

ЖУРНАЛЪ

МИНИСТЕРСТВА

НАРОДНАГО ПРОСВѢЩЕНІЯ.



ЧАСТЬ LXXXIII.



САНКТ-ПЕТЕРБУРГЪ.

ВЪ ТИПОГРАФИИ ИМПЕРАТОРСКОЙ АКАДЕМІИ НАУКЪ.

1854.

PRINTED IN RUSSIA

V.

ИСТОРИЯ

ПРОСВѢЩЕНІЯ

И ГРАЖДАНСКАГО ОБРАЗОВАНІЯ.

О ТРУДАХЪ АКАДЕМИКА ЛЕНЦА

ВЪ МАГНИТО-ЭЛЕКТРИЧЕСТВѢ.

Послѣднія изслѣдованія Академика Императорской Академіи Наукъ *Ленца*, относящіяся къ теоріи магнито-электрическихъ машинъ, по важности своей, какъ въ теоретическомъ, такъ особливо въ практическомъ отношеніяхъ, безъ всякаго сомнѣнія, должны были обратить на себя общее вниманіе всѣхъ занимающихся этимъ предметомъ. Желая въ настоящей статьѣ познакомить съ этими важными трудами Г. *Ленца* тѣхъ изъ нашихъ Отечественныхъ Ученыхъ и любителей Физики, которые, при всемъ стремленіи своемъ слѣдить за успѣхами электричества, не въ состояніи пользоваться подлинными мемуарами Г. *Ленца*, я при этомъ случаѣ считаю не бесполезнымъ изложить и всѣ прежнія изслѣдованія Г. *Ленца* по части магнито-электричества, и такимъ образомъ показать, чѣмъ обязана эта отрасль Физики нашему Академику.

Открытие дѣйствія гальваническаго тока на магнитную стрѣлку, сдѣланное въ 1820 году Эрстедомъ и составляющее эпоху не только въ исторіи электричества, но даже, можетъ быть, въ исторіи всей Физики, было началомъ самыхъ блестящихъ успѣховъ электричества. Наука, въ продолженіе двадцати лѣтъ развивавшаяся столь медленно, въ слѣдствіе этого открытія, прямо доказывавшаго давно уже предполагаемую связь между электричествомъ и магнетизмомъ, получила какъ-бы толчокъ, заставившій ее быстро подвинуться впередъ. Простой фактъ, замѣченный Эрстедомъ, тотчасъ же привелъ знаменитаго Ампера къ открытію цѣлаго ряда явленій взаимнаго дѣйствія токовъ на токи и токовъ на магниты и къ составленію новой теоріи магнетизма, — теоріи, которая постепенно подтверждаясь новыми и новыми фактами, въ настоящее время, въ слѣдствіе открытія диамагнитныхъ явленій, должна совершенно вытѣснить общепринятую теорію двухъ магнитныхъ жидкостей (1). Амперъ математически изслѣдовалъ законы найденныхъ имъ явленій, составляющихъ собою отдѣльную отрасль электричества — электро-динамику, и аналитическая теорія Ампера, представлявшая только чисто математическій интересъ, въ недавнее время, въ 1846 году, была самымъ блестящимъ образомъ подтверждена остроумными опытами Вебера (2).

Открытие Араю, показавшее способность токовъ возбуждать магнетизмъ въ желѣзѣ и стали, еще болѣе установило связь между двумя агентами и повело къ тѣмъ разнообразнымъ практическимъ приложеніямъ электричества, которыя такъ быстро распространяются въ наше время.

Способность гальваническихъ токовъ возбуждать магнетизмъ въ магнитныхъ тѣлахъ должна была естественнымъ образомъ наводить мысль на то, что и магнетизмъ въ свою очередь долженъ бы возбуждать въ проводникахъ электрическіе токи или, какъ по теоріи Ампера магнетизмъ приписывается токамъ, то и электрическіе токи должны бы возбуждать въ окружаю-

(1) *Electrodynamische Maasbestimmungen insbesondere über Diamagnetismus*, von W. Weber.

(2) *Weber: Electrodyn. Maasbestimm. I. Leipzig, 1846.*

шихъ ихъ замкнутыхъ проводникахъ, также токи, подобно тому, какъ наэлектризованное тѣло возбуждаетъ статическое электричество во всѣхъ близкихъ къ нему тѣлахъ или магнитъ вызываетъ магнетизмъ въ окружающихъ его магнитныхъ тѣлахъ. Немногія попытки опытомъ доказать такую способность гальваническихъ токовъ не привели ни къ какому результату и, хотя до 1832 года и были извѣстны одинъ классъ явленій (магнетизмъ вращенія), которыя въ настоящее время прямо объясняются этою способностью токовъ, однакожь только въ 1832 году знаменитому Англійскому Физику *Фареддѣ* удалось неоспоримо доказать, что токи при извѣстныхъ условіяхъ могутъ возбуждать, индуцировать токи же въ другихъ замкнутыхъ проводникахъ. Открытіе, сдѣланное *Фареддѣ*, показавшее новый источникъ электричества, должно быть поставлено, подобно *Эрстедову*, на ряду съ самыми важными открытіями въ Физикѣ и, безъ сомнѣнія, должно составлять новую эпоху въ исторіи электричества.

Фареддѣ нашелъ, что единственное условіе, при которомъ можетъ проявляться эта новая способность токовъ, которую онъ назвалъ *индукціею*, состоитъ въ движеніи: для произведенія индуцированныхъ токовъ въ замкнутомъ проводникѣ необходимо, чтобы положеніе этого проводника относительно того проводника, по которому проходитъ токъ, измѣнилось (что можетъ быть произведено или чрезъ движеніе того или другаго изъ проводниковъ или обонхъ вмѣстѣ) или необходимо, чтобы оба проводника оставались въ покоѣ, а возбуждающій (индуцирующій) токъ уничтожался или вообще измѣнялъ свою силу. Въ первыхъ двухъ рядахъ своихъ *Experimental Researches* *Фареддѣ* изложилъ опыты, доказывавшіе существованіе гальванической индукціи, и показалъ, что не однимъ только токамъ свойственна эта способность, но что, какъ и естественно было ожидать по теоріи *Ампера*, и магниты при томъ же условіи возбуждаютъ токи въ замкнутыхъ проводникахъ, равно какъ и земной магнетизмъ дѣйствуетъ такимъ же образомъ. Токи, возбужденные дѣйствіемъ другихъ токовъ, *Фареддѣ* назвалъ *индуцированными*, а возбужденные вліяніемъ магнитовъ — *магнито-электрическими*; новая область электричества, объемлющая весь классъ явленій индукціи, получила названіе *магнито-электричества*.

Показать условіе, при которомъ образуются явленія индукціи, *Фаредд* вмѣстѣ съ тѣмъ старался найти правило, по которому для каждаго даннаго случая можно было бы находить направленіе индуцированнаго тока. Это направленіе, какъ показывали всѣ опыты, находится въ зависимости только отъ двухъ обстоятельствъ: отъ направленія индуцирующаго тока и отъ направленія движенія проводника. Хотя зависимость эта, какъ мы сейчасъ увидимъ, можетъ быть выражена весьма просто, однакожь *Фаредд* не могъ представить ее въ томъ простомъ видѣ, въ какомъ она дѣйствительно должна быть представлена. Правило, данное знаменитымъ Ученымъ для нахождения направленія индуцированнаго тока по даннымъ направленіямъ движенія проводника и индуцирующаго тока (или магнита) состоитъ изъ двухъ правилъ, изъ которыхъ одно относится къ индукціи токовъ, а другое — къ индукціи магнитовъ. Первое не обнимаетъ всѣхъ частныхъ случаевъ индукціи, а второе, по той неясности, съ какою оно выражено, по сложности своей, совершенно неудобно для своей цѣли. *Фаредд* и самъ сознавалъ это,* говоря, что «хотя законъ возбужденія электричества дѣйствіемъ магнито-электрической индукціи и весьма простъ, однакожь трудно описать его» (3).

Черезъ годъ послѣ открытія *Фаредд*, Г. Академикъ *Ленц* показалъ, что законъ, которому слѣдуетъ направленіе индуцированнаго тока, можетъ быть выраженъ въ весьма простомъ видѣ и что въ этомъ видѣ онъ открываетъ намъ связь между явленіями индукціи (магнито-электрическими) и явленіями электро-динамическими. Законъ, данный Г. *Ленцомъ*, представляетъ, какъ мы сейчасъ увидимъ, то же значеніе для магнито-электричества, какое имѣетъ начало *Ампера* для электро-динамики и изъ него могутъ быть выведены всѣ частныя явленія индукціи, какъ простыя слѣдствія. Такимъ образомъ первая важная заслуга Г. *Ленца* состоитъ въ томъ, что онъ привелъ всю область магнито-электричества къ одному простому началу и показалъ связь ее съ электро-динамикой, такъ что для объясненія всѣхъ явленій электро-статки, электро-динамики и магнито-электричества изъ

одного общаго начала оставалось только вывести изъ электростатическихъ началъ законы *Ампера* и *Ленца* — и такое приведение всѣхъ трехъ областей электричества къ одному общему закону удалось найти въ 1846 году знаменитому *Веберу*. Его общая теорія изложена въ его безвѣнномъ для каждаго Физика сочиненіи: «*Electrodynamische Maasbestimmungen*», 1846. стр. 98—170.

Правило или начало, найденное *Г. Ленцомъ*, состоитъ въ слѣдующемъ (4): «Если какой-либо проводникъ движется вблизи другаго, по которому проходитъ токъ, или вблизи магнита, то въ немъ возбуждается во все время движенія токъ, имѣющій такое направленіе, которое заставило бы проводникъ — если бы мы не двигали его — двигаться по направленію прямо противоположному тому направленію, по которому мы его движемъ (предполагая, что проводникъ подвиженъ только по направленію сообщаемаго ему движенія и по противоположному)». Посему, чтобы найти направленіе индуцированнаго тока въ какомъ-либо данномъ случаѣ, когда направленіе индуцирующаго тока и направленіе движенія проводника извѣстны, стоитъ только отыскать то направленіе, которое долженъ бы имѣть токъ въ проводникѣ и которое заставило бы этотъ проводникъ притти въ то движеніе, какое мы ему сообщаемъ, и за тѣмъ взять направленіе противоположное: это послѣднее и будетъ направленіемъ индуцированнаго тока. Изъ этого правила уже видно, что всякому электро-динамическому явленію должно соответствовать явленіе магнито-электрическое и; на-оборотъ, для каждаго случая магнито-электрическаго мы должны имѣть соответствующее явленіе электро-динамическое. Въ электро-динамикѣ отъ взаимнаго дѣйствія токовъ происходитъ движеніе проводниковъ, въ магнито-электричествѣ, на-оборотъ, отъ движенія возбуждается токъ въ нейтральномъ проводникѣ. Изъ этого же начала мы должны вывести еще другое весьма важное заключеніе, которое совершенно подтверждается опытомъ, а именно: мы должны заключить, что всякое электро-динамическое явленіе необходимо должно сопровождаться магнито-электрическимъ: потому что при всякомъ электро-динамическомъ явленіи

происходит движеніе проводника или проводниковъ, а въ слѣдствіе этого движенія и во все продолженіе его долженъ обнаруживаться индуктированный токъ. Какъ направленіе этого тока, по правилу, должно быть противно току, производящему движенію, то слѣдовательно во все время электро-динамическаго движенія сила тока ослабляется. И дѣйствительно, опытъ показываетъ, что съ началомъ движенія сила гидро-электрическаго тока (если мы употребляемъ обыкновенныя баттарей) тотчасъ же начинается уменьшаться до известной величины, которой она достигаетъ въ тотъ моментъ, когда движеніе слѣзуется равномернымъ, и что она снова тотчасъ же принимаетъ прежнюю величину, какъ скоро мы какимъ-либо образомъ останавливаемъ движеніе. Всего удобнѣе это явленіе можно замѣтить при движеніи электро-магнитныхъ машинъ.

Электро-динамическія явленія объясняются, какъ известно, всѣ изъ одного общаго начала, даннаго Амперомъ, и состоящаго въ томъ, что «два элемента тока, приближающіеся къ линіи кратчайшаго разстоянія между ихъ направленіями или удаляющіеся отъ нея, взаимно притягиваются; токи же, изъ которыхъ одинъ приближается къ этой линіи, а другой удаляется отъ нея, взаимно отталкиваются». Подобно этому началу, можно также изъ правила Г. Ленца составить такое общее начало для явленій индукціи: «въ проводникѣ, приближаемомъ къ другому проводнику, по которому проходитъ токъ, всегда индуктируется токъ по направленію противоположному индуктирующему току относительно линіи кратчайшаго разстоянія между проводниками; въ проводникѣ же удаляемомъ, всегда образуется токъ одинакаго направленія съ индуктирующимъ относительно той же линіи». Изъ этого начала всѣ явленія индукціи могутъ быть выведены совершенно подобнымъ образомъ, какъ явленія электро-динамическія выводятся изъ представленнаго выше начала Ампера.

Непремѣнное условіе для произведенія индуктированныхъ токовъ въ замкнутыхъ проводникахъ состоитъ, какъ мы уже выше видѣли, въ движеніи: опыты показали, что токи этого рода существуютъ только во время движенія и съ прекращеніемъ его тотчасъ же уничтожаются. Слѣдовательно, если движеніе продолжается весьма малое время, одно мгновеніе, то и

индуктированный токъ будетъ существовать только въ этотъ мгновенный промежутокъ времени. Примѣромъ такого рода мгновенныхъ токовъ могутъ служить токи, образующіеся въ спиральной проволоцѣ, обвитой около желѣзнаго якоря, при быстромъ отрываніи этого якоря отъ полюсовъ подковообразнаго магнита. Мягкое желѣзо, въ соприкосновеніи съ магнитомъ, само дѣлается магнитомъ; но магнетизмъ его тотчасъ же при отрываніи его отъ полюсовъ уничтожается. — и въ слѣдствіе этого уничтоженія въ проволоцѣ, окружающей желѣзо, происходитъ индуктированный мгновенный токъ.

Показавъ способъ измѣрять силу мгновенныхъ токовъ, Г. Ленцъ первый употребилъ ихъ для изслѣдованія многихъ весьма важныхъ вопросовъ электро-магнетизма и магнито-электричества и результаты его изслѣдованій вполне оправдали удобность и точность показаннаго имъ способа. Непостоянство употребляемыхъ въ то время батарей гидро-электрическихъ не допускало въ численныхъ изслѣдованіяхъ такой точности, какой желательнѣе было бы достигнуть, токи же термо-электрическіе, по слабости электро-возбудительной силы, не могли быть употребляемы во всѣхъ случаяхъ; напротивъ, мгновенные магнито-электрическіе токи, не представляя никакихъ практическихъ неудобствъ (они могутъ быть производимы весьма легко и просто), имѣли на своей сторонѣ то преимущество, что въ продолженіе довольно значительнаго времени сила ихъ могла оставаться постоянной, если только сопротивленіе цѣпи не измѣнялось: потому что электро-возбудительная сила ихъ зависить только отъ напряженности магнетизма въ магнитѣ, а этотъ магнетизмъ довольно значительное время можетъ оставаться безъ измѣненія.

Изъ разсмотрѣнія трудовъ Г. Ленца и полученныхъ имъ результатовъ мы увидимъ всю важность той второй заслуги, какую оказалъ онъ Наукѣ примѣненіемъ мгновенныхъ индуктированныхъ токовъ къ численнымъ опредѣленіямъ: труды Г. Ленца представляютъ, по справедливости, первый примѣръ такой точности въ гальванизмѣ, какой до того времени рѣшительно не льзя было достигнуть. Способъ Г. Ленца, сколько намъ извѣстно, былъ въ послѣдствіи употребленъ однимъ только Физикомъ — именно *ванъ Рисомъ* (van Rees), при изслѣдованіи рас-

предѣленія магнетизма въ магнитахъ (5). Въ позднѣйшее время (въ 1853 году) *Weber* на измѣреніи силы мгновенныхъ токовъ, индуцированныхъ дѣйствіемъ земнаго магнетизма, основалъ способъ опредѣлять наклоненіе магнитной стрѣлки съ такою же точностью, съ какою опредѣляются и другіе два элемента земнаго магнетизма: склоненіе и горизонтальная напряженность (6).

Г. *Ленцъ* весьма просто доказалъ (7), что мѣрою силы мгновеннаго тока долженъ служить синусъ половины угла, на который отклоняется магнитная стрѣлка вставленнаго въ нѣпь гальванометра отъ своего положенія равновѣсія — магнитнаго меридіана. Въ самомъ дѣлѣ, мгновенный токъ дѣйствуетъ на стрѣлку, какъ ударъ, и заставляетъ ее съ извѣстною скоростью отклониться отъ магнитнаго меридіана; эта скорость, служащая мѣрою силы тока, очевидно, равна той, съ какою стрѣлка обратно проходитъ чрезъ магнитный меридіанъ и измѣрется, какъ извѣстно изъ *Механики* $\sqrt{\sin. vers.}$ угла отклоненія, слѣдоват. $F = p \sqrt{\sin. vers. \alpha}$, гдѣ F сила тока, p постоянная величина, α уголъ отклоненія, но $\sin. vers. \alpha = 1 - \cos. \alpha = 2 \sin.^2 \frac{1}{2} \alpha$, слѣдоват. $F = p \sqrt{2 \sin. \frac{1}{2} \alpha} = p' \sin. \frac{1}{2} \alpha$ (8).

Первое примѣненіе этого способа измѣренія и слѣдовательно первый примѣръ численныхъ опредѣленій въ статнито-электричествѣ Г. *Ленцъ* представилъ въ 1832 году въ запискѣ своей, подъ заглавіемъ: «*О законахъ дѣйствія магнита на спи-*

(5) Pogg. Ann. Bd. 74. стр. 213.

(6) *Weber*. Ueber die Anwendung der magnetischen Induction auf Messung der Inclination mit dem Magnetometer. Göttingen, 1853.

(7) Pogg. Ann. Bd. 34. стр. 385.

(8) *Фанъ Рисъ* для убѣжденія въ дѣйствительной пропорціональности силы мгновеннаго тока синусу половины угла отклоненія, произвелъ особенный рядъ наблюденій, который, впрочемъ, былъ совершенно излишенъ: такъ какъ подобныя наблюденія производимы были гораздо прежде самимъ Г. *Ленцомъ* и въ гораздо большемъ размѣрѣ. *Фанъ Рисъ* измѣнялъ сопротивленіе цѣпи и замѣчалъ при этомъ углы отклоненія; если синусы половины этихъ угловъ дѣйствительно служатъ мѣрою силы токовъ, то, по формулѣ Ома, они должны быть обратно пропорціональны сопротивленіямъ цѣпи, которыя были предварительно опредѣлены, — что и дѣйствительно подтвердилось наблюденіями.

радь въ томъ случаѣ, когда магнитъ быстро приближается къ ней или отъ нея удаляется и о наивыгоднѣйшемъ устройствѣ спирали для произведенія магнито-электрическихъ токовъ» (9). Разсматривая внимательно этотъ трудъ Г. Ленца, мы не можемъ не согласиться съ словами Мозера (10), что «приемы, какіе Г. Ленцъ употребилъ при своихъ опытахъ, должны служить нормою для всѣхъ другихъ подобныхъ изслѣдованій»; что же касается полученныхъ имъ результатовъ, то они, кромѣ своей важности въ отношеніи теоретическомъ, имѣютъ прямое примѣненіе къ устройству магнито-электрическихъ машинъ.

Г. Ленцъ производилъ мгновенные индуктированные токи, отрывая желѣзный якорь, обвитый спиральною проволокою (соединенною концами своими съ гальванометромъ), отъ полюсовъ подкововиднаго стального магнита и изслѣдовалъ, въ какой зависимости находится сила тока, а слѣдоват. и его электровозбудительная сила во 1-хъ) отъ числа оборотовъ спирали, во 2-хъ) отъ ширины оборотовъ, въ 3-хъ) отъ толщины употребленной проволоки и наконецъ въ 4-хъ) отъ самой матеріальной природы, вещества проволоки. Наблюденія показали, что электро-возбудительная сила (при одной и той же силѣ магнетизма, возбужденнаго въ желѣзѣ, или при одинаковомъ, неизмѣнномъ магнетизмѣ въ магнитѣ) пропорціональна только числу оборотовъ спирали и вовсе не зависитъ ни отъ толщины проволоки, ни отъ діаметра ея оборотовъ и, что весьма замѣчательно, не зависитъ даже отъ ея природы (11). Основываясь на этихъ результатахъ, Г. Ленцъ могъ теоретически вывести условія, при которыхъ сила индуктированнаго тока будетъ наибольшею въ томъ случаѣ, когда сила магнита, длина желѣзнаго якоря, сопротивленіе вещества, изъ котораго составлена спиральная проволока, толщина ея и сопротивленіе проводника, на который мы хотимъ дѣйствовать токомъ и который для того долженъ быть вставленъ въ цѣпь, суть величины из-

(9) Pogg. Ann. Bd. 34. p. 383.

(10) Repertorium der Physik, von Dove. Bd. I. p. 314.

(11) Этотъ послѣдній законъ доказанъ уже былъ *Faradé*, нѣсколько прежде обнародованія записки Г. Ленца. Pogg. Ann. Bd. 25. p. 102.

вѣстныя, данныя. Для опредѣленія этихъ условій, стоило только найти общее выраженіе для силы тока и опредѣлить изъ этого выраженія (чрезъ дифференцированіе его) при какомъ числѣ рядовъ оборотовъ спиральной проволоки эта сила будетъ наибольшею. Не приводя здѣсь этой общей формулы и тѣхъ слѣдствій, какія изъ нея выведены Г. Ленцомъ, мы упомянемъ только объ одномъ заключеніи, которое можно изъ нея вывести и которое, какъ мы далѣе увидимъ, совершенно подтверждается опытами (въ магнито-электрическихъ машинахъ); а именно — общее выраженіе показываетъ: 1) что если проводникъ, вставленный въ цѣпь, представляетъ сопротивленіе весьма значительное относительно спиральной проволоки, то сила тока будетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ болѣе мы будемъ увеличивать число оборотовъ этой проволоки и чѣмъ эта проволока будетъ тоньше; 2) напротивъ, если мы вставимъ въ цѣпь весьма хорошій проводникъ, котораго сопротивление ничтожно сравнительно съ сопротивленіемъ проволоки, то сила тока — дѣйствіе на проводникъ — будетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ меньше будетъ взято число оборотовъ и чѣмъ проволока толще. Изъ этого видно, что въ цѣпяхъ магнито-электрическихъ число оборотовъ проволоки соотвѣтствуетъ числу паръ элементовъ — цѣпей гидро-электрическихъ, а толщина проводника — поверхность элементовъ.

Второе приложение мгновенныхъ индуктированныхъ токовъ Г. Ленцъ сдѣлалъ къ опредѣленію зависимости сопротивленія металловъ отъ температуры (12). До того времени извѣстно было только, что это сопротивленіе съ увеличеніемъ температуры увеличивается или что проводимость уменьшается, но никто изъ Физиковъ не производилъ численныхъ опредѣленій по этому предмету, чему главнѣйшею причиною надобно было положить непостоянство употребляемыхъ до того времени гидро-электрическихъ батарей и неудобство самаго способа измѣренія силы тока, — способа, требовавшаго значительнаго времени, въ продолженіе котораго температура металла могла значительно измѣняться. Опредѣленія сопротивленія металловъ при различныхъ температурахъ, произведенныя Г. Ленцомъ, замѣчательны не

только какъ первый трудъ по этому предмету, но важны еще по своей строгой точности, такъ что даже по настоящее время въ этомъ отношеніи они не имѣютъ себѣ подобныхъ: единственный послѣ того произведенный по этому предмету изслѣдованіи *Эдмонда Беккереля* (13) далеко должны уступить имъ въ точности полученныхъ результатовъ. *Г. Ленцъ* сначала опредѣлялъ сопротивление при различныхъ температурахъ для пяти металловъ: серебра, мѣди, латуни, желѣза и платины, а въ послѣдствіи (14) изслѣдовалъ въ этомъ отношеніи еще три металла: золото, свинецъ и олово (15).

Имѣя въ рукахъ такое удобное средство для произведенія токовъ постоянной силы и точный способъ измѣренія ихъ, *Г. Ленцъ* воспользовался ими для болѣе строгаго доказательства законовъ зависимости сопротивленія проволокъ отъ длины и диаметра ихъ (16), — законовъ, доказанныхъ уже опытами *Ома* и *Фегнера* для токовъ термо- и гидро-электрическихъ, и также приложилъ ихъ къ опредѣленію сопротивленія жидкостей (17). Впрочемъ, число жидкостей, чьихъ сопротивленіе было опредѣлено *Г. Ленцомъ*, весьма не велико (онъ изслѣдовалъ насыщенный растворъ мѣднаго купороса и нѣсколько растворовъ сѣрной кислоты) и притомъ полученные имъ числа не могутъ имѣть совершенной точности по причинѣ непостоянства поляризаціи, всегда обнаруживающейся при прохожденіи тока чрезъ жидкость и не позволяющей точныхъ измѣреній силы тока. Что поляризація дѣйствительно обнаруживается даже и при прохожденіи мгновенныхъ токовъ чрезъ жидкость, доказательство этого можно видѣть изъ тѣхъ опытовъ *Г. Ленца*, которыми онъ полагалъ представить рѣшительное подтвержденіе

(13) Ann. de chimie et de physique. 3 serie. Томъ 17. стр. 242. Pogg. Ann. Bd. 70. стр. 243.

(14) Pogg. Ann. Bd. 45. стр. 105.

(15) *Г. Ленцъ* опредѣлялъ также сопротивленія: ртути, висмута и сурьмы — только для одной температуры, именно 13° R. См. Bulletin Scientif. T. III. № 21.

(16) Mémoires de l'Acad. Impér. de St. Pétersbourg 1834.

(17) Bullet. scientif. de l'Acad. de St. Pétersb. T. II. стр. 237. Pogg. Ann. T. 44. стр. 349.

существованія въ гальванической цѣпи особеннаго сопротивленія при переходѣ тока изъ твердаго проводника въ жидкій и обратно (*Uebergangswiderstand*), — сопротивленія, на которое *Фехнера* первый обратилъ особенное вниманіе Физиковъ (18).

Многіе Физики, приверженцы такъ-называемой химической теоріи гальванизма, полагали, что гальваническіе токи, происходящіе изъ различныхъ источниковъ или обнаруживающіеся въ слѣдствіе различныхъ химическихъ процессовъ, отличаются другъ отъ друга по своимъ свойствамъ, подобно тому, какъ теплородные лучи различныхъ источниковъ представляютъ различные свойства относительно прохожденія своего сквозь тѣла діатермическія. Такимъ образомъ полагали, что одни токи отличаются большою нагревательною способностью, другіе же болѣе дѣйствуютъ на магнитную стрѣлку, третьи способны производить только химическія дѣйствія, а не могутъ возбуждать теплоту и т. п. Такии мнѣнія происходили только отъ незнанія той простой теоріи гальванической цѣпи, которая была еще въ 1827 году предложена *Оммомъ* и которая имѣла столь важное вліяніе на развитіе гальванизма. *Г. Ленцъ* принадлежитъ къ числу тѣхъ немногихъ Физиковъ, которые первые оцѣнили всю важность теоріи *Ома* и своими точными и драгоценными для Науки трудами наиболѣе способствовали къ ея распространенію: посему онъ не могъ оставить безъ вниманія изслѣдованія, обнаруженные въ 1836 году *Деларивомъ*, — изслѣдованія, которыми этотъ Женевскій Ученый, пользовавшійся большимъ авторитетомъ въ области гальванизма, старался доказать, что токи магнито-электрическіе, относительно способности своей проходить чрезъ различные проводники, подчинены совершенно другимъ законамъ, чѣмъ токи гидро-электрическіе. Въ опроверженіе этихъ изслѣдованій *Г. Ленцъ* представилъ обширную записку (20), въ которой не только показалъ, что ложные результаты, полученные *Деларивомъ*, происходили частію въ слѣдствіе самаго спо-

(18) Bull. sc. T. I. стр. 169. — Pogg. Ann. T. 47. стр. 686.

(19) *Delarive*: Recherches sur les propriétés des courants magnétoélectriques. Mem. de la Société de Genève. VIII. p. 181. — Pogg. Ann. 43. стр. 163.

(20) Bull. scientif. T. VI. стр. 95. — Pogg. Ann. T. 43. стр. 383.

собой употребленнаго имъ для измѣренія силы тока, а частію отъ вѣснаго формулы Omc , но также представилъ строгія опыты и доказательства нѣкоторыхъ положеній теоріи Omc , доказанныхъ только для токовъ термо- и гидро-электрическихъ. Такимъ образомъ онъ подтвердилъ тотъ законъ, что проводимость системы параллельныхъ проводниковъ равна суммѣ проводимостей проводниковъ и что сила тока раздѣляется между такими проводниками пропорціонально ихъ проводимости, будетъ ли система составлена изъ однихъ только твердыхъ проводниковъ или изъ твердыхъ и жидкихъ вмѣстѣ. Въ этой же запискѣ Г. Ленцъ показалъ, что металлическія перегородки, вставленныя въ жидкости между электродами, производятъ такое же дѣйствіе на мгновенныя индуктированныя токи, какъ и на гидро-электрическія т. е. что онѣ ослабляютъ ихъ силу въ слѣдствіе вводимаго ими въ цѣпь особеннаго сопротивленія при переходѣ (поляризаціи). Общее заключеніе, которое Г. Ленцъ долженъ былъ вывести изъ всѣхъ опытовъ, приводимыхъ имъ въ запискѣ, есть то, что магнито-электрическія токи, относительно способности своей проходить чрезъ различные проводники, имѣютъ совершенно тѣ же самыя свойства, какъ и токи всякаго другаго источника — будутъ ли проводники тѣла твердыя или жидкія, будутъ ли они вставлены въ цѣпь послѣдовательно или параллельно. Этими совершенно опровергались заключенія *Деларива*, относительно особенныхъ свойствъ магнито-электрическихъ токовъ, отличающихъ ихъ отъ всѣхъ токовъ другаго происхожденія.

Весьма важное примѣненіе мгновенныхъ индуктированныхъ токовъ сдѣлано было Г. Ленцомъ къ измѣренію силы магнетизма въ электро-магнитахъ. Это примѣненіе въ первый разъ представлено было въ 1838 году въ запискѣ «О законахъ электро-магнитовъ» (21), заключающей въ себѣ изслѣдованія, произведенныя Г. Ленцомъ вмѣстѣ съ Г. Академикомъ Якоби. Эти изслѣдованія должны быть, безъ сомнѣнія, причислены къ числу самыхъ трудныхъ и капитальныхъ работъ въ области гальванизма. До того времени хотя и были устроиваемы электро-магниты весьма значительной силы (на-примѣръ электро-магниты *Ненру* и *Тен*

(21) *Bullet. scientif.* Томъ IV. — *Pogg. Ann.* 47. pag. 225, 404.

Буск въ Америкѣ, притягивавшіе болѣе 2000 фунтовъ), однако же вовсе не было извѣстно никакихъ положительныхъ теоретическихъ правилъ, которыми можно было бы руководствоваться при устройствѣ этихъ магнитовъ: до этого доходили обыкновенно, такъ сказать, ощупью. Опредѣленіе обстоятельствъ, отъ которыхъ зависитъ сила электро-магнитовъ и условій наилучшаго ихъ устройства представляло важность не только въ отношеніи теоретическомъ, но было необходимо въ то время въ отношеніи практическомъ, и въ приложеніи электро-магнетизма къ движению машинъ, которое въ то время обращало на себя общее вниманіе.

Гг. *Ленцъ* и *Якоби*, предпринимая точные опыты для изслѣдованія законовъ электро-магнитовъ, прежде всего, очевидно, должны были имѣть: во-1-хъ, точный способъ для измѣренія силы тока, возбуждающаго магнетизмъ, и во-2-хъ, точное и удобное средство для опредѣленія силы возбужденнаго магнетизма. Что касается выбора перваго, то оно не могло представить большихъ затрудненій: для того могъ служить всякій чувствительный и вывѣренный гальванометръ; однако же Гг. *Ленцъ* и *Якоби* предпочли этому прибору электромагнитные вѣсы *Беккера*, измѣнивъ вѣсколку ихъ устройство. Для измѣренія же силы магнетизма, возбужденнаго въ желѣзѣ, надлежало придумать такой способъ, который съ практическимъ удобствомъ соединилъ бы наибольшую точность и не требовалъ бы значительнаго времени для исполненія — и такой способъ тотчасъ же представился Г. *Ленцу* въ индукированныхъ мгновенныхъ токахъ. Въ самомъ дѣлѣ положимъ, что въ желѣзо (электро-магнитъ), кромѣ той проволоки, по которой проходитъ гидро-электрическій токъ, возбуждающій въ немъ магнетизмъ, намота еще другая проволока, уединенная отъ первой и концами своими соединенная съ обыкновеннымъ гальванометромъ; тогда всякій разъ, какъ только токъ въ первой проволоцѣ, а слѣдовательно и магнетизмъ въ желѣзѣ, возбуждается или уничтожается, въ этой второй проволоцѣ будетъ индукироваться мгновенный токъ. Силу этого тока Г. *Ленцъ* принимаетъ мѣрою магнетизма въ электро-магнитѣ и это весьма естественное положеніе, служащее основаніемъ всей работы Гг. *Ленина* и *Якоби*, хотя не можетъ быть доказано

с. рѣшѣнъ, однакожь (можетъ быть, строго подтверждено опытами (22)). Число, такимъ образомъ, способомъ, называющагося силой гальваническаго тока, произведеннаго на магнитизма, такъ и самую силу, возбужденнаго магнитизма, Гг. *Ленцъ* и *Якоби* предложили собѣ рѣшить двѣ слѣдующія задачи: 1) Даво желѣзо на нѣсколько размѣровъ и дава опредѣленная поверхность цинка и мѣди — дайте, какимъ образомъ надлежитъ устроить баттарей, какою толщины взять проволоку и сколько оборотовъ ея необходимо намотать на желѣзо для того, чтобы возбужденный магнитизмъ былъ максимумъ. 2) Опредѣлить вліяніе, какое имѣютъ размѣры желѣза на магнитизмъ, въ немъ возбуждаемый — при всѣхъ прочихъ равныхъ обстоятельствахъ.

Для рѣшенія первой задачи необходимо было, сначала опытами найти зависимость магнитизма 1) отъ силы тока, 2) отъ числа оборотовъ проволоки, 3) отъ толщины ея, 4) отъ діаметра ея оборотовъ и наконецъ 5) отъ вещества ея. Не трудно видѣть, что какъ задача эта, такъ и опыты для рѣшенія ея, совершенно подобны той задачѣ и тѣмъ опытамъ, которые были представлены Г. *Ленцомъ* въ его запискѣ: «О законахъ дѣйствія магнитизма на стираль и проч.» (см. выше стр. 8). Тамъ требовалось отыскать при данномъ магнитѣ условія для произведенія индуктированнаго тока наибольшей силы — здѣсь же требуется опредѣлить при данной поверхности цинка и мѣди (баттарей) и при данной желѣзѣ условія для произведенія наисильнѣйшаго магнитизма. Сходство между этими двумя случаями распространяется также и на законы ихъ: опыты показали, что законы электромагнитовъ совершенно подобны законамъ, найденнымъ Г. *Ленцомъ* для индуктированныхъ токовъ (см. вышеупомянутую записку, или стр. 8). Такимъ образомъ Гг. *Ленцъ* и *Якоби* нашли, что магнитизмъ, возбуждаемый въ желѣзѣ, пропорціоналенъ силѣ

(22) Для этого стоитъ только вѣзрѣть силы магнитизма по этому способу и по способу *Гаусса* (отклоненіемъ стрѣлки компаса): полученныхъ числа для магнитизма будутъ находиться въ постоянномъ отношеніи между собою. Изъ этого сравненія не трудно уемотрѣть, что сила индуктированнаго тока служитъ мѣрою не количества магнитизма, а магнитнаго момента — что, впрочемъ, было доказано и теоретически *фанъ Рисомъ* (Pogg. Ann. T. 70. стр. 13).

тока (23) и пропорционаленъ числу оборотовъ спирали (выражаемаго точною — полное дѣйствіе всѣхъ оборотовъ спирали равно суммѣ дѣйствій, производимыхъ каждымъ оборотомъ), но не зависитъ вовсе ни отъ толщины проволоки, ни отъ діаметра ея оборотовъ. Что касается вліянія вещества проволоки на магнетизмъ, то наши Ученые, основываясь на тождествѣ законовъ для электро-магнитовъ и для индуктированныхъ токовъ, имѣли полное право, не производя особенныхъ для того опытовъ, заключить, что матеріальная природа проволоки, при равныхъ прочихъ обстоятельствахъ, не имѣетъ никакого вліянія на возбуждаемый магнетизмъ. Найдя эти законы, Гр. *Ленцъ* и *Якоби* могли уже затѣмъ приступить къ рѣшенію первой предложенной задачи и такимъ образомъ могли теоретически опредѣлять, что данному желѣзному цилиндру, при данной поверхности баттарей, можно сообщить наибольшую силу магнетизма безконечно многими различными способами: одно необходимое для того условіе состоитъ въ томъ, чтобы толщина проволоки находилась въ известномъ отношеніи къ числу паръ баттарей; и именно, чтобы число паръ было таково, что сумма сопротивленій ихъ (сопротивленіе баттарей) равнялась бы всегда сопротивленію спиральной проволоки. Исслѣдованія показали также, что какими бы

(23) Въ послѣднее время — и именно въ 1850 году — въ слѣдствіе ошибки *Мюллера*, между Физиками возбуждалось сомнѣніе въ справедливости этого перваго закона *Ленца* и *Якоби*; однакожь это сомнѣніе вскорѣ было разъяснено исслѣдованіями знаменитаго *Вебера* (Abhandl. der Königl. Sächs. Gesellsch. d. Wiss. 1852 года, стр. 566). *Веберъ* весьма точными опытами показалъ, что для желѣзныхъ полосокъ весьма тонкихъ, какъ наприм. для проволоки, магнетизмъ вовсе не пропорціоналенъ силѣ тока, но съ увеличеніемъ послѣдней болѣе и болѣе приближается къ максимуму, къ степени насыщенія; и это совершенно согласно съ опытами *Мюллера*, *Фейлиха* и *Джюла*. Что же касается полосокъ толстыхъ, то, безъ сомнѣнія, и для нихъ при известной силѣ тока долженъ получиться максимумъ магнетизма; но эта сила должна быть тѣмъ болѣе, тѣмъ полоска толще. И такъ вообще законъ пропорціональности не имѣетъ мѣста, однакожь тѣмъ не менѣе онъ нисколько не теряетъ своей важности, особливо въ практическомъ отношеніи: онъ всегда остается справедливымъ въ известныхъ и значительныхъ границахъ — для толстыхъ полосокъ и слабыхъ токовъ.

образомъ онъ былъ возбужденъ магнитомъ магнитизма, вѣсѣа ко-
личество раствореннаго цѣка въ батарее. въ опредѣленное
время, а слѣдоват. и издержки будутъ одии и тѣ же.

Рѣшеніе второй задачи т. е. изслѣдованіе зависимости магни-
тизма отъ длины и діаметра желѣза, представлено было чинами
Академиками чрезъ пять лѣтъ (24) послѣ обнаруженія предъ-
дущей работы, хотя самые опыты произведены были съ лѣю
одновременно. Эти опыты показали: что 1) магнитизмъ масси-
ныхъ желѣзныхъ цилиндровъ равной длины и діаметра, премо-
шающаго $\frac{1}{3}$ ", пропорціоналенъ діаметру цилиндровъ, и что 2)
магнитизмъ концовъ электро-магнитовъ, обвитыхъ по всей длине
или только на концахъ электро-магнитною спиралью, не зависитъ
вовсе отъ длины этихъ магнитовъ, но обуславливается только
числомъ оборотовъ спирали. Присоединяя къ этимъ законамъ
тотъ фактъ, что магнитизмъ пропорціоналенъ силѣ тока, мы мо-
жемъ ихъ совокупить въ одинъ общій слѣдующій законъ:
«магнитизмъ, концовъ электро-магнитныхъ полосокъ пропорціо-
наленъ длине навитой на полоски проволоки, умноженній на
силу тока».

Къ наложеннымъ нами изслѣдованіямъ законовъ электро-
магнитовъ Гр. *Ленц* и *Якоби* присоединили еще цѣлый рядъ
наблюденій надъ распредѣленіемъ магнитизма въ различныхъ
точкахъ электро-магнитовъ. Для измѣренія магнитизма въ данной
точкѣ или на данной небольшой поверхности электро-магнита,
ищи Ученые употребляли тотъ же способъ, какъ и для измѣ-
ренія всего количества магнитизма, только индукціонная спираль
обвивала не всю длину электро-магнита, но данную небольшую
поверхность, и могла быть перемѣняема по всей ея длине. Та-
кимъ образомъ сила тока, индуктировавшаго въ спираль, принималась
мѣрою количества магнитизма той точки или той небольшо-
й поверхности желѣза, которую спираль покрывала. Полагая
расстояніе мѣста спирали отъ концовъ магнита по оси абсциссъ
и изображая ординатами количество магнитизма, соотвѣтствующее
этому мѣсту, Гр. *Ленц* и *Якоби* могли представить графиче-
чески — кривою линіею — распредѣленіе магнитизма въ элек-

тро-магнитахъ. Эта кривая линия показываетъ, что магнитизмъ увеличивается отъ концовъ магнита къ срединѣ, — гдѣ онъ имѣетъ наибольшую величину, — и представляеть дѣял параболы, которой уравненіе есть $z = a - by^2$, гдѣ z означаетъ количество магнитизма въ точкѣ, которой разстояніе отъ срединны электро-магнита есть y , а a и b постоянныя величины, опредѣляемыя изъ наблюдений. Этотъ результатъ, полученный изъ опытовъ Гг. Ленца и Якоби, тѣмъ болѣе важенъ, что онъ, по всей вѣроятности, могъ быть справедливымъ и для обыкновенныхъ стальныхъ магнитовъ. И дѣйствительно, въ 1847 году Иммануиловскій Физикъ *Фанъ Рисъ* (25) примѣнилъ методу Г. Ленца для опредѣленія напряженности магнитизма въ различныхъ точкахъ электро-магнита и къ стальнымъ магнитамъ (онъ доказалъ, что для этого стоитъ только индукціонную спираль двигать отъ срединны магнита до той точки, которой магнитизмъ требуется измѣрить, и замѣнить силу тока, индуктируемаго при этомъ движеніи), и такимъ образомъ нашелъ въ нихъ такое же распредѣленіе магнитизма, какое найдено Гг. Ленцомъ и Якоби для электро-магнитовъ. *Фанъ-Рисъ* между прочимъ показалъ (26), что кривая линия, которою Гг. Ленцъ и Якоби изобразили распредѣленіе магнитизма, изображаетъ распредѣленіе не количества магнитныхъ жидкостей, а магнитныхъ моментовъ, и что по виду эту кривую скорѣе можно принять за кубическую линию, нежели за параболу: потому что уравненіе $z = a - b(\mu^x + \mu^{-x})$, гдѣ a , b , μ постоянныя, лучше согласуется съ наблюденіями, нежели уравненіе $z = a - by^2$, принятое нашими Учеными. И дѣйствительно, такое распредѣленіе магнитныхъ моментовъ теоретически выводится уже изъ извѣстной формулы для распредѣленія свободного магнитизма въ магнитахъ, которую составилъ Біо, основываясь на опытахъ Кулона.

Съ того времени, какъ только извѣстіе объ открытіи Фарадея гальванической индукціи распространилось въ Европѣ, и обратило на себя общее вниманіе, Ученые и Механики старались воспользоваться новооткрытымъ источникомъ электриче-

(25) Pogg. Ann. Томъ 74. стр. 213.

(26) Ibid. Томъ 70. стр. 13. Сравни также примѣчаніе 22, стр. 13.

ства и устроить такіе приборы, которые посредствомъ той-же индуктированныхъ магнитами, могли бы производить всѣ тѣ дѣйствія, какія производятся токами гидро-электрическими или, другими словами, устроить такіа машины, которые могли бы совершенно замѣнить собою батареи гидро-электрическія. Механикамъ *Пикси* въ Парижѣ въ 1833 году первымъ удалось достигнуть этой цѣли и въ слѣдъ за ними многіе Ученые и Механики различныхъ странъ Европы устроивали такого рода приборы, называемые *магнито-электрическими машинами*. Таинныя обрѣзкомъ по настоящее время изъ множества этихъ приборовъ наиболѣе сдѣлались извѣстными машины *Кларка*, *Секстопа*, *Дюминскауска* и въ послѣднее время машины *Штерера*. Всѣ эти машины, отличаясь одна отъ другой по внѣшнему своему устройству, основаны на одномъ и томъ же началѣ. Индуктированныя токи образуются въ нихъ чрезъ періодическое измѣненіе напряженности магнетизма въ мягкомъ желѣзѣ, а это измѣненіе производится переменною разстояніа между желѣзомъ и стальнымъ магнитомъ, возбуждающимъ въ немъ магнетизмъ. Слѣдовательно каждая магнито-электрическая машина должна состоять изъ трехъ существенныхъ частей: 1) стального магнита; 2) мягкаго желѣза, обвитаго проволокою, которая концями своими можетъ быть соединена съ даннымъ проводникомъ, и 3) механизма, посредствомъ котораго взаимное положеніе желѣза и магнита можетъ быть измѣняемо. Магниту обыкновенно даютъ форму подковы, составляя его изъ нѣсколькихъ пластинокъ, и располагаютъ его или горизонтально или вертикально полюсами къверху или кънизу. Въ машинахъ *Штерера*, въ настоящее время самыхъ удобныхъ по устройству и вмѣстѣ съ тѣмъ самыхъ сильныхъ, употребляютъ три подкововидные магнита и даже шесть, составляя каждый изъ пяти пластинокъ и располагая вертикально такъ, чтобы полюсы направлены были вверхъ и находились въ одной горизонтальной плоскости, составляя собою шести или двѣнадцатигуольникъ. Второй главной части машины — мягкому желѣзу, обвитому проволокою — даютъ форму цилиндра, располагая ось его или горизонтально или вертикально. Такихъ цилиндровъ, называемыхъ индукторами, въ каждой машинѣ находится числомъ вдвое болѣе числа магнитовъ и ихъ рас-

находятся въ такихъ же взаимныхъ расстояніяхъ, въ какихъ находятся между собою полюсы магнитовъ. Перемѣненіе относительнаго положенія магнита и индукторовъ во всѣхъ машинахъ, за исключеніемъ одной только *Диксеновой* (27), производится движеніемъ индукторовъ, вращеніемъ ихъ около горизонтальной или вертикальной оси въ вертикальной или горизонтальной плоскости, такъ что каждый индукторъ при обращеніи оси удаляется отъ одного полюса магнита, приближается къ другому, затѣмъ переходитъ къ полюсамъ слѣдующаго магнита и наконецъ снова возвращается въ прежнее положеніе. Въ однопольныхъ машинахъ это совершается чрезъ каждый полный оборотъ оси, къ которой прикрѣплены индукторы. Въ машинахъ *Штерера* горизонтальная доска, на которой утверждены индукторы, обращается около вертикальной оси, проходящей чрезъ среднюю многоугольную, образуемую полюсами магнитовъ, такъ что слѣдовательно въ машинѣ трехъмагнитной, при полномъ оборотѣ оси, каждый индукторъ проходитъ мимо всѣхъ полюсовъ и слѣдовательно въ продолженіе одной шестой части оборота переходитъ отъ одного полюса къ другому — противоположному.

Не трудно видѣть, что, при различныхъ положеніяхъ индуктора, какъ направленіе индуктируемаго тока, такъ и сила его будутъ различны. Возьмемъ какую-нибудь машину съ однимъ магнитомъ, на-прим. *Кларнову*, въ которой чрезъ каждый полуоборотъ оси (къ которой прикрѣплены индукторы) каждый индукторъ переходитъ отъ одного полюса магнита къ противоположному, а чрезъ цѣлый оборотъ возвращается въ прежнее положеніе. Очевидно, что магнетизмъ, возбужденный въ индукторѣ, будетъ имѣть наибольшую величину при томъ положеніи индуктора, когда онъ находится въ наименьшемъ разстояніи отъ какого-либо полюса магнита: будемъ считать углы вращенія оси отъ этого положенія и положимъ, что индукторъ находится близъ N полюса. При вращеніи оси, индукторъ удаляется отъ этого по-

(27) Въ машинѣ *Дикси* индукторы укрѣплены неподвижно, а подковообразный магнитъ обращается около вертикальной оси параллельной его когтямъ. Вращеніе магнита представляетъ въ практическомъ отношеніи ту выгоду, что сила магнетизма можетъ значительно ослабѣть отъ вращенія.

леса и приближается къ противоположному S; следовательно магнитизмъ его уменьшается и совершенно уничтожится, когда онъ будетъ находиться въ равныхъ расстояніяхъ отъ обоихъ полюсовъ т. е. когда ось обратится на 90° . При дальнѣйшемъ движеніи въ приближеніи къ S полюсу въ индукторѣ будетъ все болѣе и болѣе возбуждаться противное расположеніе магнитизма и наконецъ, когда индукторъ достигнетъ наименьшаго расстоянія отъ S, этотъ магнитизмъ достигнетъ *maximum*; при этомъ ось, очевидно, обратилась на 180° отъ ея начального положенія. За тѣмъ, при дальнѣйшемъ вращеніи, этотъ магнитизмъ будетъ ослабѣвать и при углѣ вращенія 270° совершенно уничтожится: потому что при этомъ индукторъ снова будетъ находиться въ равныхъ расстояніяхъ отъ полюсовъ; послѣ того начинается возбуждаться магнитизмъ: прежняго расположенія и достигнетъ *maximum*, когда ось совершитъ полный оборотъ т. е. когда индукторъ придетъ въ первоначальное положеніе — къ полюсу N.

При вращеніи оси отъ 0° до 90° , въ слѣдствіе постепеннаго уничтоженія магнитизма въ индукторѣ, въ проводокъ, обвивающій индукторъ, долженъ возбуждаться токъ такого же направленія, какое имѣютъ, по теоріи *Ампера*, токи индуктора: означимъ это направленіе чрезъ +. При вращеніи же оси отъ 90° до 180° въ индукторѣ, какъ мы видѣли, возбуждается противный магнитизмъ или, — что все равно — токи направленія; отъ этого возбужденія магнитизма, по правилу *Ленца*, въ проводокъ долженъ индуктироваться токъ направленія противоположнаго токамъ желѣза, т. е. прежняго направленія +. Далѣе, при вращеніи отъ 180° до 270° , магнитизмъ индуктора уничтожается и слѣдоват. индуктируемый токъ будетъ имѣть направленіе: и это направленіе сохранится при дальнѣйшемъ вращеніи оси отъ 270° до 360° . И такъ чрезъ каждый полуоборотъ оси индуктируемый токъ измѣняетъ свое направленіе и это измѣненіе происходитъ при углахъ 180° и 360° . Въ трехмагнитной машинѣ *Штерера* токъ долженъ измѣнять свое направленіе чрезъ каждую шестую часть оборота оси: потому что при этомъ индукторъ переходитъ отъ одного полюса къ противоположному и слѣдовательно въ продолженіе цѣлаго оборота токъ перемѣнитъ свое направленіе шесть разъ.

При переходѣ индуктора отъ одного полюса къ слѣдующему противоположному (слѣдоват. въ продолженіе полуоборота оси въ машинѣ *Кларка*) сила тока не остается постоянной, но для каждаго положенія индуктора имѣетъ различную величину. Весьма естественно принять, что сила индуктированного тока будетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ быстрѣе измѣняется магнетизмъ въ индукторѣ, а это измѣненіе будетъ, очевидно, наибольшее въ томъ положеніи его, когда магнетизмъ его чрезъ 0 переходитъ въ противоположный т. е. при углѣ вращенія оси 90° и 270° , а наименьшее будетъ, когда магнетизмъ достигаетъ наибольшей величины т. е. при 0° и 180° . Слѣдовательно сила тока при вращеніи отъ 0° до 90° будетъ увеличиваться отъ нуля до наибольшей величины и за тѣмъ при дальнѣйшемъ вращеніи — отъ 90° до 180° будетъ уменьшаться до нуля. Чтобы убѣдиться въ этомъ, стоитъ только при различныхъ положеніяхъ индуктора перемѣщать его вращеніемъ оси на небольшое, одинаковое, число градусовъ и замѣчать при этомъ силу индуктированного тока по способу Г. Ленца. Поступая такимъ образомъ, Г. Ленцъ дѣйствительно нашелъ (28), что наибольшая сила тока въ Кларковой машинѣ индуктируется при вертикальномъ положеніи якоря, соединяющаго индукторы, т. е. при углѣ вращенія 90° . Прерывая токъ при этомъ положеніи, очевидно, мы должны получить наисильнѣйшую искру, что и дѣйствительно было изъ опытовъ найдено *Кларкомъ*, который въ машинѣ своей и устанавливаетъ такъ-называемый *прерыватель* (breaker), соотвѣтственно этому.

(Окончаніе въ слѣдующей книжкѣ).

О ТРУДАХЪ АКАДЕМИКА ЛЕНЦА

ВЪ МАГНИТО-ЭЛЕКТРИЧЕСТВѢ.

(Окончаніе.)

Не смотря на множество магнито-электрическихъ машинъ различнаго устройства, вошедшихъ въ общее употребленіе, теорія ихъ была вовсе не обработана и всѣ познанія наши о нихъ могли ограничиваться только тѣмъ, что мы сейчасъ сказали относительно направленія и силы тока. Что же касается вліянія, какое имѣетъ толщина проволоки индуктора и число ея оборотовъ на силу этихъ машинъ при дѣйствіи на различные проводники, что касается вліянія скорости вращенія и многихъ другихъ обстоятельствъ на эту силу — то въ этомъ отношеніи мы имѣли весьма скудные и то въ незначительномъ числѣ факты, выведенные изъ практики, такъ что Механики, при построеніи магнито-электрическихъ машинъ, руководствовались только опытомъ, поступали ощупью или строили ихъ, просто копируя съ другихъ хорошихъ экземпляровъ.

Г. Ленцъ въ 1841 году, основываясь на прежде выведенныхъ имъ законахъ индуктированныхъ токовъ и на формулѣ Ома, первый показалъ (29), каковыя главнѣйшія условія должны удовлетворять эти приборы для того, чтобы дѣйствіе ихъ на данный проводникъ было наибольшее. Эти условія хотя и выведены имъ собственно для машины Кларка, однакожь могутъ быть приложены и ко всѣмъ другимъ магнито-электрическимъ машинамъ, каково бы ни было ихъ устройство. Самый важный вопросъ при построеніи этихъ машинъ представляется въ томъ,

какую толщину необходимо дать проволоку индуктора для получения наисильнѣйшаго дѣйствія на проводникъ даннаго сопротивленія? Г. Ленцъ разсматриваетъ два образа соединеній, какія могутъ быть употреблены между четырьмя концами проволоки (двухъ) индукторовъ: 1) проволоки могутъ быть соединены между собою однородными концами т. е. тѣми, изъ которыхъ токъ выходитъ, и тѣми, въ которые онъ входитъ; означая концы одной проволоки чрезъ А и В, а другой — чрезъ А' и В', А можетъ быть соединено съ А' и В съ В', а проводникъ, на который дѣйствуетъ токъ, долженъ быть однимъ концомъ въ прикосновеніи съ мѣстомъ соединенія АА', а другимъ — съ ВВ'. Въ этомъ случаѣ проволоки образуютъ такъ-называемое *параллельное* соединеніе. 2) Другой образъ соединенія можетъ быть *последовательный* т. е. конецъ В проволоки соединяется съ концомъ А', а проводникъ прикрѣпляется къ двумъ прочимъ концамъ А и В'.

Разсмотримъ первый образъ соединенія проволоки — *параллельный* — и выведемъ выраженіе для силы тока F , проходящаго по данному проводнику сопротивленія m . Токъ, выходящій изъ каждаго индуктора, раздѣляется на двѣ части между другимъ индукторомъ и проводникомъ и раздѣляется пропорціонально ихъ проводимостямъ. Если индукторы устроены совершенно одинаковымъ образомъ, то и токъ, изъ каждаго индуктора проходящій по проводнику, будетъ имѣть равную силу, слѣдовательно, зная, что направленіе этихъ токовъ одинаково, стоитъ только найти силу тока F' , идущаго изъ одного индуктора и удвоить ее для того, чтобы получить полную силу F въ проводникѣ. Если мы назовемъ чрезъ L сопротивленіе каждаго изъ индукторовъ, чрезъ k — сопротивленіе параллельнаго соединенія, составленнаго изъ даннаго проводника и индуктора, то k , какъ извѣстно изъ законовъ параллельныхъ соединеній, доказанныхъ Омомъ и Фехнеромъ для токовъ термо- и гидро-электрическихъ и самымъ Г. Ленцомъ для токовъ индуцированныхъ (см. выше стр. 18), равно: $k = \frac{Lm}{L+m}$, гдѣ m сопротивленіе даннаго тѣла. Сила тока

$$\text{въ проволокахъ каждаго индуктора будетъ} = \frac{A}{L+k} = \frac{A}{L + \frac{Lm}{L+m}}$$

гдѣ A электро-возбудительная сила цѣпи; сила же тока въ проводникѣ окъ каждаго индуктора будетъ, въ слѣдствіе тѣхъ же

законовъ, $= F' = \left(\frac{A}{L + \frac{Lm}{L+m}} \right) \left(\frac{L}{L+m} \right) = \frac{A}{L+2m}$ и слѣдоват. пол-

ная сила $F = 2F' = \frac{2A}{L+2m}$. Это выраженіе, будучи представлено

въ видѣ $F = \frac{A}{\frac{L}{2} + m}$, показываетъ, что при параллельномъ соеди-

неніи индукторовъ дѣйствіе на проводникъ будетъ такое же, какъ если бы въ цѣпи находился только одинъ индукторъ, но

котораго сопротивление $L' = \frac{L}{2}$ было бы вдвое меньше, или котораго проволока, сохраняя ту же длину и то же число оборотовъ, была бы вдвое толще.

" При соединеніи *последовательномъ*, сила тока, идущаго по проводнику m , будетъ, какъ не трудно вывести, $\Phi = \frac{2A}{2L+m}$.

Зная длину и толщину каждаго изъ индукторовъ и толщину слоя, въ который можно навить его проволоку и полагая неизвѣстную толщину (или діаметръ) этой проволоки равною x , мы легко можемъ найти выраженіе для всей длины проволоки, обвивающей индукторъ, а слѣдоват. легко можемъ опредѣлить и сопротивление L , которое будетъ прямо пропорціонально длинѣ и обратно — квадрату діаметра ея. Также зная, что электро-возбудительная сила A прямо пропорціональна числу оборотовъ, мы можемъ и ее также выразить въ функціи отъ x , потому что это число зависитъ отъ x . Такимъ образомъ получивъ F и Φ въ функціи отъ x и уравнивая дифференціалъ ихъ нулю, Г. Ленцъ получилъ выраженія, изъ которыхъ могла быть выведена величина x т. е. толщина, которую въ томъ и другомъ случаѣ необходимо дать проволоку для того, чтобы получить наибольшую силу тока. Это выраженіе для перваго случая — для параллельнаго соединенія — представляется въ видѣ $\frac{L}{2} = m$, а для втораго — въ видѣ $2L = m$ и показываетъ, что для полученія наибильнѣйшаго тока необходимо дать проволоку индукторовъ такую толщину, чтобы сопротивление ея равнялось сопротивленію

того проводника, на который мы действуемъ (30). Замѣтимъ, что это условіе, въ строгости, справедливо только для того случая, когда толщина шелка, обвивающаго проволоку, ничтожна сравнительно съ діаметромъ проволоки.

Если подставить найденныя величины для x въ выраженія для F и Φ , то получимъ выраженія совершенно тождественныя $F = \Phi$, а это показываетъ, что какой бы образъ соединенія проволокъ индукторовъ мы ни употребляли, мы всегда получимъ одинъ и тотъ же *maximim* силы тока, если только употребимъ проволоку надлежащей толщины для каждаго образа соединеній.

Условія *maximim* показываютъ также, что толщина проволоки должна быть взята тѣмъ менѣе, чѣмъ сопротивленіе проводника болѣе (именно x обратно пропорціонально $\sqrt{m}$) или чѣмъ тѣло хуже проводить и вообще, что для наивыгоднѣйшаго дѣйствія на различные проводники, должны быть употреблены проволоки различныхъ діаметровъ. Впрочемъ, этотъ результатъ теоріи былъ извѣстенъ еще первымъ изобрѣтателямъ магнито-электрическихъ машинъ: опыты показывали, что при дѣйствіи на дурные проводники (какъ на-прим. на наше тѣло) необходимо употребить для индуктора тонкую проволоку и въ большемъ числѣ оборотовъ, а при дѣйствіи на хорошіе проводники проволока должна быть взята толще и въ меньшемъ числѣ оборотовъ. Посему-то почти во всѣхъ машинахъ употребляли индукторы двухъ родовъ: одинъ съ толстою, другой съ тонкою проволоками. Машина Штерера представляетъ предъ всѣми другими то преимущество, что при дѣйствіи ея на различные проводники нѣтъ необходимости мѣнять индукторы. Для измѣненія сопротивленія и электро-возбудительной силы ея стоитъ только

(30) Подобное правило, какъ извѣстно, имѣетъ мѣсто также и для всѣхъ гидро- и термо-электрическихъ батарей при наилучшемъ дѣйствіи ихъ на данный проводникъ, который, впрочемъ, не долженъ быть жидкимъ тѣломъ: всегда сопротивленіе самой батареи должно быть равно сопротивленію того твердаго проводника, на который она дѣйствуетъ. При проводникахъ жидкихъ, выдающихъ въ цѣль поляризацию или новую электро-возбудительную силу, это правило уже не можетъ имѣть мѣста.

производить различныя соединенія проволокъ индукторовъ между собою; такъ на-прим. въ машинѣ трехмагнитной можно производить четыре образа соединеній, о которыхъ мы сейчасъ будемъ говорить подробно, при чемъ сопротивление индукторовъ измѣняется отъ $\frac{L}{6}$ до $6L$, а электро-возбудительная сила — отъ A до $6A$.

Хотя наилучшее дѣйствіе магнито-электрическихъ машинъ на данный проводникъ главнѣйшимъ образомъ и обусловливается толщиною проволоки индукторовъ, однакожъ эта толщина не есть единственное обстоятельство, отъ котораго оно находится въ зависимости. Электро-возбудительная сила этихъ машинъ зависитъ не только отъ числа оборотовъ проволоки, но также и отъ степени магнетизма, возбуждаемаго и уничтожаемаго въ индукторахъ, и отъ быстроты этого возбужденія и уничтоженія. Магнетизмъ индукторовъ обусловливается многими обстоятельствами, какъ-то: 1) силою магнита, 2) длиною и толщиною индукторовъ, 3) самою формою ихъ и наконецъ 4) самымъ образомъ ихъ движенія относительно магнита. Быстрота же возбужденія и уничтоженія магнетизма можетъ зависѣть только отъ матеріальныхъ свойствъ желѣза, отъ его задерживательной силы (force coercitive) и отъ скорости его обращенія. Зависимость степени магнетизма отъ упомянутыхъ обстоятельствъ до сихъ поръ не опредѣлена теоретически: при построеніи машинъ доходятъ обыкновенно эмпирически (многими попытками) до наилучшаго, невыгоднѣйшаго расположенія этихъ обстоятельствъ, при которомъ сила магнетизма была бы наибольшая.

Что же касается вліянія скорости вращенія индукторовъ на электро-возбудительную силу, то въ этомъ отношеніи до 1848 года извѣстна была одна работа Вебера (31), въ которой между прочимъ упоминается, что хотя сила эта и увеличивается вмѣстѣ со скоростью вращенія или съ числомъ оборотовъ индукторовъ въ опредѣленное время, но увеличивается вовсе не пропорціонально, а въ меньшемъ отношеніи. Веберъ произвелъ три опредѣленія силы тока F при трехъ различныхъ скоростяхъ вращенія n и изъ этихъ трехъ наблюденій вывелъ, что F можетъ

(31) Pogg. Ann. T. 61. стр. 43.

быть выражено такою формулою: $F = \frac{a \cdot n}{1 + bn + cn^2}$, гдѣ a , b , c , коэффициенты, опредѣляемые изъ самыхъ наблюденій. Если формулу эту дозволительно распространить и на большія величины n , то изъ нея будетъ слѣдовать, что сила тока съ увеличеніемъ скорости обращенія не будетъ непрерывно увеличиваться, но при извѣстной скорости достигнетъ наибольшей величины и за тѣмъ уже при большей скорости будетъ уменьшаться. Причину непропорціональности силы тока скорости вращенія Веберъ полагалъ въ томъ обстоятельствѣ, что желѣзо, въ слѣдствіе своей задерживательной силы, не можетъ тотчасъ же принимать весь магнитизмъ, какой въ немъ возбуждается магнитомъ и не тотчасъ же теряетъ его, а требуетъ для этого нѣкотораго времени.

Въ 1846 году Г. Ленцъ началъ рядъ опытовъ надъ магнито-электрическою машиною съ цѣлю болѣе подробно изслѣдовать вліяніе, какое имѣетъ скорость вращенія машины на силу индуцированнаго тока. Изслѣдованія Г. Ленца, составляющія предметъ двухъ записокъ, изъ которыхъ первая издана въ 1848, а вторая напечатана только въ истекшемъ 1853 году (32), доставили весьма важные результаты для теоріи магнито-электрическихъ машинъ и вмѣстѣ съ тѣмъ указали на существованіе одного факта, весьма замѣчательнаго въ практическомъ отношеніи, и который до того времени оставался незамѣченнымъ.

По мнѣнію моему, эти изслѣдованія, будучи произведены съ тою точностью и съ тою тщательностью, какими отличаются всѣ работы Г. Ленца, и будучи единственными по этому предмету, должны быть причислены къ самымъ важнымъ въ области магнито-электричества. При этомъ я считаю необходимымъ замѣтить, что обѣ записки, о которыхъ мы сейчасъ упоминали, изложены съ ясностью, отчетливостью и полнотою — что мы не всегда встрѣчаемъ въ ученыхъ трактатахъ другихъ Физиковъ и чѣмъ постоянно характеризуются записки Г. Ленца. Г. Ленцъ умѣетъ съ такимъ искусствомъ излагать свои

(32) Первая записка — въ *Bullet. physico-math.* (Т. VII. №№ 17 и 18), также въ *Pogg. Ann.* (Т. 76), вторая — въ *Bullet. physico-math.* Т. XII, №№ 3 и 4.

ислѣдованія, что, читая его записки, невольно увлекаешься его опытами и какъ бы самъ присутствуешь при нихъ. Г. Ленцъ, не выпуская ни одного важнаго или замѣчательнаго обстоятельства, вмѣстѣ съ тѣмъ никогда не входитъ въ излишнія подробности, какъ то дѣлаютъ иные Ученые, и при томъ всегда даетъ точныя и ясныя описанія употребленныхъ имъ приборовъ, такъ что всякой легко можетъ себѣ составить понятіе о степени довѣрія, какое можно имѣть къ нимъ и легко можетъ повѣрить его данныя. Въ этомъ отношеніи записки Г. Ленца всегда казались намъ образцовыми, особливо если сравнить съ ними записки многихъ, преимущественно Французскихъ Физиковъ, рѣдко входящихъ въ подробности описанія употребляемыхъ ими приборовъ, — въ подробности, знаніе которыхъ весьма часто крайне необходимо, особливо если эти приборы мѣрительные.

Г. Ленцъ при опытахъ своихъ употреблялъ машину Штегера, состоящую изъ трехъ магнитовъ и слѣдовательно изъ шести индукторовъ. Проволоки этихъ индукторовъ могутъ быть соединяемы между собою четырьмя различными способами:

I) Всѣ однородныя концы могутъ быть соединены между собою — это параллельное соединеніе производитъ такое же дѣйствіе, какъ если бы въ машинѣ находился только одинъ индукторъ, котораго сопротивленіе въ шесть разъ меньше т. е. если мы назовемъ чрезъ A и L электро-возбудительную силу и сопротивленіе каждаго индуктора, то сила тока, проходящаго по проводнику, на который мы дѣйствуемъ, будетъ при этомъ соединеніи $F_1 = \frac{A}{\frac{L}{6} + m}$, гдѣ m сопротивленіе проводника.

II). Каждые три индуктора могутъ быть соединены между собою параллельно и слѣдовательно образовать двѣ системы, которыя между собою соединяются послѣдовательно — сила тока въ этомъ случаѣ $F_2 = \frac{2A}{\frac{L}{2 \cdot \frac{1}{3}} + m}$ показываетъ, что машина дѣйствуетъ такимъ же образомъ, какъ если бы въ ней находились только два индуктора (соединенные послѣдовательно), изъ которыхъ каждый имѣетъ сопротивленіе въ три раза меньшее $= \frac{L}{3}$.

III) Изъ каждаго двухъ индукторовъ составляется параллельное соединеніе и такимъ образомъ получаются три системы индукторовъ, которыя соединяются между собою послѣдовательно. Сила тока въ этомъ случаѣ $F_3 = \frac{3A}{\frac{L}{3} + m}$ т. е. дѣйствіе будетъ такое же, какъ если бы въ машинѣ находились всего три индуктора, изъ которыхъ каждый имѣлъ бы сопротивление вдвое меньшее $= \frac{L}{2}$.

IV) Послѣднее соединеніе можетъ быть произведено, соединивъ всѣ индукторы послѣдовательно между собою и тогда сила тока будетъ $F_4 = \frac{6A}{6L + m}$.

Чтобы опредѣлить вліяніе скорости вращенія индукторовъ на силу тока, очевидно необходимо, во-1-хъ, точно измѣрять число оборотовъ машины въ опредѣленное время и во-2-хъ, имѣть точную мѣру силы тока. Первое при опытахъ Г. Ленца производилось посредствомъ особеннаго очень простаго механизма, состоявшаго изъ зубчатыхъ колесъ, обращающихся отъ зацепленія съ ними винтовыхъ нартзовъ, сдѣланныхъ на верхнемъ концѣ оси вращенія. Стрѣлки, прикрѣпленныя къ колесамъ, показывали на неподвижномъ циферблатѣ число оборотовъ, сдѣланныхъ осью. Для измѣренія силы тока Г. Ленцъ при первыхъ своихъ опытахъ вставлялъ въ цѣпь вольтметръ и опредѣлялъ количество освобождающихся газовъ въ продолженіе 1' по объему, — количество, которое будучи приведено къ одной температурѣ и одному барометрическому давленію, можетъ служить, какъ извѣстно, мѣрою тока.

Измѣняя скорость вращенія и замѣчая соотвѣтствующую силу тока при четырехъ различныхъ соединеніяхъ проволокъ индуктора между собою, Г. Ленцъ подтвердилъ заключеніе Вебера, найдя, что сила тока увеличивается вовсе не пропорціонально скорости вращенія, а дѣйствительно, при опредѣленной скорости, достигаетъ *максимума* и далѣе уже при болѣе быстрой движенія уменьшается. Опыты показали, что этотъ *максимумъ* при различныхъ соединеніяхъ соотвѣтствуетъ не одной и той же скорости, такъ на-примѣръ:

для IV-го соединенія *maximum* былъ при 157,6 оборотахъ въ 1'

— III — — — — 174,8 —

— II — — — — 380,0 —

— I при скорости 655 не лзя было еще достигнуть *maximum*.

Изъ этого Г. *Ленцъ* могъ уже прямо заключить, что объясненіе *Вебера*, приведенное нами выше, не можетъ быть допущено; дѣйствительно, если бы ослабленіе тока происходило отъ того, что желѣзо не вдругъ можетъ принимать магнетизмъ, то, очевидно, при всѣхъ четырехъ родахъ соединеній сила тока достигла бы наибольшей величины при одной и той же скорости вращенія: такъ какъ дѣйствіе магнита на желѣзо (индукторъ) при всѣхъ соединеніяхъ проволокъ остается одинаковымъ. Слѣдоват. надобно было отыскивать причину явленія не въ задерживательной силѣ желѣза, но въ какомъ-либо другомъ обстоятельстве. При опытахъ съ вольтметромъ всегда является вмѣстѣ съ токомъ и такъ-называемая *поляризація*, которая ослабляетъ токъ и увеличивается съ силою тока до нѣвѣстнаго предѣла; поэтому результаты, полученные Г. *Ленцомъ*, могли происходить и отъ вліянія этой поляризаціи. Чтобы прояснить себѣ это обстоятельство, Г. *Ленцъ* употребилъ, вмѣсто вольтметра, весьма чувствительный гальванометръ (градуированный), устроенный по *Шейнхеру*, и производилъ съ нимъ наблюденія подобныя предыдущимъ. Такъ какъ сила тока машины имѣла весьма значительную величину, которую не лзя было опредѣлить на этотъ чувствительномъ гальванометрѣ: посему надлежало ослабить ее, что и было произведено вставленіемъ въ цѣнь весьма большаго сопротивленія, предъ которымъ сопротивленіе самыхъ индукторовъ оказалось совершенно ничтожнымъ. Слѣдоват. при всѣхъ четырехъ соединеніяхъ сопротивленіе цѣпи оставалось одно и то же, такъ что замѣченная сила тока на приборѣ могла служить и мѣрою электро-возбудительной силы — что и дѣйствительно подтверждалось наблюденіями силы тока при четырехъ соединеніяхъ и при одинаковой скорости вращенія машины, такъ

сила при I соединеніи была = F

— — II — — = 2 F

— — III — — = 3 F

— — IV — — = 6 F

что и должно быть по формуламъ, приведеннымъ на стр. 29—30 для силы тока при различныхъ соединеніяхъ, если принять $m=0$.

Непропорціональность электро-возбудительной силы скорости вращенія оказывается также и изъ наблюденій съ гальванометромъ; однакожь при этихъ опытахъ ни при одной изъ употребленныхъ скоростей вращенія и ни при одномъ изъ четырехъ соединеній не получилось *maximum* силы тока, какъ въ предыдущихъ опытахъ съ вольтметромъ, и сила постоянно увеличивалась. Разсматривая величины силы тока F , соответствующія различнымъ скоростямъ n , Г. Ленцъ нашелъ, что онѣ удовлетворяютъ уравненію $F = an - bn^2$, гдѣ a и b постоянные, опредѣляемые изъ самыхъ наблюденій, коэффициенты. Если принять объясненіе Вебера, то это уравненіе можетъ быть объяснено очень просто. Назовемъ чрезъ m магнетизмъ, какой принимаетъ желѣзный индукторъ въ состояніи покоя, когда скорость вращенія машины нуль, и пусть при скорости равной единицѣ этотъ магнетизмъ ослабѣваетъ на величину q : тогда, при скорости n , магнетизмъ, возбуждаемый въ желѣзѣ, будетъ $= m - nq$, а какъ электро-возбудительная сила A должна быть пропорціональна этому магнетизму и вмѣстѣ съ тѣмъ скорости вращенія, то слѣдовательно $A = (m - nq)n = mn - qn^2$, — а это и есть формула, которой удовлетворяютъ наблюденія Г. Ленца, если въ ней замѣнить a и b другими m и q , а вмѣсто F подставить пропорціональную ей величину A . И такъ, казалось бы, что наблюденія съ гальванометромъ, будучи объясняемы по Веберу, противорѣчатъ прежнимъ наблюденіямъ съ вольтметромъ; однакожь не трудно сообразить, что разность между этими наблюденіями можетъ происходить или отъ дѣйствія поляризаціи въ вольтметрѣ или отъ того, что токи, наблюдаемые на гальванометрѣ, были весьма слабы сравнительно съ прежними (именно около 400 разъ слабѣе). Посему Г. Ленцъ повторилъ тѣ же самыя наблюденія, употребляя сильные токи, для чего онъ, не вставляя никакого большаго сопротивленія въ цѣпь, какъ то было въ предыдущемъ случаѣ, прямо соединялъ концы проволоки индуктора съ мультипликаторомъ Нернандера. Наблюденія эти дали совершенно тѣ же результаты, какъ и первыя съ вольтметромъ т. е. показывали существованіе *maximum* сила тока при опредѣленной величинѣ

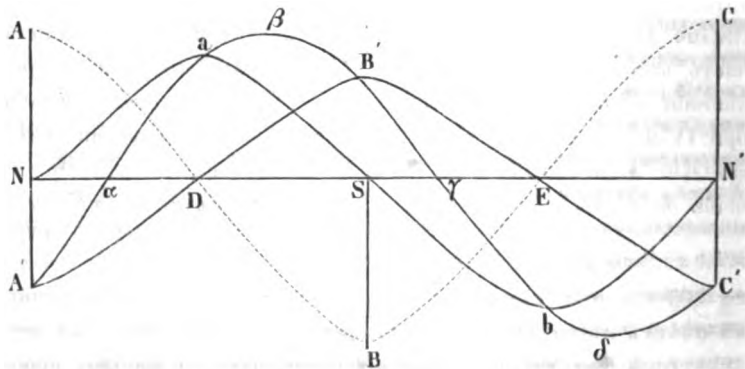
въ скорости вращенія, различной для каждого изъ четырехъ соединеній проволоки индуктора, а именно: при IV соединеніи *maximit* силы тока былъ при 120 оборотахъ въ I' и равенъ былъ = 6,29; при III соединеніи *maximit* былъ при 170 оборотахъ и величина его = 11,81; при II-омъ соединеніи при 260 оборотахъ и равнялся = 16,71 и наконецъ при I-мъ соединеніи хотя увеличеніе силы тока съ увеличеніемъ скорости дѣлалось все меньше и меньше, однакожь даже при 750 оборотахъ не получался *maximit*. И такъ изъ этихъ послѣднихъ результатовъ мы должны заключить, что причина, по которой *maximit* силы тока не могъ быть полученъ при предыдущихъ наблюденіяхъ Г. Ленца съ гальванометромъ, заключается единственно въ слабой силѣ токовъ при тѣхъ наблюденіяхъ, такъ что посему не инверсія желѣза въ принятію магнетизма должна быть причтена причиною существованія *maximit* и не пропорціональности электро-возбудительной силы скорости вращенія, а что причина ослабленія тока должна лежать въ самомъ токѣ.

Разсмотримъ это обстоятельство подробнѣе. Изъ приведенныхъ чиселъ для *maximit* и для соответствующей скорости вращенія видно, что числа эти увеличиваются отъ IV-го соединенія до I-го т. е. что скорость вращенія и величина *maximit* дѣлаются тѣмъ болѣе, чѣмъ болѣе между индукторами составлено параллельныхъ соединеній. Мы знаемъ, что при параллельныхъ соединеніяхъ между индукторами не вся сила тока, замѣченная на гальванометрѣ, проходитъ чрезъ каждый индукторъ, а только извѣстная опредѣленная часть ея, такъ на-примѣръ при I соединеніи проходитъ чрезъ каждый индукторъ только шестая часть всего тока (если всѣ индукторы одинаковы), при II соединенія — только $\frac{1}{3}$ часть тока, при III-мъ — половина и только при IV-мъ соединеніи, гдѣ всѣ индукторы соединены послѣдовательно, проходитъ весь токъ. Слѣдовательно при IV соединеніи *maximit* силы тока, проходящаго чрезъ каждый индукторъ. = 6,29, при III-мъ = $\frac{11,81}{2} = 5,90$, при II сила его = $\frac{16,71}{3} = 5,67$ т. е. при всѣхъ соединеніяхъ *maximit* тока въ проводникѣ имѣетъ мѣсто почти при равныхъ силахъ тока въ каждомъ индукторѣ. Это слѣдствіе совершенно объясняетъ, почему необ-

ходимо употребить тѣмъ большую скорость вращенія для полученіе *максимума* тока, чѣмъ параллельныхъ соединеній между индукторами болѣе. Чтобы еще болѣе убѣдиться, что *максимум* тока обуславливаются единственно силою тока въ индукторѣ, Г. Ленцъ пронавелъ такой рядъ опытовъ: онъ увеличивалъ сопротивленіе цѣпи вставленіемъ въ нея большаго числа оборотовъ агометра, отъ чего, очевидно, сила тока при одинаковой скорости вращенія будетъ слабѣе и слѣдовательно (если предыдущее слѣдствіе справедливо) *максимум* долженъ получиться при скорости вращенія тѣмъ болѣе, чѣмъ сопротивленіе цѣпи болѣе. Это заключеніе дѣйствительно подтвердилось наблюденіями, которыя вмѣстѣ съ тѣмъ показали, что сила наибольшаго тока въ индукторахъ была для всѣхъ употребленныхъ сопротивленій почти одна и та же.

И такъ, въ слѣдствіе всѣхъ приведенныхъ опытовъ, не оставалось никакого сомнѣнія въ томъ, что причина ослабленія электро-возбудительной силы магнито-электрическихъ машинъ и непропорціональности ея скорости вращенія заключается въ самомъ индукированномъ токѣ, именно — въ дѣйствіи его на желѣзо, а это дѣйствіе не можетъ состоять въ чемъ-либо иномъ, какъ только въ намагничиваніи желѣза. Г. Ленцъ составилъ себѣ слѣдующее теоретическое понятіе о всемъ процессѣ индукціи, который происходитъ при обращеніи машины и который лучше всего для ясности представить графически. Пусть прямая линія NN' изображаетъ намъ направленіе движенія индуктора,

Фиг. 1.



пусть въ N онъ находится противъ Южнаго полюса магнита, въ S — противъ Сѣвернаго и въ N' снова достигаетъ Южнаго, такъ что въ продолженіе всего движенія NN' магнетизмъ желѣза совершитъ полный періодъ. Для каждаго положенія индуктора между N и N' , для каждой точки линіи NN' напряженіе магнетизма, возбужденнаго въ желѣзѣ, будетъ различно; пусть эта напряженность для каждой точки изобразится длиною вертикальной линіи, возстановленной въ этой точкѣ, при чемъ для Сѣвернаго магнетизма будетъ проводить линіи вверхъ, а для Южнаго внизъ. Если мы соединимъ концы всѣхъ этихъ линій, то получимъ кривую линію, которая представитъ намъ ходъ измѣненія магнетизма въ индукторѣ: видъ этой кривой линіи намъ неизвѣстенъ, но мы знаемъ (см. стр. 20), что магнетизмъ имѣетъ наибольшую величину въ точкахъ N , S и N' и что величина его нуль въ срединѣ между N и S , между S и N' : посему кривая эта можетъ быть представлена въ видѣ $ADBEC$. Намъ также извѣстно (см. стр. 21), что при движеніи индуктора отъ N до D въ проволоку, его обвивающей, въ каждый моментъ индуктируется токъ, котораго направленіе будетъ одинаково съ направлениемъ токовъ, существующихъ (по теоріи Ампера) въ индукторѣ, но котораго сила для каждаго момента будетъ различна; при движеніи же отъ D до S это направленіе будетъ противно токамъ въ желѣзѣ и слѣдоват. одинаково съ первымъ. Сила тока для каждаго момента будетъ пропорціональна измѣненію магнетизма въ этотъ моментъ т. е. будетъ пропорціональна углу, составляемому касательной къ кривой $ADBEC$ съ NN' . Посему сила тока въ точкахъ N , S и N' будетъ равна нулю: ибо касательная, соответствующая этимъ точкамъ, составляетъ уголъ нуль съ NN' , въ точкахъ же D и E будетъ имѣть наибольшую величину. Измѣненія силы тока въ различные моменты мы можемъ представить также, какъ и измѣненія магнетизма, кривою линією $NaSbN'$, которой видъ намъ неизвѣстенъ, но которой наибольшее отдаленіе отъ NN' будетъ соответствовать точкамъ a и b . Посему площадь, заключающаяся между этою кривою линією и NN' , изобразитъ намъ электро-возбудительную силу или силу тока, индуктированнаго въ продолженіе одного періода движенія индуктора т. е. отъ полюса N до одновременнаго съ нимъ N' . Этотъ

токъ необходимо долженъ дѣйствовать на желѣзо и возбуждать въ немъ магнетизмъ, который, для отличія отъ возбуждаемаго въ желѣзѣ магнитомъ, мы назовемъ *второстепеннымъ* и который, будучи для каждаго момента пропорціоналенъ силѣ тока въ этотъ моментъ, можетъ, слѣдовательно, быть изображенъ подобною или тою же самою кривою линіею $NaSbN'$. Этотъ второстепенный магнетизмъ, подобно первоначальному, въ свою очередь необходимо долженъ возбуждать въ проволокахъ новую второстепенную электро-возбудительную силу или индуктировать новый токъ; разсуждая по предыдущему, не трудно заключить, что эта сила для различныхъ моментовъ, для различныхъ положеній индуктора, изобразится ординатами кривой линіи $A'DB'EC'$, а для полнаго періода представится площадью этой кривой линіи. Слѣдовательно въ спиральной проволоцѣ индуктора будутъ одновременно индуктироваться два тока и слѣдовательно, чтобы получить для каждаго момента равнодѣйствующую этихъ двухъ токовъ, надобно слагать ординаты кривыхъ $NaSbN'$ и $A'DB'EC'$ съ ихъ соотвѣтствующими знаками. Произведя это для каждой точки, мы получимъ кривую $A'\alpha\beta\gamma\delta C'$, которая изобразитъ намъ измѣненія силы тока, дѣйствительно проходящаго по проволоцѣ. Разсмотрѣніе этой кривой линіи показываетъ намъ, во-1-хъ, что отъ дѣйствія второстепеннаго тока сила первоначального въ продолженіе полнаго періода нисколько не измѣняется; въ самомъ дѣлѣ, части $Na'D$ и $B'SE$ второстепеннаго тока дѣйствуютъ по направленію противному частямъ NaD и SEb первоначального и слѣдовательно ослабляютъ его силу, но за то равныя имъ части $DB'S$ и $E'N'C'$ второстепеннаго дѣйствуютъ по тому же направленію, какъ части NAS и EBN' первоначального и слѣдоват. на столько же увеличиваютъ его силу, на сколько первыя уменьшали. Во-2-хъ, отъ дѣйствія второстепеннаго тока измѣняется положеніе тѣхъ точекъ, въ которыхъ первоначальный токъ измѣнялъ свое направленіе: эти точки должны передвинуться изъ N въ α и изъ S въ γ , (причемъ $N\alpha = S\gamma$) и притомъ передвинутся на *разстояніе тѣмъ большее* ($N\alpha$ тѣмъ болѣе), *чѣмъ сила второстепеннаго тока болѣе* и, какъ сила эта зависитъ отъ силы первоначального, то слѣдовательно, *чѣмъ скорость вращенія болѣе*. Въ самомъ дѣлѣ, въ этихъ точкахъ, на-примѣръ, въ α положи-

тельная ордината одного тока равна отрицательной другого, а потому, чѣмъ болѣе величина этихъ ординатъ, тѣмъ и переѣщеніе $N\alpha$ должно быть болѣе. А изъ этого заключенія долженъ истекать слѣдующій фактъ:

Извѣстно, что для того, чтобы въ проводникѣ, замыкающемъ магнито-электрическую цѣпь, токъ шелъ всегда по одному и тому же направленію, употребляются особенные коммутаторы, которыми необходимо дать такое положеніе, чтобы они прерывали цѣпь въ тотъ моментъ, когда токъ достигаетъ величины 0 и переѣняетъ свое направленіе. При этомъ положеніи, пружины, проводящія токъ въ проводникъ, должны касаться непроводящей части окружности коммутатора. До сихъ поръ обыкновенно ставили коммутаторъ такъ, чтобы онъ прерывалъ токъ въ точкахъ N, S, N', полагая, что въ этихъ точкахъ токъ измѣняетъ свое направленіе; но мы видѣли уже, что эта переѣна происходитъ въ точкахъ α и γ , слѣдовательно, при такомъ (обыкновенномъ) положеніи коммутатора токъ, индуцируемый въ продолженіе полнаго періода, не будетъ идти по проводнику по одному и тому же направленію и сила тока, измѣряемая на гальванометрѣ, будетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ положеніе коммутатора ближе къ истинному т. е. къ точкамъ α и γ . Чтобы получить въ проводникѣ токъ постояннаго направленія, необходимо передвинуть коммутаторъ изъ его обыкновеннаго положенія на нѣкоторый уголъ въ сторону вращенія, — уголъ, который долженъ быть тѣмъ болѣе, чѣмъ скорость вращенія болѣе. Опытъ вполне подтвердилъ это слѣдствіе, выведенное Г. Ленцомъ единственно изъ вышеприведенныхъ теоретическихъ соображеній. Раздѣливъ окружность коммутатора чрезъ 6° и укрѣпивъ на оси вращенія указатель, которымъ опредѣлялось бы положеніе коммутатора, Г. Ленцъ для каждой скорости вращенія поворачивалъ коммутаторъ отъ его обыкновеннаго положенія отъ 0° на 6° , 12° и т. д. и замѣчалъ соответствующія силы тока на гальванометрѣ. Наблюденія показали, что тахішимъ тока являлся только при опредѣленномъ положеніи коммутатора, которое тѣмъ болѣе отстояло отъ его обыкновеннаго положенія, чѣмъ скорость вращенія была болѣе и которое было различно для различныхъ соединеній проволокъ индуктора. То же явленіе происходило, если вмѣсто гальваномет-

ра употребляемъ былъ вольтметръ: количество освобожденныхъ газовъ достигало наибольшей величины всегда при опредѣленномъ положеніи коммутатора. Казалось бы, что на показанія вольтметра это положеніе не должно имѣть вліянія, такъ какъ количество освобождающихся газовъ не зависитъ отъ направленія тока; однакожь, принимая во вниманіе то обстоятельство, что непроводящая часть коммутатора всегда занимаетъ нѣкоторую часть его поверхности (въ машинѣ Г. Ленца 5°) и что во все время вращенія, пока пружины находятся на этой части, токъ не существуетъ, мы должны заключить, что часть тока отъ того всегда теряется, но что потеря эта будетъ тѣмъ меньше, чѣмъ положеніе коммутатора ближе къ истинному: потому что при этомъ положеніи сила тока имѣетъ весьма незначительную величину, близкую къ нулю.

Настоящее, точное положеніе коммутатора для полученія наибольшей силы тока при опредѣленной скорости вращенія можно находить, какъ показываетъ Г. Ленцъ, и безъ помощи предварительныхъ измѣреній силы тока; для этого, давши машинѣ опредѣленную скорость, стоитъ только передвигать коммутаторъ до тѣхъ поръ, пока искра, являющаяся всегда при прерываніи тока, не уничтожается: и въ самомъ дѣлѣ, искра должна уничтожиться въ тотъ моментъ, когда сила тока нуль т. е. при истинномъ положеніи коммутатора.

Изложенный нами фактъ относительно положенія коммутатора представляетъ важность въ двойномъ отношеніи: *со-первыхъ*, какъ подтвержденіе тѣхъ теоретическихъ началъ, изъ которыхъ этотъ фактъ выведенъ Г. Ленцомъ, какъ прямое и простое слѣдствіе, и *во-вторыхъ*, онъ важенъ въ отношеніи практическомъ и долженъ быть принимаемъ въ соображеніе при всѣхъ тѣхъ дѣйствіяхъ магнито-электрической машины, при которыхъ требуется имѣть токъ постоянно одного и того же направленія. Въ началѣ своей второй записки Г. Ленцъ приводитъ два замѣчательные результаты, которые получены изъ опытовъ, произведенныхъ съ магнито-электрическими машинами, — и произошли единственно отъ ложнаго положенія коммутатора. Мы упоминаемъ здѣсь только объ одномъ изъ нихъ, выведенномъ изъ опытовъ съ тою же самою машиною *Ште-*

рера, какую употреблялъ Г. Ленцъ при своихъ изслѣдованіяхъ. Эта машина была употребляема въ гальванопластическомъ заведеніи покойнаго Герцога Лейхтенбергскаго для производства нѣкоторыхъ гальванопластическихъ работъ, именно для осажденія мѣди. Полковникъ Верениновъ, занимавшійся этими работами, никогда не могъ получить на катодѣ сплошнаго осадка мѣди, въ видѣ пластинки, какой получается при дѣйствіи гидро-электрическихъ батарей, но осадокъ всегда представлялъ массу рыхлую; и это обстоятельство, по мнѣнію Г. Ленца, вѣроятно, причиною того, что подобныя попытки примѣнять магнито-электрическія машины къ гальванопластическимъ работамъ оказывались неудачными. Эта неудача, въ настоящее время, послѣ изслѣдованій Г. Ленца, можетъ быть объяснена весьма просто. Какъ при опытахъ Полковника Веренинова, такъ, вѣроятно, и при всѣхъ другихъ подобныхъ, коммутатору машины давали обыкновенное положеніе т. е. уставляли его такъ, чтобы онъ перемѣнялъ направленіе тока въ тотъ моментъ, когда индукторы подвержены наибольшему дѣйствію магнитовъ, полагая, что при этомъ положеніи дѣйствительно токъ машины уничтожается и переходитъ чрезъ нуль въ противный; однакожь мы сейчасъ видѣли, что это уничтоженіе и перемѣна направленія тока происходитъ не въ этомъ положеніи индукторовъ, а въ положеніи нѣсколько удаленномъ въ сторону вращенія: посему при обыкновенномъ расположеніи коммутатора токъ не будетъ идти во все время вращенія по одному и тому же направленію, но часть его, хотя и не весьма значительная, проходитъ и по противоположному. Вставляя въ магнито-электрическую цѣпь гальванопластическій приборъ для осажденія мѣди, мы не будемъ, слѣдовательно, получать, во все время вращенія машины, постоянный осадокъ мѣди на катодѣ, но на немъ при извѣстныхъ положеніяхъ индукторовъ будетъ отдѣляться также и кислородъ, который, соединяясь съ осажденною мѣдью, образуетъ окись; посему при обыкновенномъ положеніи коммутатора на катодѣ получится осадокъ не чистой мѣди, но смѣсь чистой мѣди съ ея окисью, отъ чего онъ и представится не въ сплошной массѣ, а въ рыхломъ видѣ. Чтобы получить хорошій осадокъ необходимо было бы дать коммутатору надлежащее положеніе, которое,

какъ намъ извѣстно, при различныхъ скоростяхъ вращенія будетъ различно и которое должно быть опредѣлено изъ предварительныхъ опытовъ; однакожь на практикѣ, какъ кажется, этого весьма трудно или даже вовсе невозможно достигнуть: при малѣйшемъ измѣненіи въ скорости вращенія машины или въ сопротивленіи цѣпи, положеніе коммутатора будетъ не вѣрно и, слѣдовательно, часть тока пройдетъ по противному направлению.

Въ разсмотрѣнной нами первой запискѣ Г. Ленца, какъ мы видѣли, подтвердивъ тотъ фактъ, что электро-возбудительная сила магнито-электрическихъ машинъ не пропорціональна скорости вращенія ихъ, во-1-хъ, изложилъ подробно самый процессъ индукціи, происходящій при обращеніи, и во-2-хъ, изъ данныхъ имъ теоретическихъ началъ вывелъ новый фактъ относительно положенія коммутатора, — фактъ, справедливость котораго подтвердилъ опытами. Что же касается причины, по которой электро-возбудительная сила измѣняется не пропорціонально скорости вращенія, то вопросъ этотъ остается пока еще не разрѣшеннымъ: вѣроятно, причина эта заключается въ томъ, что индукція совершается не мгновенно, а токъ требуетъ вѣкотораго времени для своего образованія — фактъ, который мы необходимо должны принять изъ явленій магнетизма вращенія, которыя безъ него не могутъ быть объяснены. Подробнѣйшее разсмотрѣніе этого факта въ магнито-электрическихъ машинахъ мы должны ожидать отъ будущихъ изслѣдованій Г. Ленца.

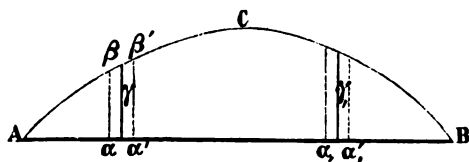
Я позволю себѣ прибавить здѣсь слѣдующія заключенія, выводимыя прямо изъ теоретическихъ началъ, данныхъ Г. Ленцомъ: 1) сила первоначальнаго тока, индуктированнаго въ продолженіе одного полуперіода (въ фиг. 1 эта сила изображается площадью кривой $NaSN$), не измѣняется, какъ мы видѣли, отъ дѣйствія второстепеннаго тока, такъ что сила равнодѣйствующаго тока, происходящаго отъ совокупнаго дѣйствія этихъ двухъ токовъ, равна силѣ первоначальнаго (площадь $A'Na\alpha BB'S$ = площади $NaSN$). Опыты показываютъ, что сила эта непропорціональна скорости вращенія: слѣдоват. изъ этого необходимо заключить, что причина непропорціональности заключается не во второстепенномъ токѣ а въ какомъ-либо другомъ обстоятельствѣ.

2) Сила тока, какъ показываютъ опыты Г. Ленца, дѣлается тѣмъ болѣе, чѣмъ положеніе коммутатора ближе къ истинному положенію, при которомъ она и достигаетъ наибольшей величины: слѣдоват. площадь $\alpha\beta V'\gamma$ болѣе площади $NA'\alpha\beta V'S$; не трудно видѣть изъ фиг. 1, называя чрезъ F' первую площадь или, все равно, силу тока, индуцируемаго при истинномъ положеніи коммутатора, а чрезъ F — вторую площадь или силу тока при положеніи коммутатора въ N и S , что $F' = F + 2$ площ. $NA'\alpha$. Изъ этого выраженія мнѣ кажется прямо слѣдуетъ, что если бы даже сила F и была пропорціональна скорости вращенія, то при всемъ томъ сила тока F' , индуцировавшаго при истинномъ положеніи коммутатора, не будетъ ей пропорціональна, а представится въ видѣ $F' = an - bn^2$, гдѣ a и b постоянныя коэффициенты, а скорость вращенія. Чтобы получить это выраженіе необходимо припомнить себѣ, что сила второстепеннаго тока должна быть пропорціональна квадрату скорости вращенія; дѣйствительно, она должна быть пропорціональна: 1) второстепенному магнетизму m' и 2) скорости вращенія т. е. представится въ видѣ $\alpha \cdot m' \cdot n$, а какъ магнетизмъ пропорціоналенъ силѣ первоначальнаго тока т. е. $m' = \beta \cdot \gamma \cdot n$, гдѣ β и γ постоянныя коэффициенты, то слѣдоват. и выраженіе для силы второстепеннаго тока будетъ $= \alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot n \cdot n = c \cdot n^2$. — Весьма интересно было бы опытами изслѣдовать, по какому закону измѣняется сила тока при различныхъ скоростяхъ вращенія и при надлежащемъ положеніи коммутатора для каждой скорости.

Перейдемъ къ обозрѣнію второй части труда Г. Ленца или второй и послѣдней доселѣ изданной записки. Въ ней Г. Ленцъ представляетъ свои наблюденія надъ силою индуцируемаго тока при различныхъ положеніяхъ индукторовъ между полюсами магнитовъ или при различныхъ фазахъ вращенія. Мы уже знаемъ, что эта сила, начиная съ извѣстнаго положенія индуктора, при которомъ она нуль, увеличивается до определенной величины и за тѣмъ снова уменьшается до 0 и далѣе переходитъ въ противную; однимъ словомъ, мы уже видѣли, что силу эту можно изобразить ординатами кривой линіи $A'\alpha\beta\gamma\delta C'$ (см. рисунокъ 1). Изслѣдованія Г. Ленца имѣли цѣлюю опредѣленіе этихъ ординатъ или, что все равно, вида кривой линіи.

Для этого, естественно, необходимо было имѣть способъ пропускага черезъ приборъ, служащій для измѣренія силы тока, не весь токъ, индуктируемый въ продолженіе перехода индуктора отъ одного полюса къ другому, не весь токъ полуперіода, но только ту часть его, которая индуктируется при какомъ-либо опредѣленномъ положеніи индуктора (при переходѣ его отъ одной точки до другой, весьма близкой къ ней). Положимъ, что АВ изображаетъ путь индуктора отъ одного полюса до другаго

Фиг. 2.



и ординаты кривой ACB представляютъ силу тока для различныхъ положеній индуктора (эта кривая должна быть то же, что въ предыдущемъ рисункѣ $A'\alpha\beta B'$), тогда, какъ легко видѣть, площадь ACB изобразитъ силу тока, индуктированнаго въ продолженіе всего полуперіода; площадь же $\alpha\alpha'\beta\beta'$ — силу тока въ продолженіе движенія индуктора отъ α до α' . Если эти точки α и α' взять такъ близко, что кривую $\beta\beta'$ можно было бы принять за прямую, то площадь $\alpha\alpha'\beta\beta'$ равна $\alpha\alpha' \cdot \gamma$, умноженной на γ , гдѣ γ есть ордината на срединѣ между α и α' , также площадь $\alpha\alpha_1'\beta_1\beta_1' = \alpha_1\alpha_1' \cdot \gamma_1$, слѣдоват. если $\alpha\alpha' = \alpha_1\alpha_1'$, то эти площади или, что все равно, силы тока, индуктируемаго при движеніи индуктора на равныя малыя пространства $\alpha\alpha'$, будутъ пропорціональны ординатамъ, возставленнымъ по срединѣ $\alpha\alpha'$. Изъ этого прямо видно, что для того, чтобы измѣрить эти ординаты или (все равно) силы тока, соответствующія различнымъ положеніямъ индуктора, необходимо устроить коммутаторъ такимъ образомъ, чтобы онъ пропускалъ черезъ гальванометръ не весь токъ полуперіода, но только часть его, образующуюся при перемѣщеніи индуктора отъ α до α' и притомъ необходимо, чтобы эта часть могла быть опредѣляема въ различныхъ положеніяхъ индуктора между A и B. Давши коммутатору такое устройство, при чемъ часть $\alpha\alpha'$ или пространство, проходимое

индукторомъ, въ продолженіе котораго токъ долженъ быть измѣренъ, составляло одну двадцатую часть АВ, Г. *Ленцъ* приступилъ къ измѣренію силы токовъ или къ опредѣленію вида кривой АСВ. Но для этого измѣренія не могъ быть употреблемъ обыкновенный гальванометръ: потому что токи $\alpha\alpha'\beta\beta'$, индуцируемые въ послѣдовательные два полуперіода, имѣли противное направленіе и по самому устройству коммутатора не могли быть сведены въ одно направленіе, а потому и не могли отклонять стрѣлку гальванометра въ одну и ту же сторону. Слѣдовательно необходимо было избрать такой измѣрительный приборъ, котораго показанія были бы независимы отъ направленія тока, и Г. *Ленцъ* употребилъ *электродинамометръ*, — снарядъ, изобрѣтенный въ 1846 году знаменитымъ *Веберомъ* (33). Приборъ этотъ состоитъ изъ двухъ главныхъ частей: 1) изъ неподвижно-укрѣпленнаго пустаго цилиндра, котораго ось устанавливается перпендикулярно къ магнитному меридіану, и на поверхности котораго намотана проволока въ плоскостяхъ перпендикулярныхъ къ оси; 2) изъ подвижнаго вертикальнаго кольца, укрѣпленнаго на двухъ вертикальныхъ нитяхъ и подвижнаго внутри перваго цилиндра въ горизонтальной плоскости; на поверхности этого кольца навивается также проволока въ плоскостяхъ перпендикулярныхъ къ его оси и самое кольцо посредствомъ вращенія нитей устанавливается предварительно такъ, чтобы въ положеніи равновѣсія ось кольца (перпендикулярная къ его плоскости) находилась въ магнитномъ меридіанѣ. При прохожденіи одного и того же тока чрезъ проволоки неподвижнаго цилиндра и кольца, ось кольца выходитъ изъ магнитнаго меридіана и отклоняется отъ него на извѣстный уголъ, синусъ котораго пропорціоналенъ отклоняющей силѣ, а сила эта, какъ доказано опытами *Вебера*, пропорціональна квадрату силы тока, проходящаго чрезъ приборъ. Отклоненіе кольца опредѣляется такимъ же способомъ, какъ въ магнитометрахъ *Гаусса*, для чего къ кольцу прикрѣплено зеркало, въ которомъ отражается дѣленіе масштаба, поставленнаго на извѣстномъ разстояніи перпендикулярно къ магнитному меридіану. Изъ отраженнаго дѣленія масштаба опредѣ-

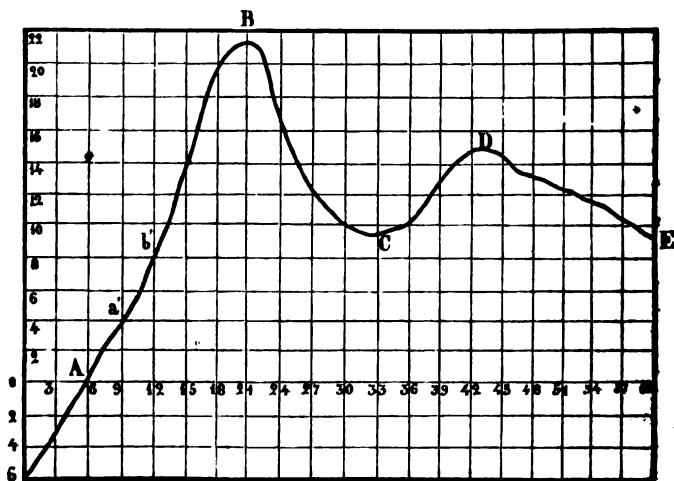
(33) *Electrodynamische Maasbestimmungen*. Leipzig, 1846, стр. 10—17.

дается тангенсъ угла отклоненія; но какъ при малости этихъ угловъ (не болѣе 4°) тангенсы могутъ быть принимаемы за синусы, то слѣдовательно отклоненіе, замѣченное на скалѣ, даетъ прямо мѣру квадрата силы тока, а корень квадратный изъ отклоненія измѣряетъ самую силу.

Пользуясь этимъ приборомъ — *электродинамометромъ*, Г. *Ленцъ* по необходимости долженъ былъ при всѣхъ своихъ опытахъ употреблять весьма слабые токи: по большой чувствительности прибора, токи машины *Штерера* производили столь большія отклоненія кольца, что дѣленія масштаба не могли быть отражаемы въ зеркалѣ, и посему токи должно было ослабить чрезъ вставленіе въ цѣпь значительнаго сопротивленія. Слѣдовательно всѣ результаты, выведенные Г. *Ленцомъ* изъ послѣдующихъ опытовъ, должны быть отнесены къ токамъ слабымъ.

Ходъ самыхъ опытовъ мы уже объяснили выше: Г. *Ленцъ*, давъ машинѣ опредѣленную скорость вращенія, передвигалъ коммутаторъ отъ 0° , что соотвѣтствовало тому положенію индукторовъ, когда они подвержены наисильнѣйшему дѣйствію магнитовъ (точкамъ N, S, N' фиг. 1), чрезъ извѣстное число градусовъ до 60° , что соотвѣтствуетъ полуперіоду вращенія и за-

Фиг. 3.

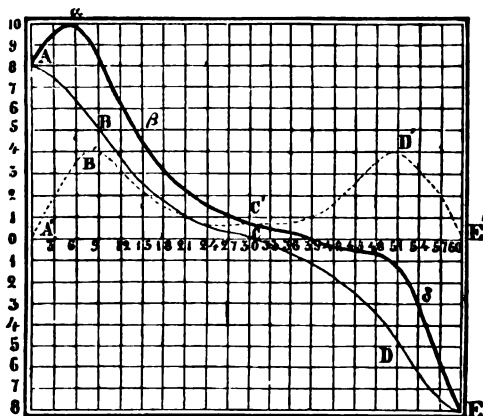


нѣчалъ при каждомъ положеніи отклоненіе электро-динамометра, изъ котораго опредѣлялась уже соответствующая сила тока. Такимъ образомъ изъ нѣсколькихъ рядовъ наблюденій отъ могъ опредѣлить видъ кривой линіи, изображающей измѣненія силы индуктированнаго тока въ продолженіе полуперіода вращенія. Эта кривая изображена на предыдущей фигурѣ, въ которой оси абсциссъ представляетъ различныя положенія коммутатора или, все равно, индукторовъ, а ординаты — соответствующія силы тока.

Изъ разсматриванія этой кривой линіи видно, что сила тока, начиная отъ нормальнаго положенія индукторовъ уменьшается до азимута 6° (т. е. до $\frac{1}{10}$ всего полуперіода), при которомъ она $= 0$ и при томъ имѣетъ на этомъ протяженіи направленіе противоположное направленію тока въ послѣдующихъ фазахъ. Отъ азимута 6° сила тока увеличивается до азимута 21° , при которомъ она достигаетъ наибольшей величины, за тѣмъ уменьшается до 33° и снова увеличивается до 42° , при которомъ представляетъ вторую наибольшую величину, равную почти $\frac{2}{3}$ перваго *maxim.* Отъ азимута 42° уменьшается и вѣроятно при 66° (на 6° позади втораго полюса) достигаетъ величины 0. И такъ сила тока представляетъ въ продолженіе полуперіода два *maxim.* и одинъ, между ними лежащій, *minim.* Сравнивая изъ опытовъ выведенную кривую ABCDE съ кривою A'αβB', изображенную на фиг. 1, мы замѣчаемъ въ нихъ большое различіе въ томъ, что послѣдняя, теоретически выведенная кривая, представляетъ только одинъ *maxim.* Чтобы объяснить себѣ это несходство, мы должны припомнить, что видъ кривой A'αβB' выведенъ былъ въ томъ предположеніи, что начальная кривая, изображающая распредѣленіе магнетизма въ индукторахъ отъ дѣйствія на нихъ стальныхъ магнитовъ (назовемъ ее магнитною кривою), имѣетъ видъ линіи ADBE; слѣдоват. если видъ A'αβB' не согласенъ съ дѣйствительнымъ, то мы должны заключить, что видъ принятой нами магнитной кривой ADBE не вѣренъ. Чтобы убѣдиться въ этомъ, необходимо изъ опытовъ опредѣлить видъ кривой первоначальнаго магнетизма т. е. опредѣлить, какимъ образомъ измѣняется магнетизмъ индукторовъ при различныхъ ихъ положеніяхъ. Г. Ленцъ не имѣлъ воз-

возможности сдѣлать такія опредѣленія для употребленной имъ машины *Штерера*, но онъ опредѣлилъ эту кривую для подобной же машины, въ которой только стальные магниты были замѣнены электро-магнитами и принявъ, что и для его *Штереровой* машины она будетъ того же вида. Эта кривая изображена на слѣдующей фигурѣ линіе ABCDE и характеризуется тѣмъ, что

Фиг. 4.



въ точкахъ В, С и D представляет точки изгиба, въ которыхъ вогнутость переходитъ въ выпуклость и обратно. Въ точкахъ В и D наклонность касательной къ оси абсциссъ наибольшая, а въ С — наименьшая. Зная эту кривую линію и зная, что индуктированный токъ въ какомъ ни есть положеніи индукторовъ пропорціоналенъ измѣненію магнетизма въ этомъ положеніи, мы можемъ построить кривую линію, которая изобразитъ намъ измѣненіе силы индуктированного тока въ продолженіе полуперіода: для этого стоитъ принять ординаты искомой кривой пропорціональными разности ординатъ магнитной кривой, взятыхъ по ту и по другую сторону данной точки въ такомъ разстояніи, при которомъ бы кривая могла быть принята за прямую. Поступая такимъ образомъ, Г. Ленцъ получилъ кривую линію $A'B'C'D'E'$, соответствующую кривой NaS въ фиг. 1. Индуктированный токъ, котораго измѣненія силы въ продолженіе полуперіода изображаются этою кривою, возбуждаетъ, какъ намъ извѣстно, въ ин-

дукторахъ второстепенный магнетизмъ, котораго сила въ различныхъ положеніяхъ ихъ, можетъ быть изображена тою же самою кривою $A'B'C'D'E'$ (сравни выше стр. 36). Слѣдовательно полный магнетизмъ индукторовъ для каждой точки получится, слагая алгебраически ординаты двухъ кривыхъ $ABCDE$ и $A'B'C'D'E'$ — и такимъ образомъ получится кривая $A\alpha\beta\gamma\delta E$, изображающая дѣйствительное измѣненіе магнетизма. Изъ этой кривой мы могли бы построить кривую линію, показывающую дѣйствительное измѣненіе силы индуктированнаго тока въ продолженіе полуперіода движенія машины (для этого, на томъ же основаніи, какъ и прежде, мы должны принять ординаты последней, искомой кривой, пропорціональными разностямъ соответственныхъ смежныхъ ординатъ первой кривой) и такимъ образомъ построенная кривая по виду своему должна бы быть согласна съ кривою $ABCDE$ (фиг. 3), если только основаніе нашихъ выводовъ вѣрно т. е. если кривая $ABCDE$ (фиг. 4), выведенная Г. Ленцомъ изъ опытовъ, можетъ быть примѣнена къ машинѣ Штерера. Однакожъ Г. Ленцъ, для удостовѣренія въ этомъ, поступилъ другимъ образомъ, въ сущности собственно совершенно тождественнымъ: онъ изъ ординатъ индукціонной кривой линіи $ABCDE$ (фиг. 3) построилъ магнитную кривую, которую и сравнивалъ съ линіею $A\beta\gamma\delta E$ (фиг. 4). Въ общемъ характерѣ эти кривыя оказались совершенно сходными, только теоретически выведенная кривая представляетъ двѣ симметрически расположенныя части, чего не замѣчается въ кривой, выведенной изъ фиг. 3. Хотя Г. Ленцъ и не объясняетъ причину такого отклоненія, однакожъ, вѣроятно, оно заключается въ томъ, что кривая первоначальнаго магнетизма, выведенная имъ изъ опытовъ, не совершенно можетъ быть приложена къ машинѣ Штерера.

Этими результатами Г. Ленцъ оканчиваетъ свою послѣднюю записку. Изъ разсмотрѣнія самыхъ опытовъ мы видѣли, что результаты эти должны быть принимаемы только для машины Штерера и только для токовъ слабыхъ. Что для всякой магнито-электрической машины другаго устройства, на-прим. Кларка, или даже для другаго экземпляра машины Штерера измѣненія магнетизма и силы индуктированнаго тока въ различныхъ фазахъ вращенія могутъ быть различны, кривыя могутъ

имѣть другой видъ — въ этомъ не лѣзя сомнѣваться. Что же касается вліянія силы тока, то только одни опыты могутъ показать, останутся ли выведенныя кривыя тѣми же самыми и для сильныхъ токовъ или видъ ихъ измѣнится.

Г. *Ленцъ* общаетъ продолженіе своего труда, столь драгоценнаго для теоріи магнито-электрическихъ машинъ, и именно въ слѣдующей запискѣ онъ намѣренъ изслѣдовать послѣднее упомянутое нами обстоятельство. Эти изслѣдованія мы не замедлимъ, въ свое время, представить нашимъ читателямъ.

Экстраорд. Проф. Казанскаго Унив.

А. САННЬЕРЪ.

