806 — прекратил занятия в университете и в сентябре этого же года начал педагогическую деятельность в должности учителя математики в г. Готтштадте.
- 1809 — переехал в Нейштадт, где продолжил преподавание математики.
- 1811 — возвратился в Эрланген, закончил университет и получил степень доктора философии.
- 1813 — начал преподавание в Бамберге.
- 1817 — вышла первая печатная работа, посвященная вопросам методики преподавания геометрии. Получает место учителя математики в иезуитской коллегии Кельна.
- 1824 — приступает к научным исследованиям в области электричества.
- 1825 — вышла первая работа, посвященная поискам закона электрических цепей.
- 1826 — напечатана работа, содержащая «закон Ома». Получает годичный отпуск для продолжения научной работы в Берлине.
- 1827 — вышла в свет монография «Теоретические исследования электрических цепей». Увольняется из кельнской коллегии и начинает преподавание в Военной школе Берлина.
- 1829 — выходят статьи по исследованию мультипликатора и по униполярной проводимости.
- 1830 — выходят статьи по исследованию мультипликатора и по униполярной проводимости.
- 1833 — профессор физики в Политехнической школе Нюрнберга.
- 1839 — ректор Политехнической школы.
- 1842 — награжден медалью Коплея и избран членом Королевского общества (Англия).
- 1845 — избран членом Баварской академии наук.
- 1849 — назначен на должность экстраординарного профессора Мюнхенского университета.
- 1852 — утвержден в должности ординарного профессора.
- 1853 — награжден орденом Максимилиана.
- 1854, 6 июля — смерть ученого.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	От автора	3
Глава I	КРАТКИЙ ОЧЕРК РАЗВИТИЯ УЧЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСТВЕ С ДРЕВНЕЙШИХ ВРЕМЕН ДО 1826 г.	
	От Фалеса Милетского до Гильберта	5
	От Гильберта до изобретения источника тока	6
	Гальвани и Вольты	14
	От Вольты до Ома	16
Глава II	НАЧАЛО ПУТИ	
	Детство и юность	22
	Начало педагогической деятельности	32
	От преподавания к исследованию	39
	Первые эксперименты	41
	Причины неудач	47
Глава III	НА ПОРОГЕ СЛАВЫ	
	Подготовка к решающим экспериментам	49
	«Определение закона, по которому металлы проводят контактное электричество...»	53
	«Набросок теории вольтаического аппарата и мультипликатора Швейггера»	57
	Дальнейшие поиски	64
	Первые отзывы	72
Глава IV	СУДЬБА УЧЕНОГО И ЕГО ОТКРЫТИЯ	
	От открытия до признания	80
	Признание	88
	Последние годы	92
	Ом как человек и учитель	97
Глава V	ЗАКОН ОМА И ДАЛЬНЕЙШЕЕ РАЗВИТИЕ ФИЗИКИ	
	Закон Ома для переменного тока	99
	Закон Ома в дифференциальной форме	103
	Закон Ома для жидкостей и газов	105
	Применение закона Ома	106
	Границы применимости закона Ома	108
	Заключение	109
	Литература	110
	Основные даты жизни ученого	111

20 к.