

ЭМИЛИЙ ХРИСТИАНОВИЧ ЛЕНЦ – ОДИН ИЗ ОСНОВОПОЛОЖНИКОВ НАУКИ ОБ ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМЕ

Баранов М.И., д.т.н.

НИПКИ "Молния" Национального технического университета

"Харьковский политехнический институт"

Украина, 61013, г. Харьков, ул. Шевченко, 47, НИПКИ "Молния" НТУ "ХПИ"

тел. (057) 707-68-41, факс (057) 707-61-33, e-mail: nipkimolnija@kpi.kharkov.ua

Наведено короткий історичний нарис про наукову діяльність визначного російського фізика Ленца, який зробив великий внесок у розвиток учіння про електричні та магнітні явища.

Приведен краткий исторический очерк о научной деятельности выдающегося русского физика Ленца, внесшего большой вклад в развитие учения об электрических и магнитных явлениях.

*202-летию со дня рождения
выдающегося русского физика
Э.Х. Ленца посвящается.*

ВВЕДЕНИЕ

Выдающийся электрофизик, наш бывший соотечественник и один из основоположников русской электротехники Эмилий Христианович Ленц родился 12 февраля 1804 года в г. Тарту (в прошлом называвшийся г. Юрьев, а затем г. Дерпт), входившим ранее в состав России, а сейчас принадлежащем Эстонии [1]. Отцом Эмилия был обер-секретарь городского магистрата Христиан Ленц. Мать Эмилия была домохозяйкой. Интересно отметить, что фамилия Ленц была весьма распространенной в России в XVIII–XIX веках. Уже в гимназии сын Ленцев начал увлекаться естественными науками и математикой. После окончания в 1820 году городской гимназии первым учеником Эмилий по совету своего дяди, профессора химии Дерптского университета Ф.И. Гизе поступил на учебу в местный университет на естественный факультет. Заметим, что Ф.И. Гизе уже в 23 года был профессором технической химии и фармации Харьковского университета, а в 1814 году он перевелся на кафедру химии и фармации Дерптского университета. Следует отметить то, что вышеупомянутый прибалтийский университет был с самого своего основания одним из крупнейших научных и учебных заведений России. Он стоял в одном ряду не только с открытыми вначале XIX столетия Харьковским, Казанским и Санкт-Петербургским университетами, но и с флагманом высшего образования в России – Московским университетом имени М.В. Ломоносова. На первых порах научными наставниками Эмилия были профессор химии Ф.И. Гизе и профессор физики Е.И. Паррот, последний из которых был организатором и первым ректором Дерптского университета, располагавшего в свое время хорошим физическим кабинетом. Выполняя в этом кабинете студенческие работы по физике, Эмилий сумел выработать у себя не только умение обращаться с физическими приборами, но и глубокие знания их конструкций и принципов действия, а также их функциональных возможностей для эффективного использования достаточно примитивных с современной точки зрения устройств и прибо-

ров лабораторной техники физического кабинета Дерптского университета в экспериментальных исследованиях, в том числе и в области электромагнетизма.



Эмилий Христианович Ленц (1804–1865)

После кончины в 1821 году профессора Ф.И. Гизе, материально поддерживавшего семью Эмилия, в жизни Э.Х. Ленца наступили значительные для него перемены: Эмилий был вынужден перейти с естественного факультета на теологический (по мнению его родственников только на богословском поприще после окончания им университета можно было ожидать определенного материального достатка и появления возможности у него для оказания им финансовой помощи). Не имея склонности к карьере служителя христианской церкви, Эмилий не бросал занятий по физике и в свободное от учебы время продолжал совместно с преподавателями опыты и поисковые научные

работы в физическом кабинете Дерптского университета. Оценив недюжинные способности Э.Х. Ленца в области физики, профессор Е.И. Паррот надеялся со временем как-то трудоустроить своего ученика в любимой им области физических знаний.

1. НАЧАЛО СТАНОВЛЕНИЯ МОЛОДОГО УЧЕНОГО

В 1823 году такая возможность профессору Е.И. Парроту для трудоустройства Э.Х. Ленца представилась: к нему обратилось Российское Адмиралтейство с просьбой о подборе для кругосветной морской научной экспедиции на шлюпе "*Предприятие*" нескольких способных человек, могущих в открытом море самостоятельно вести физические, астрономические, геологические, ботанические и зоологические наблюдения и исследования. В части физических наблюдений для указанной экспедиции выбор пал на молодого и полного сил Э.Х. Ленца. Капитаном шлюпа "*Предприятие*" был назначен опытный мореплаватель О.Е. Коцебу, а организация подготовки этой русской кругосветной научной экспедиции для изучения Берингова пролива и северной части Тихого океана была возложена на известного всем нам русского исследователя и первооткрывателя новых земель контр-адмирала И.Ф. Крузенштерна [1]. Совместно с профессором Е.И. Парротом Эмилий Ленц для данной экспедиции сконструировал и изготовил два физических прибора: батометр (прибор для взятия проб морской воды на различных глубинах с различной температурой) и глубомер. Как оказалось в дальнейшем оба эти прибора имели неосценимое значение для выполнения запланированных научно-физических наблюдений экспедиции. Здесь следует привести одно уместное высказывание выдающегося русского океанографа и боевого адмирала С.О. Макарова [1, 2]: "*...Из всех бывших в употреблении способов доставания воды с больших глубин я признаю самым лучшим тот способ, который употребил Э.Х. Ленц в 1824–1826 годах*". В период указанной экспедиции молодой Э.Х. Ленц находил время и для самостоятельных занятий по физике и математике. Поэтому в течение трехлетнего плавания на шлюпе "*Предприятие*" с 28 июля 1823 года по 10 июля 1826 года Э.Х. Ленц прошел не только большую трудовую и жизненную школу, но и сумел по указанным выше дисциплинам изучить в полном объеме материалы соответствующих университетских курсов. С января 1827 года по март 1828 года Э.Х. Ленц занимался в г. Санкт-Петербурге подготовкой отчета о проведенных им физических наблюдениях в русской морской кругосветной экспедиции в период 1823–1826 годов. Данный отчет произвел благоприятное впечатление в Российской (Петербургской) Академии Наук (РАН). За свой усердный научный труд в вышеупомянутой экспедиции Э.Х. Ленц в мае 1828 года был избран адъюнктом (помощником академика) РАН по физике. Здесь нельзя не отметить того, что Э.Х. Ленцу как ученому-физику в будущем принадлежало достаточно большое количество работ по физической географии (например, по определению температуры воздушной атмосферы, газов и твердых веществ, а также солёности

вод морей [4]; по изменению уровня Каспийского моря [5]; барометрическому измерению высот над уровнем моря [6]; по измерению магнитного наклона и силы земного магнетизма [7] и др.). Историки науки и техники считают, что Ленц как геофизик немногим уступал Ленцу как электрофизику [1, 7].

На взгляд автора, прежде чем перейти к краткому описанию научной деятельности Э.Х. Ленца в РАН, нам необходимо хотя поверхностно охарактеризовать то положение, которое создалось в ней (Академии) в первой половине XIX века в области физической науки. В 1815 году после кончины ординарного академика РАН по физике Г.В. Крафта на его место был избран В.В. Петров – автор важных работ по химии и электричеству, первый электротехник, открывший миру явление электрической дуги и предсказавший возможность ее использования в практических целях (напомним читателю, что в 2003 году мировое научное сообщество отмечало 200-летний юбилей этого великого открытия) [1,3]. Еще с 1810 года руководство РАН поручило своему экстраординарному академику В.В. Петрову заведывание физическим кабинетом Академии, находившимся тогда в ведении ординарного академика Г.В. Крафта и пришедшим к концу его жизни в полное запустение. Здесь важно отметить, что согласно истории физики Г.В. Крафту принадлежала одна из первых приближенных калориметрических формул для определения температуры смеси горячей и холодной воды [8]. В.В. Петров к 1815 году привел в требуемый порядок этот физический кабинет и сделал его одним из лучших в России. Независимый и смелый в суждениях ординарный академик РАН В.В. Петров в связи со своей принципиальной позицией по вопросу неудовлетворительного отношения правящих кругов России к отечественной науке "нажил" себе большого врага в лице тогдашнего президента РАН, графа и реакционера С.С. Уварова. К этому времени упомянутый нами профессор Е.И. Паррот был избран в 1826 году ординарным академиком РАН по прикладной математике (в феврале 1828 года он был переизбран ординарным академиком РАН уже по кафедре физики) и стремился заслужить расположение своего "патрона" С.С. Уварова. Президент РАН, граф С.С. Уваров, согласно историческим материалам архива РАН [1], из-за личных амбиций и постоянно сеемых им в Академии интриг искал любую возможность, чтобы избавиться от неудобного ему академика В.В. Петрова, зарекомендовавшего себя выдающимися научными работами по физике и электротехнике (например, своими монографиями [8]: "*Собрание физико-химических новых опытов и наблюдений*", 1801 год; "*Известие о гальвани-вольтовых опытах*", 1803 год; "*Новые электрические опыты*", 1804 год). После неоднократного нетактичного и порочащего ученое звание академика вмешательства Е.И. Паррота в дела физического кабинета Академии, поддержанного ее президентом, графом С.С. Уваровым, академик В.В. Петров, в конце концов, в 1827 году был смещен с заведывания этим научным кабинетом. Е.И. Парроту, принявшему от В.В. Петрова физический кабинет РАН, сразу была открыта "зеленая улица" для его переоснащения новыми физиче-

скими приборами, чего так тщетно добивался академик В.В. Петров не один год кряду. Работу по дальнейшему улучшению состояния рассматриваемого нами кабинета Академии Е.И. Паррот проводил при участии адъюнкта РАН по кафедре физики Э.Х. Ленца, который, как начинающий свою научную карьеру молодой ученый, едва ли мог повлиять на ход прямо таки расправы С.С. Уварова (с помощью того же академика Е.И. Паррота) с академиком РАН В.В. Петровым. Принимая почти непосредственно от выдающегося русского электротехника В.В. Петрова его любимое "детище" – практически созданный им физический кабинет РАН, Э.Х. Ленц становился как бы преемником В.В. Петрова в последующем развитии русской физической школы. Дальнейшие события показали, что Э.Х. Ленц действительно оказался достойным своего знаменитого предшественника, ординарного академика РАН по кафедре физики и одного из основоположников русской электротехники Василия Владимировича Петрова.

2. ОПЫТЫ ЛЕНЦА ПО ПРОВЕРКЕ ЗАКОНА ОМА И УСТАНОВЛЕНИЮ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРОВОДНИКОВ

Свои первые экспериментальные исследования электромагнитных явлений Э.Х. Ленц начал в мае 1831 года и начал он их с изучения точности измерения применяемых для этих целей физических приборов (например, крутильных весов Кулона; вольтэлектромметра Фарадея и др.). Э.Х. Ленц придавал определяющее значение в научной работе измерительным приборам и не раз говорил [9]: "*...Я считаю, что, мы, физики, не должны отклоняться от метода астрономов, которые всегда начинают с всестороннего исследования применяемых измерительных инструментов*". Заметим, что при обработке экспериментальных физических данных он широко применял математический анализ и метод наименьших квадратов [1]. В то время единственным достаточно точным прибором у электротехников были крутильные весы Кулона, действие которых было теоретически обосновано [1, 7]. Э.Х. Ленц немало потрудился с крутильными весами Кулона, которыми он пользовался для измерения силы постоянного тока в проводниках электрической цепи [10]. Об измерении переменных токов речи тогда еще не шло, так как к началу работ Э.Х. Ленца по исследованию электромагнетизма не был открыт и изобретен их источник генерирования. Отметим, что знаменитый немецкий учитель Георг Ом при опытным доказательстве в 1827 году своего количественного закона для цепи электрического тока, носящего ныне его имя, использовал открытое немногим ранее в 1821 году явление термоэлектричества. Последним открытием человечество было обязано прибалтийскому физику Томасу Зеебеку [8]. Применение в опытах термоэлементов в то время было существенно ограничено из-за вырабатываемой ими незначительной величины электродвижущей силы (ЭДС). Следует подчеркнуть, что закон Ома, описанный последним в его основном научном труде "*Гальваническая цепь, разработанная математически*" (1827 год) [8] и без которого мы себе сейчас не

представляем ни одного учебника по электричеству, не сразу был принят физиками и электротехниками мира. Его признание происходило постепенно и параллельно с успехами в электрометрии. Вот с его то опытной проверки и начал свое конкретное изучение явлений электромагнетизма Э.Х. Ленц. В ноябре 1832 года в представленном РАН развернутом докладе он после самостоятельной кропотливой экспериментальной проверки закона Ома уверенно подчеркивает свою убежденность в его работоспособности и справедливости как для твердых, так и жидких проводящих сред [1].

Большое значение в истории физики и электротехники имели работы Э.Х. Ленца по исследованию температурной зависимости электрического сопротивления различных металлов. Он сразу понял важность количественного подхода при изучении взаимной связи тепловых и электромагнитных процессов в проводниках. При количественном исследовании закона изменения с температурой удельной электропроводности γ проводников из различных материалов Э.Х. Ленц применил изобретенный им в 1832 году наиболее точный для того времени метод измерения – баллистический способ измерения тока, протекающего через исследуемые нагреваемые проводники [1]. Что касается измерений температуры нагреваемых проводников, то они базировались на более прочном научном "фундаменте", нежели измерения электромагнитных характеристик электрической цепи. Заметим, что к 1822 году выдающимся французским математиком и физиком Жаном Батистом Фурье была закончена разработка математической теории теплопроводности физических тел, содержащейся в его фундаментальной работе "*Аналитическая теория тепла*" [8]. Именно в этой работе Ж.Б. Фурье было впервые выведено дифференциальное уравнение теплопроводности и разработаны методы его интегрирования при заданных краевых условиях для некоторых частных случаев. Исследуя температурную зависимость γ для металлов, Э.Х. Ленц окружал шарик термометра металлической проволокой из испытываемого материала и помещал их внутрь закрытого металлического сосуда с минеральным маслом, нагреваемого снизу при помощи газовой горелки [1,11]. Измерения тока, протекающего через исследуемую нагреваемую металлическую проволоку, Э.Х. Ленцем проводились как при нагревании, так и при охлаждении сосуда с маслом, внутри которого были размещены проволока и термометр, при тех же температурах. Таким путем им исключалось влияние одновременного нагревания испытываемой проволоки и активных элементов термометра. Обработывая по методу наименьших квадратов результаты своих опытных измерений величины γ , для таких металлов как платина *Pt*, золото *Au*, свинец *Pb*, олово *Sn*, медь *Cu* и латунь (сплав 58% меди *Cu* и 42% цинка *Zn* [1, 10]), он получил эмпирические выражения и по ним построил нормированные кривые для определения зависимости удельного электрического сопротивления ρ указанных проводниковых материалов от их температуры [11, 12]. Сравнение этих данных Э.Х. Ленца с

современными результатами температурных зависимостей γ и соответственно ρ для упомянутых выше металлов и сплавов свидетельствует об их хорошем согласовании [1, 11 – 13].

3. ОПЫТЫ ЛЕНЦА ПО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ И УСТАНОВЛЕНИЮ ПРАВИЛА ВЫБОРА НАПРАВЛЕНИЯ ПРОТЕКАНИЯ В ПРОВОДНИКАХ ИНДУКЦИОННОГО ТОКА

Эмпирическим фактом, установленным великим английским физиком Майклом Фарадеем в 1831 году, было то, что изменяющееся во времени или в пространстве магнитное поле создает (индуцирует) в размещенном в таком поле проводнике ЭДС и при соответствующих условиях вызывает в нем протекание индукционного электрического тока. Это открытое М. Фарадеем электрофизическое явление в науке об электромагнетизме получило название явления или закона электромагнитной индукции (ЭМИ) [8, 14]. Не будет здесь излишним отметить то обстоятельство, что М. Фарадей в первой серии своих "Экспериментальных исследований по электричеству", датированной ноябрем 1831 года [15], в разделе "Об электротоническом состоянии" упоминает о претензиях на приоритет в открытии явления ЭМИ со стороны сразу двух выдающихся французских физиков – Огюстена Жака Френеля и Андре Мари Ампера. Данные ученые заявляли, что они сами наблюдали в своих экспериментах по магнитному действию электрического тока явления, аналогичные ЭМИ. К открытию явления ЭМИ независимо от М. Фарадея с небольшим опозданием пришел и известный американский физик и электротехник Джозеф Генри [8]. Становится понятным, что открытие явления ЭМИ, как говорят ученые, "носило в воздухе". Первым все же, кто его "поймал", понял и описал, был гениальный английский "самородок" и "самоучка" М. Фарадей, обесмертивший для потомков этим законом свое имя.

Уже в 1832 году Э.Х. Ленц первым в России приступил к количественному анализу только что открытого в Англии явления ЭМИ. В этих исследованиях Э.Х. Ленцу здорово помог им же придуманный и нами упомянутый выше способ измерения тока в электрической цепи посредством баллистического гальванометра [1, 11]. В результате проведенных им в 1832 году опытов с постоянными магнитами и электрическими катушками по изучению явления ЭМИ было установлено [1, 16]: во-первых, то, что ЭДС, которую возбуждает магнит в катушке с идентичными витками, выполненными из проволоки одинаковой толщины и из одного и того же материала, прямо пропорциональна числу витков катушки; во-вторых, ЭДС, возбуждаемая магнитом в катушке с одинаковыми витками, равна сумме ЭДС, наводимых в каждой витке катушки; в-третьих, ЭДС, возбуждаемая магнитом в катушке, остается неизменной для любых толщин ее проволоки, то есть эта ЭДС не зависит от толщины проволоки; в-четвертых, ЭДС, наводимая магнитом в катушках, проволока которых выполнена из различных проводящих материалов, при прочих равных условиях одинакова для любых материалов. Сопоставляя эти выводы и положения, полученные

Э.Х. Ленцем чисто опытным путем, можно было заключить, что значение рассматриваемой ЭДС не зависит от электрофизических свойств среды, в которой она возникает, а целиком определяется условиями ее возбуждения в данной среде. Такие воззрения Э.Х. Ленца были принципиально новыми в изучении явления ЭМИ и давали первые количественные характеристики в ее проявлении применительно к многовитковым катушкам.

В 1833 году Э.Х. Ленц, исследуя индукционные токи в проводниках, вызванные действием явления ЭМИ, открыл свой знаменитый закон – "правило Ленца", определяющее направление протекания индукционного тока в проводниках [1, 8]. Вот как сам Э.Х. Ленц сформулировал вошедшее в историю электротехники свое "правило" [8, 17]: "...Если металлический проводник перемещается вблизи гальванического тока или магнита, то в нем возникает гальванический ток. Направление этого возбужденного тока таково, что покоящийся проводник пришел бы от него в движение, прямо противоположное его действительному перемещению. При этом предполагается, что покоящийся проводник может перемещаться только в направлении действительного движения или в прямо противоположном направлении". Заметим, что вначале это "правило" Э.Х. Ленц 29 ноября 1833 года доложил РАН при представлении ей своей научной работы "Об определении направления гальванических токов, возбуждаемых электродинамической индукцией". Данным "правилом" Э.Х. Ленц одним из первых не только подтвердил открытое М. Фарадеем явление ЭМИ, но и прямо указал на энергетическую основу такого явления. Ведь при перемещении в магнитном поле металлического проводника, в котором индуцируется вызванный им электрический ток, приходится совершать механическую работу для преодоления противодействия индукционного тока такому перемещению проводника. В этой связи "правило Ленца" представляет собой не что иное, как частный случай закона сохранения энергии при взаимных превращениях механической и электромагнитной энергий. Как здесь не вспомнить великого русского ученого, основоположника русской физики Михаила Васильевича Ломоносова, который еще в 1748 году написал [1, 8]: "...Все перемены, в натуре случающиеся, такого суть состояния, что сколько чего у одного тела отнимается, столько присовокупляется к другому. Так, ежели, где убудет несколько материи, то умножится в другом месте. Сей всеобщий естественный закон простирается и в самые правила движения, ибо тело, движущее своею силою другое, сколько же оныя у себя теряет, сколько сообщает другому, которое от него движение получает".

Ниже на простом примере рассмотрим практическое применение этого "правила Ленца". Представим себе, что через контур проводника, выполненного в виде круглого короткозамкнутого витка 1, проходит возрастающий во времени t поток Φ силовых линий 2 первичного магнитного поля от полюсов 3 и 4 магнита (рис. 1). Тогда в результате воздействия первичного магнитного поля на рассматриваемый электрический контур в последнем наведется такая ЭДС

$E_{\text{ИД}}$, которая вызовет в нем протекание электрического тока $i_{\text{ИД}}$, направление протекания которого можно будет как раз и определить по "правилу Ленца". Заметим, что введенное нами значение ЭДС $E_{\text{ИД}}$, возникающей в проводниках при изменении магнитного потока Φ от первичного магнитного поля (например, при замыкании, размыкании, временном изменении тока в первичной индуцирующей цепи, а также при приближении или удалении магнитов от проводников), великий английский физик Джеймс Клерк Максвелл выразил в виде следующего всем нам известного классического равенства [8, 18]: $E_{\text{ИД}} = -d\Phi/dt$, где Φ – изменяющийся во времени t магнитный поток, охватываемый проводником, в котором индуцируется электрический ток. Знак минус, поставленный в приведенном выше равенстве для $E_{\text{ИД}}$, как раз и соответствует рассматриваемому нами "правилу Ленца". Согласно этому "правилу" вторичное магнитное поле, созданное электрическим током $i_{\text{ИД}}$, возникающим в результате изменения первичного магнитного поля, своим действием будет препятствовать действию первичного магнитного поля. В результате вторичное магнитное поле будет направлено против первичного магнитного поля в случае, когда последнее возрастает, и в том же направлении, что и первичное магнитное поле, в случае убывания последнего.

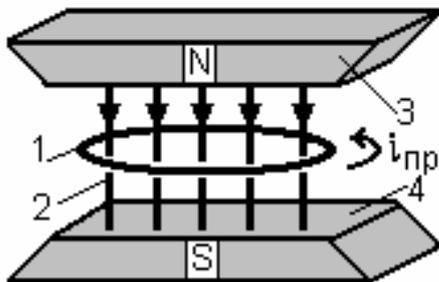


Рис. 1. Простейшая электромагнитная система, поясняющая использование на практике "правила Ленца" (1 – круглый виток проводника; 2 – силовые линии первичного магнитного поля; 3, 4 – полюсы магнита).

Поэтому применение в нашем случае данного "правила Ленца" при определении направления протекания электрического тока $i_{\text{ИД}}$ в рассматриваемом короткозамкнутом витке приводит нас к тому направлению тока $i_{\text{ИД}}$ в витке, которое указано стрелкой на рис.1. Таким образом, согласно "правилу Ленца" при явлении ЭМИ возникающий в проводниках индукционный ток $i_{\text{ИД}}$ будет такого направления, что он (этот ток) будет противодействовать изменению, порождающему его. Данное "правило Ленца" применительно к явлению самоиндукции в проводниках и в катушках с переменным током, обусловленному воздействием ЭМИ, и определению в них направления напряжения индукции может быть сформулировано и в таком виде [10]: "Возникающее в проводниках в результате проявления самоиндукции электрическое напряжение противоположно порождающему его изменению электрического тока".

4. ОТКРЫТИЕ ЛЕНЦЕМ ЗАКОНА ТЕПЛОВОГО ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

При выполнении исследований в области электромагнетизма Э.Х. Ленц неоднократно сталкивался с необходимостью уточнения законов тепловых явлений в цепи электрического тока. Поэтому, говоря об истории установления Э.Х. Ленцем закона теплового действия электрического тока, следует подчеркнуть ту ее особенность, что он пришел к нему (этому закону) самостоятельным путем и независимо от исследований известного английского физика Джеймса Прескотта Джоуля. Заметим, что свой закон о тепловыделении в проводнике с током Д.П. Джоуль в части зависимости выделяющегося количества теплоты Q от электрического сопротивления R проводника обосновал всего четырьмя измерениями с погрешностью примерно равной 3%, а зависимость Q от величины электрического тока J – лишь пятью измерениями в интервале температур от 0 до 22°C [1, 8]. В своих опытах по определению в проводниках с электрическим током зависимости Q от величин R , J и соответственно времени t протекания в них тока J Э.Х. Ленцем был применен специально изготовленный прибор, основными частями которого являлись [1, 19]: стеклянный сосуд цилиндрической формы с жидкостью (85%-ный этиловый спирт), внутри которого размещался свернутый в спираль исследуемый проводник (выполненный вначале опытов из тонкой платиновой проволоки), к концам которого подводилось постоянное электрическое напряжение от изобретенной в 1836 году батареи Даниеля с ЭДС примерно в 24В; специально выполненный для этих опытов и тщательно прокалиброванный термометр, активный элемент которого (шарик с ртутью Hg) через герметичную стеклянную пробку указанного сосуда был опущен до его (сосуда) середины. Для измерения силы тока J (например, в платиновом проводнике) Э.Х. Ленц использовал прибор, называемый тангенс-буссолью (гальванометром) и изобретенный профессором Нервандером из г. Гельсингфорса, являющегося ныне столицей Финляндии и именуемого г. Хельсинки. Электрическое сопротивление R как платинового, так и других примененных им тонких проводников (железного, медного и нейзильберового), как до, так и в процессе протекания по ним тока J , измерялось при помощи агометра (реостата из калиброванной проволоки) конструкции известного русского электротехника Б.С. Якоби и усовершенствованного в 1842 году под эти опыты Э.Х. Ленцем [1, 20]. В ходе данных опытов Э.Х. Ленц определял время t_1 , необходимое для нагревания платиновым или другим проводником с током J этилового спирта в стеклянном сосуде на 1°C (кстати, Д.П. Джоуль для этих целей использовал воду, обладающую значительно большими значениями удельной электропроводности и поэтому вносящую в измерение температуры жидкости большую погрешность). Отсутствие утечки тока через примененную жидкость в стеклянном сосуде Э.Х. Ленц при помощи лупы определял по отсутствию пузырьков газа на концах погруженной в эту жидкость металлической спирали с электрическим

током J . В процессе нагревания этилового спирта время t_1 отсчитывалось через каждый градус Цельсия, а при обработке результатов измерений использовались его средние значения для соответствующего интервала температур. На основании проведенных Э.Х. Ленцем 16 серий наблюдений им в декабре 1842 года был подготовлен доклад для РАН, где было неопровержимо доказано следующее [1, 19]: во-первых, нагревание металлических проводников гальваническим током прямо пропорционально их электрическому сопротивлению R ; во-вторых, нагревание металлических проводников гальваническим током прямо пропорционально квадрату служащего для этого нагревания тока J . Что касается зависимости выделившегося в проводнике с электрическим током проводимости J количества теплоты Q от времени t , которую мы обычно включаем в закон Джоуля-Ленца (как известно, в нашем случае $Q = R \cdot J^2 \cdot t$ [8, 10]), то Э.Х. Ленц считал прямую пропорциональность этих величин делом совершенно несомненным и очевидным [1, 19]. Результаты данных исследований Э.Х. Ленц опубликовал в 1843 году в работе под заглавием "О законах выделения тепла гальваническим током" [8, 19]. Что касается Д.П. Джоуля, то он свою работу "О тепловом эффекте магнитоэлектричества и механическом эффекте теплоты" доложил в августе 1843 года на собрании Британской Ассоциации, то есть чуть раньше выхода в свет указанной выше публикации Э.Х. Ленца. В части существа этих работ приведем краткое высказывание по ним самого Э.Х. Ленца [8]: "...Хотя мои результаты, в основном, и совпадают с результатами Джоуля, они свободны от тех обоснованных возражений, которые вызывают работы Джоуля". Именно точность и обстоятельность вкратце описанных нами опытов Э.Х. Ленца обеспечили признание международной научной общественностью того фундаментального закона, который вошел в историю физики и науки под вышеупомянутым нами названием закона Джоуля-Ленца.

5. РАБОТЫ ЛЕНЦА ПО ИЗУЧЕНИЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И ОТКРЫТИЕ ИМ ЯВЛЕНИЯ ИХ ОБРАТИМОСТИ

Важное место в научно-техническом наследии Э.Х. Ленца и в истории электротехники занимают его как самостоятельные, так и совместные с уже упомянутым нами русским электромехаником и будущим академиком РАН Б.С. Якоби исследования в области электрических машин. Заметим, что в свое время до переезда в г. Санкт-Петербург последний был профессором архитектуры Дерптского университета [1]. Определенный вклад Э.Х. Ленц внес и в теорию электрических машин (например, в исследование механизмов намагничивания железа ротора-якоря электрической машины; в расчеты электромагнитов; в изучение распределения магнитного потока вдоль железных сердечников; в определение закона убывания магнитного потока в железном сердечнике вне намагничивающей катушки; в получение еще до 1847 года и Густава Кирхгофа закона разветвления тока в сложной электрической цепи; в разработку метода расчета

обмотки электрогенератора для получения максимального индукционного тока и в др.) [1, 19]. Значительным достижением Э.Х. Ленца в данной области электромагнетизма явилось открытие и объяснение им явления "реакции якоря" электрической машины. Еще известный немецкий физик Вильгельм Вебер обнаружил нарушение пропорциональности между скоростью вращения ротора (якоря) электрогенератора и индуцированной им в обмотке статора ЭДС (величины тока). Для объяснения этой зависимости В. Вебер предположил, что причиной подобной непропорциональности является коэрцитивная сила железа якоря электрогенератора [1, 20]. В 1847 году Э.Х. Ленц при исследовании влияния скорости вращения якоря динамомашины на величину вырабатываемой ею ЭДС задолго до изобретателя Жубера применил механический коммутатор своей конструкции, позволивший ему графически воспроизводить кривые получаемого в ней переменного электрического тока. Для справки укажем, что так называемый "диск Жубера", предназначенный для изучения формы кривой переменного тока в электрических машинах до изобретения осциллографа, последним был описан лишь в 1880 году [1, 20]. После многолетних изысканий по данному важному для теории и практики электрических машин вопросу Э.Х. Ленц установил ошибочность концепции В. Вебера и показал, что [1, 19, 20]: во-первых, среднее значение первичного тока за период в катушках якоря не изменяется при появлении вторичного тока в обмотке статора; во-вторых, от действия вторичного тока в обмотке статора нейтральная линия электрической машины сдвигается по направлению движения якоря на тем больший угол, чем больше скорость его вращения. Учитывая полученные им результаты, он предположил то, что для достижения максимальной эффективности электрической машины (например, генератора постоянного тока) ее коммутатор должен для каждой скорости вращения ротора (якоря) и для каждой силы тока иметь особое положение на оси электрической машины, то есть он рекомендовал технический прием, которым пользуются и поныне, а именно: сдвиг (перемещение) щеток ротора (якоря) относительно нейтральной линии электрической машины.

Из истории создания электрических машин (электрогенераторов и электродвигателей) известно, что большинство их изобретателей считали, что каждая из разработанных электрических машин может выполнять только те функции, которые соответствуют ее названию и назначению. Такой взгляд доминировал в электротехнике вплоть до создания Пачинотти электродвигателя с кольцевым якорем (1860 год) и Граммом электрогенератора тоже с кольцевым якорем (1870 год) [20, 21]. Эти два изобретения сблизили оба направления развития электрических машин и показали, что возможна разработка единой электрической машины, способной работать как в виде электрогенератора, так и в виде электродвигателя. В основе такого подхода лежал принцип "обратимости электрических машин", разработанный Э.Х. Ленцем еще в 1833 году [21]. В период 1833–1838 годы он на основе своего "правила Ленца" не только показал теоретически возможность осуществления такого явления, но и дока-

зал экспериментально реальность этого принципа на практике, заставив динамомашину Пикси работать в двигательном режиме [20].

В рамках данной работы не представляется возможным даже кратко описать многогранную научно-педагогическую (ограничимся лишь приведением на рис. 2 титульного листа его учебника по физике) и инженерную деятельность с 1848 по 1865 годы профессора, ординарного академика РАН по физике Э.Х. Ленца (избран в 1834 году вместо умершего академика В.В. Петрова), не один год занимавшего должность ректора Санкт-Петербургского университета вплоть до своей кончины 29 января 1865 года в г. Риме.

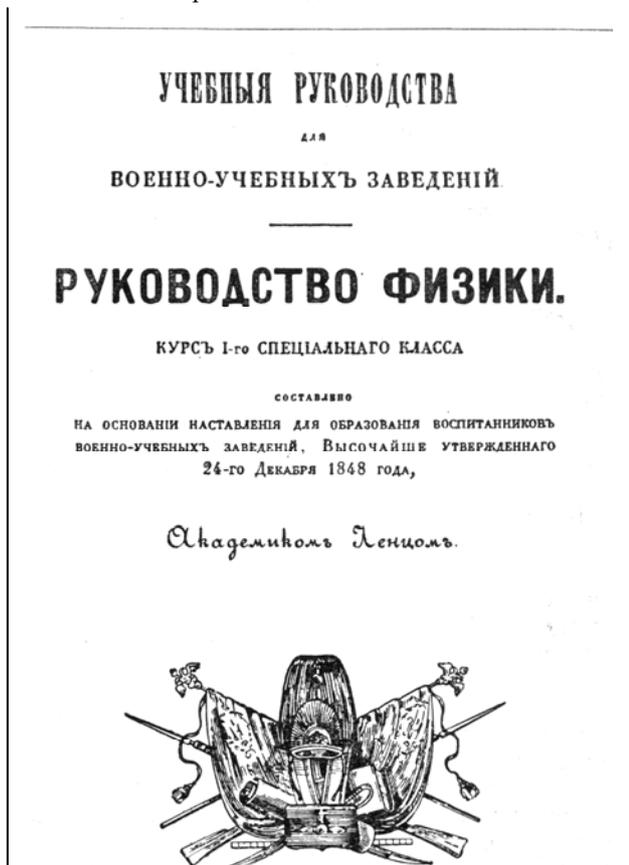


Рис. 2. Титульный лист учебника Э.Х. Ленца по физике (издание 1856 года [20]).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Лежнева О.А., Ржонский Б.Н. Эмилий Христианович Ленц.-М.-Л.: Госэнергоиздат, 1952.-191 с.
- [2] Семанов С.Н. Макаров (1848–1904)/ Серия: Жизнь замечательных людей. М.: Молодая гвардия, 1972.-288 с.
- [3] Намитоков К.К., Клименко Б.В. Электрическая дуга: 200-летний юбилей великого открытия // Электротехника і електромеханіка.-2003.-№2.-С. 46-49.
- [4] Lenz E. Vorschlag zum Konstruktion eines Thermometers, welcher sich die Kurve seines täglichen Steigens und Fallens selbst aufzeichnet// Mém. de l'Acad. des Sciences de St.-Pbg., VI Série, том II, 1833.-S. 8–10.
- [5] Lenz E. Über die Veränderungen der Höhe, welche die Oberfläche des Kaspischen Meeres bis zum April des Jahres 1830 erlitten hat// Mém. de l'Acad. des Sciences de St.-Pbg., VI Série, том II, 1833.-S. 67–102.
- [6] Lenz E. Barometrische Höhenmessungen im Kaukasus, angestellt von C. Meyer und E. Lenz, berechnet von E.

- Lenz // Bulletin Scientifique de l'Acad. des Sciences de St.-Pbg., том I, №1, 1836.-S. 353–394.
- [7] Лежнева О.А. Научная деятельность Э.Х. Ленца в области физики // Труды института истории естествознания АН СССР, т. IV, 1952.-С. 104-139.
- [8] Кудрявцев П.С. Курс истории физики.-М.: Просвещение, 1974.-312 с.
- [9] Lenz E. Über die Leitung des galvanischen Stromes durch Flüssigkeiten, wenn der Querschnitt derselben verschieden ist von der Fläche der in sie getauchten Elektroden// Bulletin de la classe phys. – math. de l'Acad. des Sciences de St.-Pbg., том I, 1852.-S.129–142.
- [10] Кухлинг Х. Справочник по физике: Пер. с нем. под ред. Е.М. Лейкина.-М.: Мир, 1982.-520 с.
- [11] Lenz E. Über die Leitungsfähigkeit der Metalle für die Elektrizität bei verschiedenen Temperaturen// Annalen der Physik und Chemie, Leipzig.–1835.–Bd. 34.–S.418–437.
- [12] Lenz E. Über die Leitungsfähigkeit des Goldes, Bleies und Zinnes für die Elektrizität bei verschiedenen Temperaturen// Annalen der Physik und Chemie, Leipzig.–1838.–Bd. 45.–S.105–121.
- [13] Столович Н.Н., Милицкая Н.С. Температурные зависимости теплофизических свойств некоторых металлов. Минск: Наука и техника, 1975.-160с.
- [14] Баранов М.И. Джеймс Клерк Максвелл и теория электромагнитного поля// Электротехніка і електромеханіка.-2005.-№1.-С. 5-7.
- [15] Боев В.М. К 175-летию опубликования первой серии "Экспериментальных исследований по электричеству" Майкла Фарадея// Электротехніка і електромеханіка.-2004.-№3.-С. 5-7.
- [16] Lenz E. Über die Gesetze, nach welchen der Magnet auf eine Spirale einwirkt, wenn er ihr plötzlich genähert oder von ihr entfernt wird und über die vorteilhafteste Konstruktion der Spiralen zu magneto- elektrischem Behufe// Mém. de l'Acad. des Sciences de St.-Pbg., VI Série, том II, 1833.-S. 427–457.
- [17] Lenz E. Über die Beziehung zwischen elektromagnetischen und magneto – elektrischen Ströme// Annalen der Physik und Chemie, Leipzig.–1838.–Bd. 44.–S. 342–349.
- [18] Боев В.М., Грибовская Е.А., Лавриненко О.В. "Электротоническое состояние" и закон электромагнитной индукции Фарадея// Электротехніка і електромеханіка.-2004.-№4.-С. 5-8.
- [19] Ленц Э.Х. Избранные труды.- М.: Изд-во АН СССР, 1950.-521с.
- [20] Цверва Г.К. Эмилий Христианович Ленц// Электричество.-1954.-№2.-С.68-72.
- [21] Гусев С.А. Открытие явления обратимости электрических машин// Электричество.-1954.-№12.-С. 70-71.

Поступила 19.07.2005