

# ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

## УЧЕНИЕ ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСТВЕ

---

### ГЛАВА I

#### ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

##### § 1. Исторические сведения

Огромное значение электрических явлений для современной техники объясняется сочетанием ряда причин. Электроэнергию легко передавать на большие расстояния, что позволяет использовать для выработки электроэнергии естественные запасы энергии рек. Электроэнергия легко и с большим коэффициентом полезного действия может быть преобразована в другие виды энергии и применена, таким образом, для привода машин, для освещения, для химических процессов, для нагрева и т. д. Широчайшее применение в быту и технике получили самые разнообразные *электроаппараты*: телеграф, телефон, радиоаппараты, различные электроавтоматы, аппараты электрической сигнализации, аппараты электрического управления машинами на расстоянии, электромедицинские аппараты и т. д. *Электроизмерительные приборы* благодаря своей исключительной точности в настоящее время применяются во всех областях науки и техники. Кроме того, учение об электричестве имеет очень большое познавательное значение. Исследуя электрические явления, мы проникаем в строение вещества. Этим путем физика пришла к познанию строения атомов и к открытию способов освобождения атомной энергии, что приведет к новой эре в технике и в жизни человечества.

Некоторые электрические явления были известны еще в глубокой древности. Более 2500 лет назад Фалес Милетский указывал, что потертый о шерсть кусок янтаря приобретает свойство притягивать пушинки и другие легкие предметы. От греческого слова «электрон», означавшего «янтарь», и был впоследствии образован термин «электричество». Этот термин был введен в конце XV в. Гильбертом, который расширил наблюдения об электризации тел при трении.

В древности были известны и некоторые другие электрические явления. Но естественно, что пока не развилось учение об элек-

тричестве, никто не догадывался о связи этих явлений со свойствами потертого янтаря. Так, молния всегда приковывала к себе внимание людей и вызывала страх, находивший отражение в различных религиозных измышлениях. Издавна было замечено, что молния ударяет преимущественно в предметы, которые возвышаются над окружающей местностью. Это наблюдение было использовано еще за много сотен лет до нашей эры: при археологических раскопках в Египте на стенах разрушенных храмов были обнаружены надписи, поясняющие, что высокие мачты, заостренные сверху и установленные вокруг храма, служат для защиты от «небесного огня». Однако то, что молния является электрическим разрядом, впервые стало проявляться только во второй половине XVII в., когда вошли в употребление *электрические машины трения* и когда благодаря этим машинам оказалось возможным наблюдать искровые электрические разряды.

Любопытным примером издавна известных проявлений электричества может служить также свойство некоторых рыб вызывать при прикосновении к ним болевое ощущение в мышцах. В древней Греции это свойство рыб («электрического ската», «электрического угря») использовалось с лечебными целями. Лечение, возможно, не приносило пользы, но было весьма ощутительным, так как разряд, производимый электрическим угрем, происходит при напряжении около 300 вольт.

Изучение электрических явлений заметно продвинулось вперед только в XVIII в.

В 1729 г. Грей обнаружил различие между телами, проводящими электричество, и непроводниками. В 1734 г. Дюфе установил, что существуют два рода электричества. В 1746 г. в Лейдене впервые были проведены опыты с конденсаторами. В 1747 г. вышла из печати первая книга, специально посвященная сведениям об электричестве (эта книга была написана аббатом Нолле; первая книга о магнетизме, написанная Гильбертом, появилась в 1600 г.).

В 1749 г. Франклин открыл закон, что при всех видах электризации тел всегда одновременно появляются оба рода электричества в равных количествах.

В 1752—1753 гг. М. В. Ломоносов и его друг Рихман исследовали атмосферное электричество и обосновали способ защиты от молний посредством *молниеотводов* («громоотводов»). В июле 1753 г. во время опытов с атмосферным электричеством Рихман был убит шаровой молнией.

В 1758 г. петербургский академик Эпинус, проводя аналогию электрических сил с силами тяготения, ввел в нарождавшееся учение об электричестве представление о действии электрических сил на расстоянии. Как происходит передача электрического действия — этот вопрос не затрагивался в теории Эпинуса. Более того, последователи «теории дальнего действия» считали, что вопрос

о передаче электрического действия не имеет смысла, поскольку электрические силы рассматривались как некое «врожденное» свойство зарядов, существующее и мгновенно проявляющееся независимо от наличия и свойств среды.

Заинтересовавшее в те годы всех физиков явление электризации заземленных проводников при одном только приближении к ним заряженного тела (явление *электрической индукции*<sup>1)</sup> — электризации по влиянию), казалось, подтверждало взгляды Эпинуса о мгновенном действии зарядов на расстоянии. Эпинус и его последователи удачно объясняли многочисленные опыты, где сказывалось перераспределение зарядов в проводниках, происходившее вследствие взаимного отталкивания одноименных зарядов и вследствие притяжения и отталкивания со стороны окружающих наэлектризованных тел.

Теория дальнего действия господствовала в физике целое столетие. Споры велись только о том, имеется ли два разнородных электричества — положительное и отрицательное (дуалистическая теория), или же имеется только один род электричества, а его недостаток в телах кажущимся образом проявляется как электричество противоположного знака (монистическая теория).

Осуществляя опыты электризации проводников по влиянию, Эпинус почти одновременно с Франклином усовершенствовал электрический *конденсатор*<sup>2)</sup> — применил две проводящие пластины (в лейденских опытах первые самые примитивные конденсаторы представляли собой банки, где роль одной пластины играла вода, налитая в банку, а роль другой пластины — рука экспериментатора, державшего банку).

В 1775 г. Александр Вольта совместил в одном приборе электризацию трением и электризацию по влиянию. Этот прибор — *электрофор*<sup>3)</sup> — представляет собой каучуковый (эбонитовый) или же смоляной диск с хорошо отполированной поверхностью и на ней — второй металлический диск со стеклянной рукояткой. Вначале электризуют поверхность эбонитового диска, ударяя по ней мехом; потом ставят металлический диск, прикасаются к его внешней поверхности заземленным проводником и снимают зарядившийся по влиянию металлический диск. Используя его заряд, опять прикладывают металлический диск к эбонитовому и снова получают такой же заряд. Почти через столетие после изобретения электрофора идея этого прибора была развита Гольцем, построившим первые электрофорные машины.

В 1785 г. Кулон открыл закон взаимодействия электрических зарядов. В следующем, 1786 г. Гальвани случайно обнаружил

1) От лат. *inductio* — наведение, возбуждение.

2) От лат. *condensare* — сгущать.

3) От греч. *phoros* — несущий.

явления, изучение которых привело в последующие годы к применению электрохимических источников электрического тока — *гальванических элементов* (первой батареей таких элементов был *вольтов столб*, состоявший из поочередно уложенных друг на друга медных и цинковых пластинок, каждая пара которых разъединялась суконной прослойкой, увлажненной в подкисленной воде).

В 1802 г. петербургский профессор Василий Владимирович Петров, применяя батарею гальванических элементов, впервые получил устойчивый разряд между угольными электродами. В. В. Петров исследовал свойства электрической дуги и обнаружил, что в дуге развивается очень высокая температура, под действием которой угли сильно накаляются и излучают яркий свет. При некоторых опытах В. В. Петров применял громадные вольтовы столбы, состоявшие иногда из 4200 медных и цинковых кружков. Свои опыты В. В. Петров описал в изданной в 1803 г. книге, которая заинтересовала многих изобретателей. Однако только к концу столетия, когда вошли в употребление *динамомашины* постоянного тока, «дуга Петрова» получила широкое применение, в особенности в устройстве прожекторов, в сварочных аппаратах и т. п.

Важным этапом в развитии наших знаний об электричестве было сделанное в 20—30-х годах прошлого века открытие, что между электрическими и магнитными явлениями имеется тесная взаимосвязь. В 1820 г. Эрстед заметил, что магнитная стрелка отклоняется под действием электрического тока. В том же году был установлен закон действия тока на магнитные полюсы (закон Био и Савара). Тогда же, в 1820—1821 гг., Ампер разработал теорию, которая долгое время являлась основой электродинамики. Спустя десятилетие, в 1831 г., новый толчок к развитию электродинамики был дан Фарадеем, установившим, что при движении проводников вблизи магнитов, как и при движении магнитов вблизи проводников, в проводниках возникает («индуцируется») электрический ток. В 1833 г. петербургский академик Ленц установил закон, определяющий направление индуцированных токов, а еще через несколько лет (в 1837—1852 гг.) Фарадей развил учение о роли среды в явлениях электричества и магнетизма — учение об электрическом и магнитном «поле».

Фарадей обосновал взгляд, согласно которому пространство (среда), где действуют электрические и магнитные силы, «поле сил», находится в состоянии напряжения. Это напряжение поля сил сказывается, однако, не в механических деформациях среды, а в особых электрических и магнитных смещениях среды. По Фарадею, сущность электричества нужно искать не в зарядах, не в наэлектризованных телах, а в особом состоянии окружающей среды. Фарадей решительно отрицал возможность силового действия электрических зарядов на расстоянии без участия промежуточной среды. Он рассматривал взаимодействие электрических зарядов,

магнитов и токов как *следствие процессов, происходящих в электрическом и магнитном полях.*

Взгляды Фарадея получили математическое развитие в теории, которая была создана в 1855—1865 гг. Максвеллом. Уравнения, выведенные Максвеллом, поныне являются основой учения об электричестве и магнетизме — основой классической электродинамики.

Теория Фарадея — Максвелла вскрыла *электромагнитную природу световых явлений.* Электромагнитная теория света была развита Максвеллом в 1865 г. До этого времени было общепринятым введенное в физику Гюйгенсом и Гуком (в конце XVII в.) и развитое Френелем (в начале XIX в.) представление о свете как о механических колебаниях некоторой тончайшей, всепроникающей и заполняющей весь мир среды — *эфира.* Максвелл доказал, что электрические и магнитные взаимодействия распространяются с той же скоростью, что и свет, — около 300 000 км в секунду, — и что могут существовать *электромагнитные волны,* отличающиеся от света большей длиной волны. Такие волны были получены и исследованы в 1888 г. Герцем, а в 1895 г. применены Александром Степановичем Поповым в изобретенном им беспроволочном телеграфе, что положило начало развитию *радиосвязи.*

В изобретении радио и во многих других технических применениях электричества первенство принадлежит русским ученым. Так, применение электрического тока для взрыва мин на расстоянии впервые было осуществлено в 1812 г. на Неве русским электротехником Павлом Львовичем Шиллингом. В 1832 г. П. Л. Шиллинг создал первый *электромагнитный телеграф,* который был использован для связи между Зимним дворцом и министерством путей сообщения. Первый самопишущий телеграфный аппарат был также создан в России Борисом Семеновичем Якоби в 1839 г.; в том же году этот аппарат был пущен в эксплуатацию — на год раньше, чем за границей Морзе построил телеграфную линию с самопишущими аппаратами. В 1850 г. Б. С. Якоби за пять лет до американца Юза создал первый буквопечатающий телеграфный аппарат.

Б. С. Якоби первый применил электролиз для покрытия предметов металлическим слоем, т. е. положил начало развитию гальванопластики,



Павел Николаевич Яблочков  
(1847—1894).

В 1876 г. русский изобретатель Павел Николаевич Яблочков нашел способ практически использовать открытую В. В. Петровым электрическую дугу для освещения улиц и помещений. Сконструированная П. Н. Яблочковым *дуговая электрическая лампа* («свеча Яблочкова») представляла собой два расположенных на определенном расстоянии друг от друга угольных стержня, разведенных не проводящей электричество гипсовой или глиняной прослойкой, которая по мере укорочения обгоравших в электрической дуге углей постепенно выгорала. Электрическая лампа Яблочкова была применена для освещения во многих городах: в Москве, Петербурге, Нижнем-Новгороде, Полтаве и др. В короткое время лучшие гостиницы, улицы и парки в ряде крупнейших городов Европы были оснащены электрическим освещением с применением электрических ламп Яблочкова. В эти первые годы расцвета электротехники принцип электрического освещения назывался в иностранных газетах «русским светом». Люди прошлого века, не избалованные светом тусклых свечей и керосиновых ламп, с восторгом встречали распространение «русского света».

Общепринятый в настоящее время способ освещения посредством *электрических ламп накаливания* также был изобретен в России в 1873 г. Александром Николаевичем Лодыгиным. В том же году одна из улиц Петербурга была освещена электролампами Лодыгина, а в следующем, 1874 г., Академия наук присудила Лодыгину Ломоносовскую премию, отметив, что изобретение ламп накаливания «обещает произвести переворот в важном вопросе об освещении». Эдисон в 1877 г. получил лодыгинские лампочки накаливания. Для усовершенствования ламп накаливания Эдисон проделал тысячи опытов по изучению угольных нитей, изготовленных различными способами, ввел откачку воздуха из баллона лампы и в 1880 г. наладил широкое производство электроламп.

Позже угольные лампы накаливания были заменены электролампами с нитями из тугоплавких металлов. В 1890 г. Лодыгин создал лампы с вольфрамовой нитью.

Принцип *передачи электрической энергии* током высокого напряжения был впервые предложен русским инженером Д. А. Лачиновым в 1880 г. В России были созданы и первые в мире *электродвигатели*, работающие на переменном токе, — трехфазные асинхронные моторы М. О. Доливо-Добровольского (1890).

Однако в производстве электроэнергии Россия в прошлом отставала от многих других стран, что сильно снижало ее промышленные возможности, так как каждый киловатт-час электроэнергии, стоящий всего несколько копеек, выполняет дневную работу одного человека. В 1913 г. все русские электростанции вырабатывали в год 1,9 млрд. *квт-ч*; их суммарная мощность была 1 млн. *квт*. В том же 1913 г. электростанции США имели суммарную мощность 6 млн. *квт* и вырабатывали в год 22 млрд. *квт-ч*. По первому плану электрификации, принятому по инициативе Владимира Ильича Ленина в 1920 г. и осуществленному к началу 30-х годов, было построено 30 электростанций с общей мощностью 1,5 млн. *квт* и производством в год 8,8 млрд. *квт-ч*. В последующие годы в СССР было построено более 300 крупных электростанций: Днепровская ГЭС (мощностью, после восстановления, 650 тыс. *квт*), Волжская ГЭС имени В. И. Ленина (мощностью 2,3 млн. *квт*) и др. <sup>1)</sup> В 1958 г. годовая выработка электроэнергии в СССР составила 233 млрд. *квт-ч*, а в 1965 г. она повысится до 520 млрд. *квт-ч*, т. е. окажется в 273 раза больше, чем была в царской России. В 70-х годах, после пуска Братской и Красноярской ГЭС (мощностью 4,5 и 5,0 млн. *квт*), Енисейской ГЭС (мощностью 6,0 млн. *квт*), сети крупных тепловых электростанций (мощностью по 1,0—2,4 млн. *квт*), а также атомных электростанций, годовая выработка электроэнергии в СССР достигнет 900—1000 млрд. *квт-ч*.

1) Перед последней мировой войной (в 1940 г.) в США годовая выработка электроэнергии составляла 170 млрд. *квт-ч*, что в 3,5 раза превышало производство (в том же 1940 г.) электроэнергии в СССР. Вследствие разрушений, причиненных войной, уровень выработки электроэнергии в 170 млрд. *квт-ч* был достигнут в СССР только в 1955 г.