

Э.Х.ЛЕНЦ

ИЗБРАННЫЕ  
ТРУДЫ

42



АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР

« КЛАССИКИ НАУКИ »

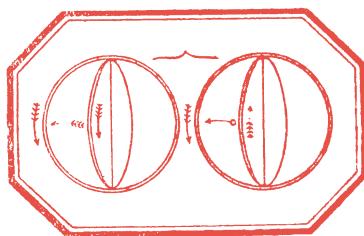


Э. Х. ЛЕНЦ

# ИЗБРАННЫЕ ТРУДЫ

РЕДАКЦИЯ И ПРИМЕЧАНИЯ  
ЧЛЕНА-КОРРЕСПОНДЕНТА АН СССР  
Т. П. КРАВЦА

СТАТЬИ  
ПРОФЕССОРА К. К. БАУМГАРТА  
АКАДЕМИКА Л. С. БЕРГА  
ЧЛЕНА-КОРРЕСПОНДЕНТА АН СССР  
Т. П. КРАВЦА



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР  
1950



## О РАБОТАХ Э. Х. ЛЕНЦА В ОБЛАСТИ ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМА

Еще в средней школе мы узнаем имя Э. Х. Ленца. „Закон Джула и Ленца“ и „Правило Ленца“ принадлежат к самым основным элементам нашего физического и электротехнического образования. Вместе с тем, они нам сообщаются обыкновенно вне всякой исторической перспективы; и мы и впоследствии плохо представляем себе ту обстановку, в которой возникли эти законности, и то значение, которое они имели для последующего развития науки и техники. Восстановить во весь рост историческое дело нашего знаменитого соотечественника является нашим прямым и неотложным долгом по отношению как к нему самому, так и к чести нашей отечественной науки.

Как показывает биография Э. Х. Ленца, он имеет перед русской наукой многообразные заслуги: геофизик и океанограф, университетский профессор и администратор, академик и научный работник-физик, автор многочисленных учебников и пособий,— он во всех этих областях знаменует для русской науки и культуры новую эпоху. Но мы будем в дальнейшем говорить только о двух или трех важнейших направлениях работ Ленца — о его работах по электромагнитной индукции и о работе по нагревательному действию электрического тока. Более вскользь коснемся роли Ленца в установлении и разъяснении закона Ома.

Напомним, что в 1831 г. произошло событие, которое сыграло в дальнейшем огромную научную и техническую роль,

преобразовав все учение об электричестве и создав новые и решительные предпосылки для утверждения за последним значения первенствующего энергетического фактора в развитии промышленности, транспорта, средств связи, освещения и проч. Мы говорим об открытии Фарадеем нового явления — того, что мы теперь называем „электромагнитной индукцией“. Сам Фарадей не пользовался этим термином и разделял открытые им явления на два разряда — на „магнито-электрическую“ и „вольта-электрическую индукцию“. Соответственно он давал и совершенно различные правила для определения направления индуцируемого тока, — а иногда и по нескольку правил для одного случая. Это показывает, что он и сам был не вполне удовлетворен своими указаниями. Современники Фарадея восприняли открытие с полным пониманием его огромного значения: многие журналы перепечатывали его знаменитые серии „Исследований по электричеству“, многие авторы быстро включились в ту же работу, кое-кто сетовал на „удачу“ Фарадея, опередившего их собственные труды на самую будто бы малость.

Были также попытки в некоторой доле изобразить себя соучастниками открытия. Давались новые формулировки для правил о направлении тока, иногда совершенно ошибочные. Этими работами заполнены месяцы и даже годы, непосредственно следующие за опубликованием работ Фарадея в „Philosophical Transactions“.<sup>1</sup>

Вот к этому моменту — точнее, к ноябрю 1833 г. — относится выступление Э. Х. Ленца.

Напомним читателю, что он в то время был совсем молодым человеком: ему было всего 29 лет. С этого возраста он вошел в плеяду людей, о которых человечество вспоминает целые столетия...

---

<sup>1</sup> См. первые две серии „Экспериментальных исследований по электричеству“, а также литературу, цитируемую самим Ленцем в его знаменитом мемуаре о направлении индуцируемых токов (стр. 147—157).

Напомним, что в электродинамике, в учении об электромагнетизме и в учении об индукции существует множество правил, определяющих направление того или иного действия; сюда относятся: правило об амперовском „наблюдателе“, о максвелловском „пробочнике“, правило „правой руки“ Флеминга и мн. др. Все они носят чисто кинематический характер. В отличие от них правило Ленца несомненно отображает некоторый динамический строй мыслей: какое-нибудь действие рассматривается с точки зрения тех сил, которые его могут произвести. Утверждается, что при индукции возникнет ток, противоположный тому, который произведет то же действие. Например: ток *A* притягивает ток *B*. Тогда, если во втором проводе не будет тока, а мы его будем приближать к первому, во втором возникнет ток, который стремится оттолкнуться от первого, т. е. производит действие, противоположное тому, которое его вызывает.

Этот динамический характер правила Ленца, который выделяет его из многих упомянутых выше, предопределил и его дальнейшую судьбу — то большое будущее, которое ему предстояло пережить в истории физики вообще и электричества в частности. Назовем здесь два момента: когда в 1846 г. Фр. Нейман выводил законы электромагнитной индукции, он мог для этого вывода воспользоваться только одним выражением из всех, данных его предшественниками, — и это было правило Ленца.<sup>1</sup> И когда Гельмгольц, перейдя от терминов силы к терминам работы, в своем гениальном мемуаре о законе сохранения энергии (1847) дал носящий его имя вывод величины ЭДС электромагнитной индукции, он должен был ссылаться опять-таки на Неймана и на Ленца. Имя последнего таким образом непосредственно связано с распространением закона сохранения энергии на область явлений электромагнитной индукции — шаг неизмеримого значения в науке и технике.

<sup>1</sup> См.: Ann. d. Phys., 1846, Bd. LXVII.

Ленца должно с полным основанием причислить к тем немногим деятелям науки, которые явились прямыми и необходимыми предшественниками величайшего обобщения XIX в.— закона сохранения энергии.

Не меньшую важность имеет то обстоятельство, что Ленц здесь впервые ясно осознал и точно формулировал принцип эквивалентности, который впоследствии сделался альфой и омегой электрического машиностроения. Из его правила ему было ясно, что комбинацией токов и катушек можно, пропуская в них токи, добиться вращения одних относительно других. Но тогда, если, наоборот, в некоторые катушки тока не пускать, а заставить их вращаться за счет посторонней движущей силы, то во вращаемых катушках возникнет индукционный ток той же величины, которая была бы нужна для того, чтобы в прежнем опыте получить такое же вращение. Теперь это — азбука, и всякий знает об одинаковом устройстве динамомашин и электромоторов. Но первый, кто ясно высказал этот принцип, был наш соотечественник Э. Х. Ленц.

Правило, установленное Ленцем, в его руках помогло решению еще одной насущной задачи теоретической и практической физики. Дело идет о точных магнитных измерениях— измерениях магнитной напряженности, намагничения железа, магнитных потоков и т. п. Э. Х. Ленц одним из первых предложил измерять величину магнитного потока теми индукционными действиями, которые производит создание или исчезновение потока. С этой точки зрения его следует назвать одним из авторов индукционных измерительных приборов. Читатель найдет в напечатанных в данном сборнике статьях Ленца большой материал по этому вопросу и сумеет оценить уверенность нашего соотечественника в значении устанавливаемых им законностей для будущего науки и техники. Для нынешнего научного и технического работника огромный интерес представит пережить при чтении мемуаров Ленца самое зарождение тех мыслей и представлений, которые для современной науки являются уже элементами и излагаются

в учебниках как нечто существующее если не вечно, то бесконечно давно, без благодарного обращения к имени их создателя.

На этих самых первоначальных основах учения об индукции Э. Х. Ленц, однако, не останавливается. Он обращает свои исследования на новый ряд вопросов, объединенных под мало говорящим общим заглавием „О зависимости величины индукционных токов от скорости вращения машины“. Напомним опять историческую обстановку того времени — протяжением около десяти лет, — когда эти работы задумывались, производились и печатались. Когда вскоре после работ Фарадея была освоена мысль, что ЭДС индукции пропорциональна скорости изменения магнитного потока, пронизывающего контур тока, для конструктивных целей понадобилось увеличить эту скорость не за счет величины потока, в котором вращался ротор машины, — такая возможность в то время была очень ограничена в особенности незнанием с законами магнитной цепи, — а за счет быстроты вращения. Такими опытами занялся не кто иной, как „сам“ Вебер, один из создателей системы электрических измерений. Его опыты дали явное отступление от простой пропорциональности между скоростью вращения и величиной ЭДС. Так как в законе индукции сомневаться было трудно, Вебер предложил для объяснения установленных им отступлений гипотезу, что железо не успевает принять полного намагничения при слишком быстром изменении поля. Теперь мы знаем, что это не так и что релаксационные явления намагничения должны иметь совершенно другой порядок величины, но в то время никаких данных по этому вопросу не существовало. Э. Х. Ленц берется за эту задачу, собирает обширный экспериментальный материал, умело и остроумно группирует его результаты и показывает, что популярная в то время гипотеза Вебера неспособна удовлетворительно объяснить наблюдаемые законности. Одновременно он выдвигает собственное объяснение, которое оказывается вполне согласным со всеми наблюдаемыми особенностями

явления и делает честь необыкновенной научной проницательности Ленца. Он догадывается о существовании явления, называемого ныне реакцией якоря при индукции в нем тока. Он, исходя из этого представления, предсказывает ход явления в зависимости от быстроты вращения и находит в опыте полное подтверждение этого предсказания. Кто из современных электротехников не изучал в свои школьные годы этого явления? Кто не знакомился со способами борьбы с искрением якоря? — Все это теперь представляется элементарным. Но кто из студентов (да и преподавателей) брал на себя труд порыться в истории вопроса и доискаться, кому принадлежит честь установления этого явления и этих приемов борьбы с ним? — Все это является заслугой одного Э. Х. Ленца, который больше десяти лет убеждал современников в важности для техники поднятого им вопроса, приводил объяснение тех разнообразных неудач, которые постигали экспериментаторов при попытках производить опыты с постоянным током, пользуясь не „гальваническими“, а „машинными“ источниками, — и наталкивался на непонимание и недооценку явления. А когда его поняли, то постарались забыть имя автора... Во всяком случае, предложенное Ленцем смещение щеток относительно нейтральной линии коллектора является теперь общепринятым средством в электротехнике, и без него не обходится ни одна современная силовая установка.

Переходим к другому классическому труду Ленца — к его исследованию относительно нагревательного действия токов. Эта работа относится к 1843 г., т. е. непосредственно приымкает по времени к соответственному исследованию Джула. И здесь для полного понимания громадного значения и особенностей этой работы необходимо вникнуть несколько глубже в исторические условия возникновения этой работы и оценить ее с точки зрения тех технических средств, которыми тогда располагала физика для разрешения задач такого почти метрологического характера. Напомним, что в то время не существовало ни общепринятой системы единиц, ни точных измери-

тельных приборов, ни даже тех научных предпосылок, которые были бы нужны для создания таких приборов, не говоря уже о том, что техника еще не освоила электрических генераторов и двигателей, а потому ее предприятия не нуждались в таких приборах. Их никто и не производил, предоставляя каждому ученому самому строить их каждый раз для себя. В частности, не существовало еще настоящих гальванометров, а примитивные приборы этого рода назывались мультипликаторами. Было теоретически известно, что тангенс угла отклонения стрелки, при известных условиях, пропорционален величине силы тока, проходящего через катушки гальванометра, но в справедливости этого правила существовали сомнения. И вот Ленц сам строит гальванометр, сам его юстирует, сам проверяет на разные лады правило тангенсов и только после этого приступает к решающим измерениям. На пути его стоит, однако, еще одна капитальная трудность: хотя Омом уже давно — лет пятиадцать тому назад — дан его знаменитый закон, последний еще не вошел во всеобщее сознание как основной и несомненный закон природы. Напомним, что Фарадей его не знает и к нему не прибегает. Руководящие работники науки высказывают сомнения в его правильности, когда дело идет о переходе тока из твердого тела в жидкость, и подозревают существование особого „сопротивления перехода“. И Э. Х. Ленцу для придания убедительности своим результатам приходится длинный ряд опытов посвящать опровержению такого воззрения, или, по крайней мере, доказательству того, что если такое сопротивление и существует, то оно должно обладать странным свойством — быть не обратно, а прямо пропорциональным поперечному сечению соприкасающихся проводников.

Изучая труд Э. Х. Ленца, читатель легко усмотрит, какие фундаментальные данные автор собрал для решения вопроса и как твердо ему удалось доказать свои основные положения: а) выделяемое током тепло пропорционально сопротивлению проводника и не зависит от каких-либо других свойств послед-

него; б) оно пропорционально квадрату силы тока. Абсолютная величина тепла, выделяемого током, равным единице, в участке проводника, коего сопротивление равно единице, определена быть не могла: не существовало единиц ни для силы тока, ни для сопротивления...

Ниже автор упоминает в самом начале своей статьи о работе Джула на ту же тему. Не будем отнимать от нее ее достоинств: посредством ее сам автор безусловно мог убедиться в существовании той же законности. Но той фундаментальности, строгости и полной убедительности, которая отличает работу Ленца, в ней, конечно, усмотреть нельзя. Напомним, что и в другой, самой знаменитой своей работе — в работе по первому определению механического эквивалента тепла — Джул также удовольствовался весьма приближенным значением этой величины, взяв среднее из очень сильно различавшихся данных отдельных опытов. Но в том случае он впоследствии сам исправил дело-рядом замечательных по точности исследований. Здесь же работа Джула стала убедительной только после работы нашего соотечественника. И потомки поступают, конечно, вполне справедливо, когда этому основному закону физики и электротехники присваивают имя обоих его авторов.

Мы видели, сколько труда пришлось Э. Х. Ленцу положить в данной работе на утверждение и разъяснение закона Ома. Нас завело бы слишком далеко, если бы мы захотели проследить и другие работы Ленца, в которых он преследовал — прямо или косвенно — ту же задачу. Он справедливо считается одним из ученых, которые более других способствовали утверждению этого закона в умах современников.

Последний цикл работ Э. Х. Ленца, который отражен в нашем сборнике, — это замечательные работы, произведенные им вместе с другим нашим ученым и академиком, Б. С. Якоби, и посвященные вопросу о действии электромагнитов. В то время, когда они были начаты, по этому вопросу не существовало решительно никаких данных, а достижения отдельных ученых и конструкторов, добивавшихся больших или меньших

успехов в этом деле, были обязаны случаю и удаче. Трудности, которые стояли на пути наших исследователей, были поистине громадны. Укажем на одно: отсутствовали какие бы то ни было точные данные по магнитным свойствам железа — по той „функции намагничения мягкого железа“, по которой уже гораздо позже, но ранее других ученыхставил свои замечательные опыты третий наш знаменитый соотечественник — А. Г. Столетов.

Можно смело сказать, что после работ академиков Ленца и Якоби наука и техника — и о той и о другой одинаково радели эти ученые — получили все те данные, которые в то время могли быть доступны. Конечно, это значительно менее того, чем располагают наши современники, и это понятно, так как только лет через тридцать после их работ родилось и развилось понятие о магнитной цепи — ныне первооснове всех электротехнических расчетов. Но в некоторой мере Ленц и Якоби подготовили для этого учения почву: уже у них мы видим пропорциональность действия электромагнита „числу ампервитков“, как говорим теперь мы, или „величине силы тока и числу витков катушки“, как выражались наши авторы.

Интересно отметить, что авторы совсем не пользуются фарадеевским представлением о силовых линиях — этот метод привился в науке значительно позже. Продумывая работы Ленца и Якоби с этой точки зрения, легко усмотреть, что образ силовых линий сделал бы результаты их значительно нагляднее и, несомненно, во многих случаях мог бы служить им как некоторый эвристический принцип. Но теория поля также родилась значительно позднее и развилась только тогда, когда это понадобилось для уразумения и освоения теории Максвелла.

Русские ученые, работавшие в области электричества, на всех этапах развития этой науки сказали свое веское и громкое слово: в эпоху развития статического электричества — Ломоносов, Рихман, Эпинус; во времена „гальванизма“ — Вас. Петров; на пороге развития электротехники в современном значении.

этого понятия — Ленц и Якоби, а дальше — Яблочков, Чиколев, Попов, Лебедев, — всех тут назвать невозможно. Нашим сборником мы пытаемся воскресить то русское слово, которое было сказано почти ровно сто лет тому назад, — воскресить так, как оно было сказано, на языке того времени, во всеоружии знания, школы и таланта, со спокойной уверенностью и проникновением в будущее.

Чл.-корр. АН СССР *T. П. Кравец*.