

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО

1956



ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

11

СОДЕРЖАНИЕ

<p>А. Б. Крикунчик — Применение автотрансформаторов в электрических сетях</p> <p>В. В. Бургсдорф — Исследование грозозащиты линий электропередачи с тросами</p> <p>А. М. Разыграев — Составление многотактной схемы электропривода, работающего по автоматическому циклу</p> <p>Н. А. Марков — Круговая диаграмма руднотермической дуговой электропечи</p> <p>Н. А. Подяк — Инженерный метод расчета зоны асинхронного самовозбуждения электрической машины</p> <p>Б. К. Тур — К вопросу коммутации в машинах постоянного тока</p> <p>Ю. Е. Неболюбов — Фотоэлектрический метод исследования и настройки коммутации электрических машин</p> <p>А. В. Донской и Г. В. Ивенский — Стабилизированный тиристорный выпрямитель с амплитудным регулированием</p> <p>Л. А. Цейтлин — Индуктивности шин прямоугольного сечения при резко выраженном поверхностном эффекте</p> <p>С. А. Гинзбург — Построение нелинейного четырехполюсника с заданной характеристикой</p> <p>Ю. Г. Назаров — Фазочувствительная схема как орган направления мощности</p> <p>И. С. Курдани и О. К. Хомерики — Об особенностях работы устройства компаундирования синхронных генераторов</p> <p>А. А. Пястолов — К определению напряжения сушки трансформаторов</p> <p>Т. Н. Вербицкая — Технические применения варикондов</p>	<p>1</p> <p>8</p> <p>15</p> <p>20</p> <p>23</p> <p>30</p> <p>34</p> <p>37</p> <p>43</p> <p>51</p> <p>55</p> <p>62</p> <p>65</p> <p>68</p>	<p>В. Н. Скугоров — Авторегулируемый генератор</p> <p>В. К. Плюгачев и А. В. Исаенко — Оптимальный угол ответвлений в электрических сетях</p> <p>ИЗ ИСТОРИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ</p> <p>О. А. Лежнева — Труды Ш. О. Кулона в области электричества и магнетизма</p> <p>СТАНДАРТЫ И НОРМЫ</p> <p>Г. С. Плис — О новых стандартах на электрические машины</p> <p>ЗАМЕТКИ И ПИСЬМА</p> <p>Обнаружение дефектных изоляторов посредством индикации излучения</p> <p>ЗА РУБЕЖОМ</p> <p>И. П. Олейник — Электроэнергетическая промышленность Румынской Народной Республики</p> <p>ПО СТРАНИЦАМ ТЕХНИЧЕСКИХ ЖУРНАЛОВ</p> <p>Проект американского стандарта минимальных изоляционных расстояний на открытых подстанциях переменного тока. Новые приборы для испытания изоляционных материалов</p> <p>ХРОНИКА</p> <p>Передача электроэнергии на дальние расстояния (сессия в ЭНИН и конференция в ЛПИ). Научно-техническое совещание по трансформаторам в Запорожье</p> <p>БИБЛИОГРАФИЯ</p> <p>В. Н. Коновалов — Книга В. Е. Одинцова „Справочник сельского электротехника“</p> <p>Новые книги по электричеству, электротехнике и электроэнергетике</p>	<p>74</p> <p>76</p> <p>79</p> <p>82</p> <p>86</p> <p>86</p> <p>92</p> <p>96</p> <p>96</p>
---	---	--	---



Адрес редакции: Москва, К-12, Б. Черкасский пер., д. № 2. Телефон: К 4-24-80.
 Адрес для телеграмм: МОСКВА ЭЛЕКТРИЧЕСТВО
 Адрес для корреспонденции: Москва, Главный почтамт, почтовый ящик № 648.

Из истории электротехники

Труды Ш. О. Кулона в области электричества и магнетизма

(К 150-летию со дня смерти)

Кандидат физ.-матем. наук О. А. ЛЕЖНЕВА

Институт истории естествознания и техники АН СССР

Именем французского ученого Шарля Огюстена Кулона названы: закон взаимодействия точечных электрических зарядов, практическая единица количества электричества, крутильные весы. Так увековечена память великого ученого, труды которого легли в основу развития учения об электричестве.

Кулон родился в семье крупного ангулемского чиновника 14 июня 1736 г. Получив в Париже специальность военного инженера, Кулон на протяжении многих лет выполнял различные поручения военного командования. Первый его научный труд «О приложении правил максимумов и минимумов к некоторым проблемам статики, относящимся к архитектуре» был представлен в Парижскую академию наук в 1773 г. [Л. 1].

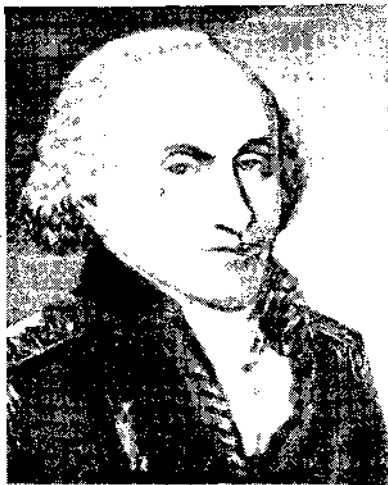
Тема второй работы Кулона «Изыскание лучшего способа изготовления магнитных стрелок, их подвешивания и проверки совпадения их направления с направлением магнитного меридиана, и, наконец, объяснения их регулярных суточных вариаций» [Л. 2] заинтересовала Кулона в связи с практической потребностью того времени в усовершенствовании навигационных приборов. Кулон выбрал эту тему, объявленную Академией наук в качестве конкурсной. За эту работу, а также за фундаментальный труд по механике «Теория простых машин с учетом трения их частей и жесткости канатов» [Л. 3] Кулон был премирован Парижской академией наук.

После избрания Кулона адъюнктом Академии наук (1782) он хотя и не оставил военной службы, но все же получил большие возможности для проведения экспериментальных работ.

В работе «Теоретические и экспериментальные исследования силы кручения и упругости металлических проволок» (1784) Кулоном было дано строгое обоснование метода крутильных весов [Л. 2]. Наконец, в 1785—1789 гг. появились семь основных мемуаров Кулона по электричеству и магнетизму.

Умер Кулон в Париже 23 августа 1806 г.

К тому времени, когда Кулон занялся исследованием электрических явлений, физики уже примерно в течение 30 лет усиленно конструировали различные электрические приборы, занимались поисками количественных методов изучения электричества. Переход от устройств для обнару-



жения электричества к приборам для качественного сравнения степени наэлектризованности тел и, наконец, к электроизмерительным приборам осуществлялся при участии многих ученых (Гильберт, Грей, Дюфе, Фон Вайтц, Элликот, Градат, Рихман, Ломоносов, Генли) [Л. 4]. Для оценки «силы магнитов» сравнивались частоты крутильных колебаний магнитных стрелок, помещаемых по соседству. Этим способом пользовались Мушенбрек (1692—1761) и Майчел (1724—1793). Последний на основе таких опытов пришел в 1750 г. к правильному выводу о форме зависи-

мости силы взаимодействия магнитных полюсов от расстояния [Л. 5]. Попытки определения этого закона предпринимались неоднократно и раньше Хоуксби, Тейлором, Мушенбреком, Дюфе, Крафтом, но не привели к вполне определенным результатам. Не были признаны как вполне достоверные и выводы Майчела, о чем свидетельствуют высказывания Ф. У. Т. Эпинуса [Л. 6]. Эпинус подверг критике появившуюся в 1760 г. работу Т. Майера (1723—1762), который претендовал на установление зависимости магнитных сил от расстояния [Л. 7].

Закон обратной пропорциональности квадрату расстояния силы электрических взаимодействий впервые был сформулирован не в результате измерительных опытов, а путем анализа качественных опытов, основанного на предположении об аналогии между законом тяготения и законом электрических притяжений и отталкиваний.

Предистория закона Кулона применительно к электричеству начинается с опыта В. Франклина, который обнаружил, что пробковый шарик не получает заряда при помещении внутрь металлической чашки. Дж. Пристли (1733—1804), проверивший по просьбе Франклина этот факт, высказал предположение о сходстве закона электрических взаимодействий между зарядами с ньютоновским законом тяготения, из которого вытекает, что тело, имеющее форму поллой сферы, не притягивает находящиеся внутри нее тела. Известно, что Рихман намеревался применить для этой цели свой указатель, а Эпинус высказал прямое предположение о том, что сила взаимодействия электрических и магнитных зарядов изменяется обратно пропорционально квадратам расстояния между ними. Правильный закон получил и доказал в 70-х годах Кавендиш (1731—1810), но он не опубликовал своей работы. Однако еще ни находили предшествен-

ников Кулона, можно уверенно сказать, что твердо установленным фактом закон обратной пропорциональности квадрату расстояния как электрических, так и магнитных взаимодействий стал только благодаря исследованиям Кулона.

Еще в 1777 г. в «Исследовании о лучшем способе изготовления магнитных стрелок» Кулон сделал выбор между конкурировавшими с переменным успехом на протяжении почти двух веков системами физических воззрений: ньютоновством и картезианством. Кулон пошел по пути Ньютона. Анализ опытов его предшественников, в особенности Мушенбрека и собственных опытов привел Кулона к выводу, что «совсем не вихри производят различные магнитные явления» и что «для их объяснения нужно обязательно прибегнуть к тем силам притяжения и отталкивания, которыми вынуждены пользоваться для объяснения тяжести тела и физики неба» [Л. 2, стр. 8—9]. В этой работе Кулон подверг всестороннему рассмотрению условия движения магнитной стрелки в магнитном поле Земли. Он учитывал влияние сопротивления воздуха на колебания стрелки — трения, если стрелка насажена на острие, и кручения, если она подвешена на нити. Изучая зависимость магнитного момента пластинок от их размеров, Кулон учитывал существование размагничивающей силы. Он считал, что сила магнита зависит от взаимного действия, которое оказывают друг на друга все точки магнита [Л. 2, стр. 21].

Полученные Кулоном в этой первой работе по магнетизму результаты исследования законов кручения нитей и волос были проверены и уточнены им в работе «Теоретические и экспериментальные исследования силы кручения и упругости металлических проволок» (1884). Им была эмпирически установлена формула для момента силы кручения:

$$F = \frac{\mu B D^4}{l},$$

где D — диаметр нити; l — длина ее; B — угол закручивания; μ — постоянный коэффициент, зависящий от «естественной жесткости каждого металла» [Л. 2, стр. 82], впоследствии названный модулем Кулона. Тогда же Кулон указал, что метод крутильных весов может быть применен для измерения малых сил разнообразной природы, в частности: электрических, магнитных, силы трения между твердым телом и жидкостью и т. п.

Подробное описание крутильных весов Кулона, сконструированных для электрических измерений, дано в мемуаре «Конструкция и применение электрических весов, основанных на свойстве металлических проволок иметь силу кручения, пропорциональную углу кручения» (1785). Построенные Кулоном весы позволяли измерять силы порядка тысячных долей дин [Л. 8]. Изображение весов Кулона, помещаемое обычно в книгах по истории физики, взято именно из этого мемуара и представляет тот вариант, который был применен Кулоном для установления закона отталкивания одноименных зарядов. Во

втором мемуаре (1785) «определяется, согласно каким законам действует магнитная жидкость, так же как и жидкость электрическая, при притяжении и при отталкивании». В связи с тем, что измерение сил электрического притяжения при помощи крутильных весов оказалось чрезвычайно трудным (нужно было работать с настолько малыми зарядами, чтобы наэлектризованные шарики не соприкоснулись), Кулон проверил этот закон и другим методом, аналогичным определению силы тяжести при помощи маятника.

При установлении законов магнитных притяжений и отталкиваний Кулон пользовался теми же двумя методами: статическим и динамическим. Для уменьшения размагничивающей силы он применял узкие и длинные магнитные стрелки.

Содержание третьего мемуара Кулона точно отражено в его названии: «О количестве электричества, которое теряет изолированное тело за определенный промежуток времени как путем контакта с более или менее влажным воздухом, так и через опору более или менее идио-электрическую» (1785). Выяснение поставленных здесь вопросов было Кулону совершенно необходимо, так как опыты проводились в предположении неизменности заряда во время серии измерений на различных расстояниях, а достичь этого практически было очень трудно. Важно было учесть возможные ошибки. Из своих опытов Кулон вывел экспоненциальный закон потери заряда.

Большое значение для создания теории электростатических явлений имел четвертый мемуар (1786), «в котором доказаны два принципиальных свойства электрической жидкости: первое, что электрическая жидкость ни в одном теле не распространяется при помощи химического средства или избирательного притяжения, по что она распространяется между различными телами, приведенными в соприкосновение, только благодаря своему отталкивательному действию; второе, что в проводящих телах эта жидкость в состоянии равновесия распространена по поверхности тел и не проникает внутрь».

Для доказательства первого из указанных свойств Кулон поставил опыт с двумя шариками одинаковой формы, но из разного материала. Когда незаряженный шарик соприкасался с заряженным, заряд распределялся между ними точно поровну. Второе свойство Кулон доказывал при помощи изобретенной им «пробной пластинки» — маленького круглого золотого листочка. Когда листочек соприкасался с внешней поверхностью полой сферы, он заряжался; когда же его через отверстие прикладывали к внутренней стенке сферы, заряда не обнаруживалось.

В пятом (1787) и шестом (1788) мемуарах Кулон рассмотрел ряд конкретных случаев распределения электричества между несколькими проводниками сферическими или цилиндрическими. Эти мемуары носят названия «О способе, которым электрическая жидкость разделяется между двумя проводящими телами, приведенными в соприкосновение, и о распределении этой жидкости на различных частях поверхности тел» и

«Продолжение исследования распределения электрической жидкости между несколькими проводниками. Определение электрической плотности в различных точках поверхности этих тел». Главными приспособлениями для изучения распределения электричества Кулону служили пробная пластинка и крутильные весы.

Доказанная Кулоном аналогия между законом электрического и магнитного взаимодействия и законом тяготения позволила ему широко пользоваться при интерпретации своих опытов математическим аппаратом механики. В частности, полученные в механике выводы, касающиеся гравитационного действия однородного сферического слоя, были им применены к заряженным сферическим проводникам и затем обобщены на проводники произвольной формы, в результате чего было обосновано доказанное им экспериментальное соотношение, носящее название теоремы Кулона: напряженность электрического поля в точке, близкой к поверхности проводника, пропорциональна поверхностной плотности заряда у этой точки.

Если исследования Кулона по электричеству сконцентрированы на небольшом отрезке времени (1785—1788), то работы по магнетизму появлялись в разные периоды его жизни: в 1777, 1785, затем в 1789 гг. (седьмой мемуар серии, посвященной электричеству и магнетизму, «О магнетизме»). Несколько работ Кулона было опубликовано уже незадолго до его смерти: «Теоретическое и экспериментальное определение сил, которые возвращают в плоскость магнитного меридиана различные стрелки, намагниченные до насыщения», «Исследования, относящиеся к действию, производимому магнитами на все тела», «Новый метод определения наклона магнитной стрелки», «Результат различных методов, применяемых для сообщения стальным пластинкам и стержням наибольшей степени магнетизма».

В теоретическом отношении наиболее важной является гипотеза Кулона о молекулярных магнитах. В седьмом мемуаре основной серии Кулон для того, чтобы согласовать гипотезу о магнитных жидкостях с опытным фактом невозможности получения изолированного полюса, предположил, что магнитные жидкости (две или, как у Эпинуса, одна) заключены в молекулах и могут перемещаться внутри них, но не могут переходить от одной молекулы к другой. Это был существенный шаг в понимании природы магнетизма.

Многочисленные опыты Кулона по изучению распределения «магнетизма» в магнитах различной формы были направлены на поиски наилучшей формы для магнитной стрелки компаса. Он сравнивал поведение сплошных стрелок и групп плотно пригнанных друг к другу пластинок, выяснял влияние температуры, при которой производится закалка, на магнитные свойства и влияние температуры на работу стрелок компаса, учитывая, что в разных географических условиях компас может работать в интервале температур порядка 100°С. Последние исследования Куло-

на были продолжены в Казани А. Я. Купфером [Л. 9]. Несколько позже проблема распределения магнитных сил вдоль магнитов и зависимость размагничивания от их формы изучалась в Петербургской академии наук Э. Х. Ленцом и Б. С. Якоби, но уже применительно к электромагнитам.

В 1802 г. Кулон исследовал при помощи крутильных весов действие магнитов на стрелки из немагнитных материалов — золота, серебра, свинца, меди — и наблюдал отклонение таких стрелок. Затем он проделал ряд опытов со стрелками из воска с малой примесью железа, в результате которых должен был оставить вопрос о магнетизме названных выше металлов открытым: примесь железа в количестве 1:183120 уже обеспечивает появление поддающихся обнаружению магнитных свойств.

Исследованиями Кулона были завершены усилия физиков по созданию точных экспериментальных методов исследования электростатических явлений и открыт путь для дальнейших теоретических обобщений.

Работы Кулона способствовали распространению принципов ньютоновской механики на электричество и магнетизм. Как известно, в середине XVIII в. к развитию ньютоновской механики было привлечено внимание многих французских ученых, в частности Даламбера, Клеро, Мопертюи. В конце XVIII в. после смерти Эйлера Франция стала главным центром развития механики. Лангранж — ровесник Кулона, Лаплас — его младший современник.

Применение опыта механики к электричеству и магнетизму обеспечило успех Кулона и в области эксперимента и в области теории. Изучив законы кручения, он создал крутильные весы. Предположив и доказав аналогию между законами электрических, магнитных и гравитационных взаимодействий, он ввел понятие электрической массы (количества электричества) и подготовил введение понятия электрического потенциала.

Необходимо отметить, что Кулон не смог бы оперировать с понятием «электрическая масса», если бы не существовала гипотеза об электрических невесомых жидкостях. Свои взгляды по поводу природы электричества Кулон выразил следующим образом: «Какова бы ни была причина электричества, все явления будут объяснены и расчет окажется соответствующим результатам опытов, если предположить, что существуют две электрические жидкости и считать, что части одной и той же жидкости отталкивают друг друга обратно пропорционально квадрату расстояния и притягивают части другой жидкости также обратно пропорционально квадрату расстояния». Отмечая далее, что из унитарной гипотезы Эпинуса можно получить те же результаты, Кулон объясняет, почему он оказал предпочтение дуалистической гипотезе: «...мне кажется противоречивым принимать одновременно в частях тел силу притяжения, обратно пропорциональную квадрату расстояния, и силу отталкивания, также обратно пропорциональную квадрату расстояния; силу,