

ДАР 3-2
СТОЛЯРОВАЯ Е. Л.

В. ЗИБЕР

КАБИНЕТ
МЕТОДИКИ ФИЗИКИ
ЦЕДФАКА
№ 174

ЗАГАДКИ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

105 СПОРОВ В КРУЖКЕ
«ЛЮБИТЕЛЕЙ ФИЗИКИ»

С предисловием проф. А. В. ЦИНГЕРА

РИСУНКИ Ю. Д. СКАЛДИНА

*физика
электричество
29*



ПРЕДИСЛОВИЕ.

Я с величайшей готовностью принял любезное предложение Издательства написать несколько строк предисловия к этой книге; но я должен заранее просить извинения и у Издательства, и у читателей за то, что, пожалуй, совсем не сумею с подобающим беспристрастием дать оценку этого нового труда В. А. Зибера. Автор, уже знакомый мне по маленькой книжке I-го выпуска „Живых Задач“, этими драгоценными находками среди своих „методических исканий“ давно подкупил меня в свою пользу. „Загадки электричества“ еще более очаровали меня ярким воплощением многих из тех заветных педагогических мечтаний, которые увлекали меня в годы преподавательской работы.

Живые картинки „Загадок“ воскресили во мне воспоминания о самых отрадных, самых плодотворных моментах общения с юными учениками. Перечитывая эти странички, я вновь чувствовал себя среди оживленных юнцов, не тех „лучших“ учеников, которые без колебаний и сомнений аккуратно складывали в свои головы какие угодно школьные премудрости, а тех беспокойных зеленых голов, которые скептически критиковали самые прочные истины, которые задавали сотни наполовину нелепых вопросов и сочиняли десятки совершенно нелепых, фантастических проектов.

Автор с чуткостью истинного педагога и мастерством, можно сказать, художника очерчивает картину исканий и блужданий учеников, старающихся переварить первые порции научных знаний.

Кому из учителей физики не знакомы: и электрическая мухоловка, и проект наэлектризовать Землю, чтобы уничтожить тяготение, и „удачные“ опыты с электролизом, оказавшимся простым кипением воды, и т. п., и т. п.? Но ведь именно из такого — и только из такого — сумбура выкристаллизовываются отчетливые контуры основ физики; помимо таких блужданий на первых шагах самостоятельной мысли нет дорог к правильным научным перспективам.

Автор тысячу раз прав, исходя от густого тумана отрывочных, поверхностных знаний, этих обычных даров школьных курсов и популярных книжек, и еще более прав, указывая путь, выводящий к свету. Каждый эпизод, каждая страница убедительно и увлекательно внушают юному читателю, что единой истинной основой ясного, плодотворного понимания физики является опыт, эксперимент, что для того, чтобы освоиться с наукой, родившейся и развивающейся в премудрых научных лабораториях у ученых специалистов, надо прежде всего взяться за эксперимент самому. Пусть этот собственный эксперимент будет как угодно примитивен и груб, пусть он повторяет давно известное, тысячи раз перепробованное, или пусть он будет нелепой, неосуществимой затеей; все равно — всякий собственный эксперимент даст нечто ценное, неприобретаемое никакими другими способами, нечто такое, без чего остается чужд самый дух опытной науки.

Два слова о внешней форме изложения. Описание удач и неудач юных экспериментаторов, разнохарактерные реплики при их горячих дебатах, все это изложено настолько жизненно и увлекательно, что напряженное внимание читателя ни на минуту не ослабевает. Встречающиеся изредка шутки, анекдоты, забавные цитаты не развлекают, а, наоборот, сильнее привлекают внимание к сути вопроса.

Эта книга не есть, конечно, учебник; но дайте ее ученикам, прошедшим азбуку школьной физики, она

заразит их живым интересом и научит очень многому, чему не научат самые обстоятельные учебники.

Эта книга не есть методический очерк; но дышащие жизнью картинки коллективных исканий юных любителей физики лучше всяких теоретических обоснований и логических доводов пропагандируют совершенно определенный метод обучения.

Этот метод есть одна из удачнейших, одна из самых жизненных разновидностей эвристического, или, как теперь чаще говорится, исследовательского метода. О принципиальной рациональности и исключительной плодотворности такого метода говорить излишне: это слишком очевидно. Можно, пожалуй, лишь подчеркнуть повышенную продуктивность коллективной, кружковой работы.

Указывать и перебирать отдельные, особенно удавшиеся автору моменты было бы слишком долго; гораздо легче указать то небольшое, что вызывает сомнения, и что, вероятно войдет в педагогический обиход лишь при некоторых коррективах.

Описываемый кружок юных физиков собирается в квартире одного из сочленов, что дает повод к задаче изобретения секретного электрического замка. Но почему же кружок не собирается просто в школе? Нормально поставленная школа должна давать и приют и средства для экспериментов такому кружку, нисколько не стесняя его инициативы и никоим образом не понижая живого интереса юных исследователей. Затем, почему в дебатах не выступает преподаватель-физик? Мне думается, что при нормальных взаимоотношениях учителя и учеников учитель должен быть, конечно, лучше не председателем, но частым гостем кружка, выступающим в качестве оппонента, а иногда и докладчика.

Говорю это потому, что уж очень бы хотелось такую живую, бодрую, дружную работу видеть в школьных стенах, а не только у заговорщиков-гугенотов, собирающихся за секретным замком.

Горячо рекомендуя эту книгу всем учащим и учащимся, я повторяю, что не могу считать себя беспристрастным критиком: может быть, многое представляется мне прекрасным только благодаря совпадениям с моими субъективными взглядами, с моими личными вкусами. Думаю, впрочем, что настоящая оценка этой книги вообще — не наше, преподавательское дело. Самую верную оценку она найдет в кружках юных физиков, подобных тому, который описан В. А. Зибером.

Было бы недоразумением, если бы такой кружок стал систематически штудировать „Загадки“, проделывая все то — и только то, — что в них описано; но если книга будет взята лишь за образец, если, уловив ее дух и смысл, кружок будет искать в ней руководителя и советчика при решении своих собственных задач и вопросов, для выяснения своих собственных недоумений, то книга блестяще выполнит свое назначение, и в дебатах юных физиков будет часто звучать заслуженные ею похвалы.

А. Цингер.

Лихтерфельдэ.
Декабрь 1925 г.

ОТ АВТОРА.

Если эта книга попадет в руки педагога или специалиста-физика, то, возможно, их неприятно удивит вольность изложения, которую иногда допускает в ней автор.

Есть много книг, написанных на всех языках, которые стремятся разъяснить читателю научные вопросы в доступной его пониманию форме. Одни пытаются всесторонне осветить вопрос, не отступить ни на шаг от „истины“, но в результате, несмотря на прекрасный, образный язык, сложность картины часто оказывается не по плечу малоподготовленному читателю. Другие рискуют коснуться вопроса лишь с какой-нибудь одной определенной точки зрения. Они ставят и решают его в одной лишь плоскости, в одном разрезе. Понятно, они не могут вскрыть всей его сущности, но иногда результаты подобной обработки вопроса оказываются более ощутительными.

Автор настоящей книги избрал второй путь.

Физику-педагогу, не разделяющему основной идеи автора, быть может, все же удастся использовать кое-какой новый опытный материал, имеющийся в этой книге.

Следует подчеркнуть, что при подборе материала, автор вообще не считался ни с программными, ни с методическими требованиями. Автор видел перед собой учащихся и только учащихся. Он исходил из их запросов, сомнений и интересов.

Это книга учащихся.

Однако, это не учебник и не задачник по электричеству.

Это очерк разработки многих вопросов электричества любителями этого отдела физики, объединившимися в кружок для совместной работы.

Задачи-вопросы, задачи-работы, помещенные в этой книге, касаются лишь некоторых * основных вопросов элементарного курса электричества.

Следует крепко порекомендовать не читать этих задач вразбивку, чтобы все вопросы и их решения были вполне ясны. Если бы читатель, прежде чем заглянуть в решение, проделал сам соответствующий опыт, то, вероятно, эта книжка была бы прочтена с большей пользой.

При чтении этой книги не бесполезно иметь под рукой какой-нибудь учебник физики.

Заканчивая предисловие, я хотел бы выразить признательность тем лицам, чья помощь дала мне возможность осуществить свой замысел выпуском в свет моей книги в настоящем ее виде.

Приношу глубокую благодарность профессору А. В. Цингеру за ряд указаний и полную доброжелательности критику, которая всегда так необходима автору.

Искренне благодарю О. А. Вольберга за его совершенно особую редакционно-творческую работу над книгой и за дружескую помощь в области технической, а также Ю. Д. Скалдина, тонкое мастерство которого сообщило книге художественную ценность.

Считаю необходимым отметить с чувством большой признательности наличие необыкновенно бережного отношения к внешности книги со стороны издательства, что так трудно и так редко в условиях настоящего времени.

В. Зибер.

* Дальнейшие работы будут изложены в следующих книгах.

Первые шаги.

Несколько лет тому назад среди некоторых учащихся и просто любителей физики возникла мысль о самостоятельной разработке вопросов этой интереснейшей области знания.

Был организован кружок „Любителей физики“.

В нашем кружке часто возникали горячие споры на самые различные темы из области физики. Не было особого порядка в этих вопросах.

Однако, как-то возник у нас памятный нам диспут, который помимо нашей воли направил беседы в русло некоторой системы. Мы сами не заметили, как за 6 месяцев повторили, да еще с каким удовольствием, чуть ли не весь основной курс электричества. Наша яростная дискуссия началась с того, что кто-то из товарищей сказал:

— Это же, наконец, невыносимо... Вы твердите, как попугаи: все тела электризуются от трения, — а скажи я вам вот сейчас, наэлектризуйте мне хоть какой-нибудь предмет, находящийся в нашей комнате, вы этого не сможете сделать, и сейчас же станете пространно и непонятно объяснять, почему все имеющиеся у нас предметы „вообще говоря электризуются, но в нашей обстановке произвести такой опыт невозможно“. Невозможно, так и не распинайтесь о всеобщей электризации.

После этого выпада наш председатель пододвинул к себе свечку и сказал:

— А я, милый мой, не понимаю, чего ты на нас накинул. Ты и сам прекрасно знаешь, что каждое тело, потертое обо что-нибудь, электризуется. Но одно электризуется сильно, другое — слабее, третье — так слабо, что грубыми способами обнаружить на нем присутствие электрического заряда совершенно

невозможно. Неужели тебе мало было всех наших опытов? Стекло натирали о кожу — оно электризовалось; эбонитовую палку о сукно — она также электризовалась. А газету разве мы не натирали? Наконец, даже друг друга мы электризовали — бил же ты меня по спине своей меховой шапкой, и от этого к моему пальцу притягивались маленькие кусочки бумаги?!

— Эх, — возразил наш спорщик, — это я очень хорошо сам знаю, но пойми же, что все эти опыты требуют специальных приспособлений и материалов, а я говорю, что если убеждать других в том, что *все* тела электризуются от трения, так надобно воспользоваться таким предметом, который имеется в домашнем обиходе, и для электризации которого не нужен целый ряд ухищрений. Мы натирали стекло кожей, но кожа то была покрыта *амальгамой**. Натирали эбонитовую палку, но в каком же доме есть такие палки? Мы наэлектризовывали газету, но ты вероятно забыл, что мы для этого ждали целую неделю сухого дня и в конце концов вынуждены были затопить печку для того, чтобы высушить и нагреть газетный лист. Мало того, когда в комнату набралось к нам человек десять насладиться зрелищем электризации „нашей прессы“, как ты выразился тогда, то эта самая „пресса“, при самом яростном натирании ее щетками, дала в первый момент кое-какой результат, а затем от дыхания присутствующих отсырела и устроила „массовую забастовку“. Ну, а последний опыт — опыт замечательный. И люди везде найдутся, и меховую шапку достать можно, но ведь для того, чтобы можно было тебя наэлектризовать, ты должен был встать на изолированную скамейку, иначе электричество из тебя ушло бы в пол, а из него по стенам дома в землю. Может быть, ты скажешь, что и изолирующую скамейку можно достать в каждом доме?

— Ты сегодня непримирим, — сказал наш председатель. — Но только ты все-таки не прав. Начнем по порядку: кожу вовсе не обязательно амальгамировать — амальгаму употребляют для усиления электризации. Ты говоришь, что эбонита

* Для покрывания кожи употребляется чаще всего оловянно-цинковая амальгама, т.-е. сплав олова и цинка с ртутью. Амальгамой вообще называют раствор металла в ртути.

сейчас не найдешь нигде, кроме как в физическом кабинете; это, конечно, не так; но кто же тебе мешает заменить эбонит ну, хотя бы, например, сургучом или целлулоидом? Что касается опытов с газетным листом и с электризацией человека, то со своей точки зрения ты, пожалуй, и прав, но...

Спорщик перебил председателя:

— Я тебя не спрашивал, прав я или нет. Ты мне подай немедленно электризацию. Вот о чем я тебя прошу.

— Ну, что ж, и дам, — сказал председатель. — Только и на этот раз по нашим правилам дам — как задачу тебе же.

Задача № 1.

О свечке и кусочках газеты.

— Докажи с помощью вот этой свечки, — сказал председатель, — что она может быть наэлектризована. Вот тебе еще кусочек газеты.

— Для меня ясно, — сказал наш неукротимый товарищ, — что ты предлагаешь кусок газеты только для того, чтобы использовать его в качестве тела, притягивающегося к свечке. Но скажи, пожалуйста, как же я могу наэлектризовать ее, если ты ничего не даешь мне для того, чтобы ее натереть.

— Потому не даю, — сказал председатель, — что у тебя есть то, чем можно натереть свечку. И у меня есть, и у всех наших товарищей есть, да и вообще у всех людей, за очень малым исключением. Ну, решай задачу; больше ничего не скажу.

Достаточно стеариновой свечкой два-три раза провести по волосам или потереть ее о суконную одежду для того, чтобы она наэлектризовалась. Обнаружить заряд на свечке можно самыми разнообразными приемами. Всякое наэлектризованное тело обладает свойством притягивать весьма легкие тела. Конечно, если электрический заряд очень слаб, нам, может быть, не удастся его обнаружить грубыми способами, но более совершенные приборы (например, электроскоп, см. зад. № 19) дадут возможность установить электризацию тела.

Нарвем несколько мелких кусочков газеты, поднесем к ним наэлектризованный конец свечки, — они тотчас притянутся.

— Погодите-ка, — сказал один из присутствующих, — я хочу предложить еще одну задачу. Конечно, мы сейчас очень хорошо знаем, что непроводников (изоляторов) электричества, строго говоря, не существует. Все тела — и шелк, и стекло, и фарфор, и прочие так называемые изоляторы, — в большей или меньшей степени проводят через себя электричество. Однако, это количество электричества столь незначительно, что для практических целей вполне возможно пренебречь проводимостью изоляторов. Я хочу сказать, товарищи, что мы продолжаем делить все тела на проводники электричества — металлы, растворы солей, кислот, щелочей — и непроводники — смолы, масла и проч.. Говорю же я все это для того, чтобы вы не придрались к моей

Задаче № 2.

Все о той же свечке.

Как, не делая никакого опыта, кроме предложенного в задаче № 1, можно доказать, что стеарин очень хороший изолятор?

Если вы проделали опыт, указанный в задаче № 1, то вероятно обратили внимание, как долго держит заряд стеариновая свеча. Это признак хорошего изолятора. Действительно, стеарин прекрасный изолятор. Это видно уже и из того, что вы, держа свечку за один конец, смогли вообще наэлектризовать другой. Если бы стеарин был проводником, то тогда вы не смогли бы удержать на нем заряд, так как электричество через вашу руку ушло бы в землю.

— Ну, эта задача простая, — сказал кто-то из нас, — а вот на мою долю нынешним летом выпала такая, что я ее и до сих пор разрешить не могу. Стал я рассказывать одному старику в деревне, что молния это, мол, электрический разряд — „скачок, — говорю ему, — электричества из тучи в землю“. Рассказал ему все, что знал. „Чем ближе, — говорю ему, — какой-нибудь

предмет к туче, и чем лучший он проводник, тем вернее в него попадет молния. Поэтому-то, — говорю ему, — молния попадает так часто в колокольни“. Посмотрел он на меня и говорит:

Задача № 3.

Загадка старика.

— Церковь наша стоит уже больше 40 лет, а ни разу в ее крест не попала молния. Однако, паренек, за эти 40 лет гроза спалила в нашем селе одну



Рис. 1. Церковь наша стоит больше 40 лет, а ни разу в ее крест не попала молния

мельницу, два дома, людей побила на пожне, скот, да мне и не упомянуть всего. Чего далеко-то вспоминать, — у меня у самого под Ильин день стог сена сожгло в этом году. Вот тебе и колокольня!

Я сказал ему, что, может быть, церковь стоит в глубокой лощине, а стог сена на горке. Дед только

рассмеялся: „Да ты что, церкви еще нашей не видел, что ли?! Церковь на юру, брат, стоит. Самое высокое место в нашей деревне — камень да песок. А стог-то мой, почитай, что на болотине стоял“. Что было мне отвечать, товарищи? Ведь про колокольню-то я вычитал в книжках, а тут сама жизнь: Скверно было и то, что старик явно намекал, что крест на церкви и „молонья“ не тронет. Я уж не рад был, что и начал этот разговор.

— Да, да, — сказал другой из нас, — я сам был свидетелем подобного случая.

Задача № 4.

О двух деревьях.

Жил я на высоком берегу Оби недалеко от Бийска. Этот берег вблизи моего дома образовывал глубокую балку, на дне которой бежал родник. Прямо против моих окон росло два дерева: наверху сосна, внизу высокая осина. Во время грозы молния попала в осину и сильно расщепила и изуродовала ее, а сосна, которая своей вершиной поднималась много выше, чем осина, осталась нетронутой. Видите, товарищи, вот и еще такой же случай.

Эти две задачи сильно заинтересовали нас. Особенно потому, что мы в первый момент не знали даже, как приняться за их решение.

Удары молнии бывают весьма разнообразны и прихотливы. Часто выяснить причины попадания молнии именно в данное место совершенно не представляется возможным за неимением точных подробных сведений обо всех условиях окружающей обстановки, которые были в момент удара. Вопрос о молнии не раз обсуждался в нашем кружке, и читатель еще получит сведения об атмосферном электричестве. Однако, вопрос, поставленный в данной задаче, может быть разрешен довольно

простыми соображениями. Туча стремится передать свой заряд в землю. Так как воздух представляет собой весьма дурной проводник, то заряд тучи при сильном скоплении электричества пробивает его в виде огромной искры, которую мы и называем молнией. Очевидно, подобный разряд избирает путь, обладающий наименьшим сопротивлением прохождению электричества. Сопротивление самого воздуха далеко не везде одинаково. Оно зависит от большего или меньшего скопления паров воды, самой воды в виде мельчайших капелек, пыли и т. д. Поэтому путь молнии крайне редко бывает прямым. Если мы воткнем вертикально в землю длинный деревянный шест, и он во время грозы будет смочен дождем, то получим проводник значительно лучший, чем воздух. Чем выше будет такой шест, тем вернее удар молнии будет направлен в него. Огромное значение в вопросе о месте удара молнии играет и свойство поверхности самой земли. Толстый пласт совершенно сухого песка или глины представляет из себя очень хороший изолятор. Наоборот, влажная черноземная полоса — хороший проводник.

Таким образом, интересующий нас вопрос разрешается просто. Церковь стояла на горе из песка и камня. Поэтому, если даже допустить, что сама церковь от вершины креста до фундамента и представляла собой удовлетворительный или даже хороший проводник, все же она не могла дать для молнии путь в землю, лишенный большого сопротивления, так как под церковью находился пласт изолятора. Наоборот, стог сена, хотя и находился ниже церкви, стоял, по выражению крестьянина, „на болотине“. Прекрасная проводимость земли и проводимость сена, смоченного грозovým дождем, могли легко создать такие условия, при которых путь молнии в землю через стог отличался меньшим сопротивлением, чем через церковь.

Вопрос последней задачи вы легко решите самостоятельно на основании тех же соображений, которыми мы руководились в предыдущей. Следует заметить, что здесь примешивается и еще одно обстоятельство: лиственные деревья при прочих равных условиях обладают лучшей проводимостью, чем хвойные.

Может быть, вы сможете указать на одну из причин подобного свойства листовых деревьев?

На следующий день, когда задачи были решены, наш спорщик поделился с нами еще одним недоумением.

— Я потер свечку куском сукна, — свечка наэлектризовалась, так как к ней притягивались кусочки бумаги. Для меня было очевидно, что если справедливо правило, что все тела электризуются при трении о какое угодно другое тело, лишь бы оно не было с ним одинакового материала, то и суконка должна наэлектризоваться. Однако, мои опыты привели к следующему.

Задача № 5.

О неэлектризующемся сукне.

Натирая сукно о свечку, я подносил его не только к кусочкам бумаги, но даже к концу подвешенной швейной нитки и не мог обнаружить ни малейших следов электричества. Может быть, на сукне появляется от трения о свечку заряд гораздо более слабый, чем на свечке, который можно обнаружить только очень чувствительными приборами?

Эту задачу мы решили моментально.

Все тела от трения электризуются в большей или меньшей степени. Отсюда ясно, что сукно, благодаря трению о свечку, должно наэлектризоваться. При трении двух тел одного о другое оба электризуются разнородными электричествами. Стеарин свечки, потертой о сукно, электризуется отрицательно, следовательно сукно должно получить положительный заряд*. Наконец, опыт и теория убеждают нас в том, что количество электричества на обоих трущихся телах одинаковое. Поэтому предположение о том, что на сукне получается заряд меньший, чем на свечке, в корне неверно. Весь вопрос разрешается

* Опыты убедили, что электричество бывает только двух родов: одно условно наввали положительным, другое — отрицательным.

очень легко, если мы вспомним, что сукно хотя и очень дурной проводник, но все же проводник электричества. Держа его в руке, мы уводим электричество в землю. Если бы мы прикрепили его к какому-нибудь изолятору, например, ко второй свечке, то мы обнаружили бы на сукне положительный заряд, точно равный отрицательному на свечке.

Мы поставили на вид нашему товарищу, что он, очевидно, плохо усвоил электричество, если предложил нам такую задачу.

— Хорошо, хорошо, — сказал он, — всем известно, что я хуже вас знаю электричество. А я вот вам расскажу о моем изобретении, которое я вчера сделал.

Задача № 6.

Электрическая мухоловка.

Представьте себе, что посреди комнаты подвешен к потолку металлический шар, который все время сильно заряжается электричеством. Вы знаете, мухи всегда вьются вокруг висящей лампы; ясно, что они будут виться и вокруг шара. Благодаря тому, что он наэлектризован, они с силой притянутся к нему, а слететь с него не смогут. Повисят, повисят и подохнут.

Дружным смехом встретили мы этот оригинальный проект.

— Ты сегодня отличаешься, — заговорили мы. — Твои мухи не только не прилипнут к шару, а если бы даже они хотели остаться на его поверхности, так их сбрасывало бы с нее. Шар притянет муху, это верно, но как только муха коснется шара, она сама зарядится его электричеством. А ты очень хорошо должен был бы знать, что одноименные заряды электричества отталкиваются. Вот если бы ты как-нибудь ухитрился зарядить муху, скажем, отрицательно, то тогда, конечно, муха притягивалась бы к шару до тех пор, пока на ней и на шаре были бы разнородные электричества. Но как бы ты это осуществил практически? Ведь муха неизбежно коснется шара, и тогда могут произойти три вещи. Если на шаре электричества было

столько же, как и на мухе, то эти два разноименные и равные количества электричества взаимно нейтрализуются: вся сила одного и другого взаимно уничтожится. Тогда твоя муха просто свалится на пол. Если на шаре заряд больший, нежели на мухе, то та его часть, которая равна заряду мухи, нейтрализует его. Остальное электричество, распространившись по всему шару и частично перейдя на муху, оттолкнет ее от шара. Тоже произойдет, если заряд мухи будет больше заряда шара.

Предлагаемая изобретателем мухоловка теоретически неосуществима. Однако, если бы мы покрыли металлический шар слоем непроводника, например, шелаком, то, очевидно, тогда заряд шара не смог бы перейти на муху, и она все время находилась бы под действием силы притяжения. Практически такая мухоловка, конечно, настолько неудобна и дорога (ведь для электризации шара нужен специальный прибор, который заряжал бы его), что ни одному человеку не придет в голову использовать ее для ловли мух.

— Посмотрим, — сказал изобретатель мухоловки, — кто на этот раз выйдет победителем. Я сам знаю, что одноименные заряды электричества отталкиваются, а разноименные притягиваются. Вы мне сейчас дайте ответ вот на что: если какие-нибудь тела, скажем, ниточки, кусочки бумаги, соломинки, и проч., будут притягиваться к наэлектризованному телу, то после прикосновения они должны оттолкнуться или нет?

— Понятно, должны, — сказал председатель, — погляди в любой книжке.

— В книжке я не стану смотреть, а вот вы полюбуйтесь лучше на мой опыт. Вот я натер свечку о мои волосы, натер сургуч о сукно. Теперь я нарву кусочки бумаги. Смотрите!

Задача № 7.

О кусочках бумаги, подрывающих законы электричества.

Если поднести наэлектризованную свечку или палочку сургуча к кусочкам бумаги, то эти кусочки притягиваются к ним, но, против ожидания, не

отталкиваются после касания, а продолжают неопределенно долго держаться на их поверхности. Почему же это происходит?

Мы были ошеломлены этим опытом. Несомненно, на этот раз победил наш товарищ. Однако, в чем же тут дело? Ведь наши рассуждения были, несомненно, верны, и опыт, указанный в задаче № 7, также не вызвал ни малейших подозрений.

Эту задачу мы никак не могли разрешить. Когда у нас накопилось достаточно опыта и знаний, мы, наконец, поняли загадочную причину странного поведения бумажек. Читатель в свое время также узнает о ней из этой книги.

Решено было на время отложить решение этой задачи и предварительно выяснить справедливость основных законов взаимодействия электричества. Один из нас тут же предложил на эту тему

Задачу № 8.

Опять о свечке.

— Вот, товарищи, я кладу на стол свечку и катушку ниток. Докажите, что одноименные электричества отталкиваются.

— Погодите-ка решать, — сказал второй член кружка, — я вам сразу же и вторую задачу дам.

Задача № 9.

О ламповом стекле.

Кроме свечки и катушки ниток возьмите еще ламповое стекло и кусочек кожи и докажите, что разноименные электричества притягиваются.

Мы пытались решить первую задачу таким образом: подшивали рядом две швейные нитки и затем наэлектризовывали их свечкой. Очевидно, что обе нитки в этом случае должны

были наэлектризоваться одноименно (отрицательно) и, следовательно, оттолкнуться друг от друга. Однако, опыт разочаровал нас. Обе нитки, притянувшись к свечке, не желали отставать от нее, и мы поняли, что и в данном случае мы натолкнулись на то загадочное явление, о котором говорилось в задаче № 7. Отсюда мы могли сделать только один вывод: либо мы решали эту задачу неверным путем, либо наш товарищ, предложивший нам ее, дал невыполнимую задачу. Кто-то из нас даже сказал, что он мог бы решить эту задачу и иначе, если бы было дано две свечки.

— Одну я бы повесил на нитке, укрепив ее за середину так, чтобы свеча была в горизонтальном положении. Затем я наэлектризовал бы один конец этой свечки и конец второй. Вторую свечку стал бы приближать к наэлектризованному концу подвешенной. Так как обе свечки были бы наэлектризованы одинаковым электричеством, то конец подвешенной свечи должен был бы оттолкнуться.

Эта мысль подсказала нам решение задачи. Кто же мешал нам из одной свечи сделать две? Мы разломили нашу свечку пополам и убедились, наконец, что одноименные заряды, — во всяком случае, отрицательные, — отталкиваются.

После решения этой задачи вторая показалась нам совсем простой. Натерев ламповое стекло о кожу, мы получили на нем заряд положительного электричества. Поднося его к подвешенной свечке (предварительно наэлектризованной), мы обнаружили притяжение ее конца к ламповому стеклу. Притяжение разноименных электричеств было доказано. Эти опыты мы очень разнообразили: подвешивали вместо свечки ламповое стекло, и даже, против условия этой задачи, брали второе стекло и таким образом убедились, что и между положительными зарядами существует отталкивание. Вопрос о взаимодействии электричеств был выяснен.

— Товарищи, — сказал я, — сегодня и я могу порадовать вас моим открытием, хотя оно и не опытного характера. Слышали ли вы когда-нибудь о том, как во Франции в средние века было открыто электричество?

— Нет, — заявили мои товарищи.

— Слушайте же!

Задача № 10.

Как французский ученый сошел с ума.

Дело происходило в Париже. Не знаю уж, какой это был век, но тогда все носили длинные чулки и короткие штаны. Один французский ученый был спешно приглашен по какому-то делу к французскому королю. Являться ко двору надлежало в белых шел-



Рис. 2. Руками он проделывал совершенно непонятные манипуляции с черным и белым чулком.

ковых чулках, а на ученом были шелковые черные. Негодуя на то, что его оторвали от работы, и не желая тратить время на переодевание, ученый стал натягивать белый чулок на черный. Чулки натяги-

вались с большим трудом. Впопыхах ученый натянул чулок пяткой вверх. Рассерженный, он стал стаскивать белый чулок с черного, но, к своему удивлению, никак не мог этого сделать: один чулок как-будто прилип к другому. Окончательно рассвирепевший, он рванул его изо всех сил вниз и стянул со своей ноги оба чулка разом. Придя в бешенство, он кинул их об стену. Чулки прилипли к стене и не упали на пол. Вся досада мигом была забыта, и ученый, пораженный необыкновенным поведением чулок, забыв о королевском приказании, принялся исследовать это необыкновенное явление. Когда через час прибыли посланные короля вторично с тем, чтобы передать, что король гневается, они были повергнуты в величайшее недоумение той картиной, которая представлялась их глазам. Ученый сидел в кресле. Одна нога его была в черном чулке, другая босая. Руками он проделывал совершенно непонятные манипуляции с черным и белым чулком: он то тер их друг о друга, то продевал один в другой. Посланные донесли своему повелителю, что ученый сошел с ума. А счастливый ученый так и не поехал во дворец.

Вот и весь рассказ. В нем я тотчас же подметил нелепость. Мы же знаем, что электризуются от трения только два разнородных тела, а в данном рассказе электризуются два шелковых чулка. Очевидно, что это невозможно.

Можете себе представить мое изумление, когда наш председатель доказал мне, что я неправ.

— Понятно, что шелк, потертый о шелк, не должен электризоваться, — сказал председатель, — но ты ведь сам говорил, что главное условие для того, чтобы два тела при трении друг о друга не наэлектризовались, заключается не в том, чтобы оба тела были из одинакового материала, а в том, чтобы они были совершенно однородны (главное, их трущиеся поверхности). Возьми, например, стекло. Пусть у нас будут два куска одного и того же сорта, но если поверхность одного

исцарапать шкуркой* и затем потереть их друг о друга, то они наэлектризуются. Для того, чтобы получить электризацию двух тел из одинакового материала, достаточно одно из них нагреть или сжать. У нагретого тела поверхность будет менее плотной, чем у ненагретого; у сжатого, наоборот, более плотной. Этого достаточно для того, чтобы поверхности этих двух тел не были однородны. Белый шелк — это чистый шелк. Черный — это шелк крашенный. Этого достаточно для того, чтобы при трении их один о другой они наэлектризовались. Так что, видишь, ты неправ, и никакого открытия не сделал. А вот я, выслушав твою легенду об открытии электричества, кажется, смогу предложить вам всем на разрешение

Задачу № 11.

О задаче десятой.

Подумайте о задаче № 10. Нет ли в ней такого явления, которое, действительно, было бы совершенно невысказано с точки зрения нашей, людей, изучающих электричество?

В рассказе говорится, что оба чулка, брошенные в стену, прилипли к ней, т.-е. обнаружили силу притяжения электричества. Но один чулок был вложен в другой, следовательно оба разноименных заряда на черном и белом чулке были взаимно нейтрализованы. Таким образом, никакой внешней силы такая пара чулок проявить не могла. Силы притяжения положительного и отрицательного электричества были направлены друг на друга. Один чулок притягивал другой, но вместе они не могли притянуться к стене. Если бы ученый вытащил черный чулок из белого, то тогда каждый из них отдельно обладал бы всеми свойствами наэлектризованного тела.

Когда мы, наконец, догадались, в чем заключалась ошибка в моем рассказе, кто-то сказал, что было бы очень интересно

* Шлифовальная бумага.

узнать, достаточной ли силой обладает заряд чулка для того, чтобы удержать чулок на стене.

— Вообще, интересно бы знать, с какой силой притягиваются или отталкиваются два заряда.

— Это не трудно, — заявил самый знающий из нас. — Вспомните закон Кулона *:

$$f = \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

Сила взаимодействия f двух электрических зарядов q_1 и q_2 прямо пропорциональна произведению количества электричества этих зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними r^2 .

Зная количество электричества этих зарядов и расстояние между ними, вы легко найдете величину силы их отталкивания или притяжения.

Необходимо напомнить, что формула Кулона может быть написана в указанном виде $f = \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$ только при условии, если мы измеряем все величины в соответствующих единицах: силу в динах **, расстояние в сантиметрах и количество электричества в электростатических единицах. За электростатическую единицу количества электричества принимают такой заряд, который отталкивает равный себе одноименный заряд, находящийся на расстоянии 1 см, с силой, равной 1 дине.

— Вот кстати, — сказал самый придирчивый из нас, — мне никогда не было ясно, почему сила взаимодействия убывает пропорционально *квадрату* расстояния? Расстояние увеличилось вдвое и сила должна уменьшиться вдвое, а по формуле вчетверо. Непонятно!

Этот вопрос остался без ответа, и мы решили поставить его для всех членов кружка, как

* Выяснить силу притяжения чулка к стене на основании закона Кулона нельзя, так как этот закон имеет в виду лишь простейший случай взаимодействия двух зарядов; например: взаимодействие двух наэлектризованных шаров. Заряды же чулок распределены слоем значительной площади и требуют сложных формул для вычисления.

** 1 дина равна силе, которая 1 г массы сообщает ускорение 1 см в 1 сек.; 1 г = 980 динам.

Задачу № 12.

О непонятной пропорциональности.

Как уяснить себе, что сила взаимодействия двух электрических зарядов изменяется обратно пропорционально *квадрату* расстояния между ними?

— Вы, конечно, помните, товарищи, — сказал председатель, — что все пространство вокруг заряда, в котором мы обнаруживаем присутствие его электрических сил, называют электрическим полем. Это поле все сплошь пронизано электрическими силами, постепенно убывающими по мере удаления от заряда. Если мы наэлектризуем маленький шарик и будем исследовать электрическую силу вокруг него, то заметим, что все точки одинаковой силы расположатся на поверхности шара, в центре которого будет находиться наш шарик. Поверхность шара, ближайшая к заряду, будет сама малая, но на ней силы будут иметь наибольшую величину. По мере удаления поверхностей таких шаров от заряда радиусы их начнут делаться все больше и больше, а электрические силы будут ослабевать.

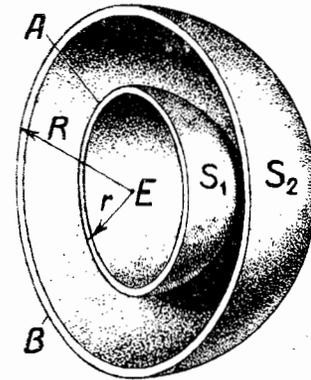


Рис. 3. Два концентрических шара, в центре которых находится электрический заряд.

— Представьте себе, товарищи, два концентрических шара, в центре которых находится электрический заряд E (рис. 3). Очевидно, что на поверхность меньшего шара A будет действовать вся сила центрального заряда, так как заряд будет замкнут со всех сторон этой поверхностью. То же самое мы можем сказать и о втором шаре B , конечно, в том случае, если убрать шар A . Однако, на каждую единицу поверхности шара B будет действовать меньшая сила заряда, так как поверхность этого шара больше поверхности шара A .

Обозначим силу, действующую на единицу поверхности малого шара, через f_1 , а на единицу поверхности большого — через f_2 . Поверхность малого шара обозначим S_1 , а большого — S_2 . Тогда можно будет написать такую пропорцию

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{S_2}{S_1}$$

Но так как поверхность шара равна $4\pi r^2$, то, приняв радиус малого шара за r , а большого за R , и подставив новые выражения в нашу пропорцию, получим:

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{4\pi R^2}{4\pi r^2} \text{ или } \frac{f_1}{f_2} = \frac{R^2}{r^2}$$

Но так как r и R это есть расстояние от электрического заряда до места действия его сил, то очевидно мы и получим искомый нами вывод: сила действия электрического заряда убывает пропорционально квадрату расстояния, а не первой степени.

Выкладки нашего председателя подверглись жестокой критике. Выдвинулась новая

Задача № 13.

О действии заряда на ненаэлектризованное тело.

Формула Кулона определенно говорит: сила электрического заряда убывает пропорционально квадрату расстояния тогда, когда существует еще и второй заряд, действующий на первый. В рассуждениях же председателя получается та же самая зависимость, когда заряд действует на *ненаэлектризованное* тело, например, на поверхность шара. Очевидно, либо одно, либо другое не верно.

Решить этот вопрос мы не смогли. Он был особенно труден, так как для нас было очевидно, что и то и другое доказательство, и те и другие соображения правильны, а вместе с тем приводят к противоречиям. Мы почувствовали, что эти противоречия происходят от того, что мы еще или не знаем,

или забыли о каких-то новых свойствах электричества. Затруднения рассеял неожиданно наш товарищ, который сказал:

— Я догадался, в чем дело, но только мне хочется навести вас на мысль придуманной мною

Задачей № 14.

О стеклянной и медной палке.

Можно ли на концах стеклянной и медной палки получить одновременно два разноименных заряда?

Вопрос о стеклянной палке мы решили немедленно. Мы вспомнили, что одно и то же тело при трении его о другие тела далеко не всегда получает заряд одного и того же знака. Стекло, потертое об амальгамированную кожу, как уже говорилось, электризуется положительно. Потертое о шелк — также положительно, но потертое о мех — отрицательно. Напомним еще раз, что знак электризации зависит часто от стольких причин (см. зад. № 10), что иногда против ожидания стекло, потертое о мех, может получить положительную электризацию. Подобных сюрпризов можно ожидать при трении любых двух тел, но степень возможности подобных „обратных“ электризаций далеко не у всех тел одинакова. Очень стойкими и наиболее доступными в данном случае являются: особый сорт стекла — флинтглас и амальгамированная кожа для (+) электризации, и эбонит и мех или фланель для (—) электризации. Отсюда между прочим понятно, почему при опытах по электричеству употребляют всегда указанные выше материалы.

Первый вопрос задачи 14 был решен просто. Один конец стеклянной палочки мы натерли мехом, а другой — амальгамированной кожей. Но вопрос о медной палке мы решили только после долгого раздумья. Можно было бы так же натереть один конец медной палки одним телом, а другой — другим, чтобы они получили противоположную электризацию. Но медная палка — проводник, и поэтому разноименные заряды в ней мгновенно нейтрализовались бы. Задача казалась совершенно неразрешимой, если бы, нако-

нец, мы не вспомнили о самом главном, самом важном свойстве электричества.

Вспомнили мы об индукции. Все мы учили, что если к наэлектризованному телу приблизить проводник, то в этом проводнике, благодаря влиянию наэлектризованного тела, образуются заряды разноименных электричеств. На конце проводника, ближайшем к наэлектризованному телу, возбуждается электричество противоположного знака, а на удаленном — одноименного с наэлектризованным телом. Таким образом, второй вопрос задачи можно было решить очень просто: достаточно было наэлектризованную стеклянную палку, натертую об амальгамированную кожу, поднести к медной палке, укрепленной на изоляторе, для того, чтобы на ее ближайшем к стеклянной палке конце возбудилось отрицательное электричество, а на противоположном конце — положительное. Если взять вместо проводника изолятор, то и на нем обнаружатся явления индукции, но в значительно более слабой степени и с одной особенностью, которая заключается в том, что электричество одноименного знака не возбудится на удаленном конце, а лишь в более удаленных слоях самого изолятора. Поверхность изолятора, ближайшая к наэлектризованному телу, будет заряжаться противоположным электричеством, а одноименное появится непосредственно за ним в следующих слоях.

После этого предыдущая задача стала для нас также ясной. Действительно, в каждой точке поверхности малого и большого шара индуцируется электричество противоположного знака. Следовательно мы и в данном случае имеем взаимодействие двух зарядов. Для нас стало также понятно, что и в задаче № 11 чулок мог притянуться к стене и удержаться на ней только потому, что, благодаря индукции, в стене возник заряд противоположный заряду чулка, следовательно, и в данном случае нельзя было говорить о „притяжении стеной заряда чулка“, а опять таки о притяжении, о взаимодействии двух зарядов.

Явление индукции помогло нам решить и задачу № 7. Вопрос, затронутый в этой задаче, вопрос довольно сложный. Не трудный, а именно сложный. Очень много причин могут не дать возможности оттолкнуться бумажке или нитке от наэлектризованной свечи.

Даже классический „бузиновый“ шарик, с которым вам показывали столько опытов по электричеству, и который кстати сказать делается не из бузины, а из сердцевинки подсолнуха, и он может пристать к стеклянной палке и даже будет передвигаться по ее нижней поверхности, если палку держать наклонно. Но против этого вам хочется протестовать. Действительно, в школе вам сколько раз приходилось видеть подобный опыт, и он всегда для того и показывался, чтобы доказать отталкивание шарика. Вы правы. В опыте с бузиновым шариком далеко не всегда удается наблюдать указанное явление. Чаще шарик притянется к палочке и затем резко отскочит от нее. Но если вы были достаточно внимательны, то могли заметить, что и бузиновый шарик иногда отказывается оттолкнуться от палочки.

Если бы вы сами проделали десятки подобных опытов, то заметили бы следующее: бузиновый шарик хуже отталкивается в том случае, если он касается наэлектризованной палочки своей *помятой* стороной. Кусочки бумажки почти всегда не отталкиваются, если они касаются наэлектризованного тела не ребром, а плашмя.

На рис. 4 показаны два шарика — *A* и *B*, касающиеся наэлектризованной поверхности изолятора. Шарик *B* сплюснут. Зададимся таким вопросом: у какого шарика большая поверхность касается наэлектризованного тела? Двух мнений быть не может — конечно, у шарика *B*. Но касается ли шарик *B* наэлектризованного тела всеми точками своей нижней поверхности? Конечно, нет, так как его нижняя поверхность не плоскость. Следовательно, во всех точках, не касающихся поверхности, будет индуцироваться электричество знака противоположного наэлектризованному телу. А так как этих точек гораздо больше, чем тех, которые касаются заряженного тела,

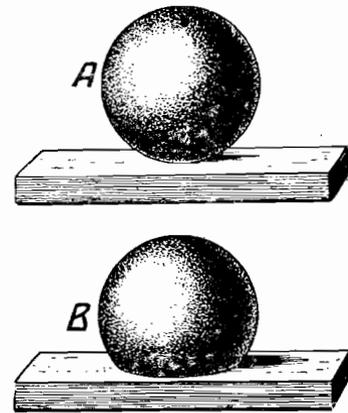


Рис. 4. Два шарика касаются наэлектризованной поверхности изолятора. Что произойдет с каждым из них?

то, очевидно, сила притяжения может превысить силу отталкивания. Однако, на первый взгляд кажется, что все наши рассуждения одинаково применимы и к шарикю *A*. Пожалуй, даже еще в большей степени, так как шарик *A* касается наэлектризованного тела меньшим числом точек своей поверхности. Однако, благодаря правильной форме шарика *A*, точки, не касающиеся наэлектризованной поверхности изолятора, отстоят от нее значительно дальше, нежели у шарика *B*. Таким образом, силы притяжения между шариком *A* и наэлектризованным телом будут значительно меньше, чем у шарика *B*. Не надо забывать, что из формулы Кулона следует, что сила взаимодействия двух зарядов не только зависит от квадрата расстояния между ними, но и от величины самих зарядов. На шарике *A* количество индуцированного электричества будет значительно меньше, чем на *B*, так как точки его поверхности отстоят дальше. Следовательно, сила притяжения будет по сравнению с шариком *B* очень малая, благодаря чему сила отталкивания может взять перевес, и шарик оттолкнется. Совершенно так же разъяснится и вопрос о притяжении бумажек, ниточек и т. д.

Надо заметить еще, что разбираемое явление усугубляется в случае применения бумажек и ниток тем, что их поверхность покрыта волосками. Волоски не дают нитке коснуться поверхности заряженного тела. Действительно, чем более гладкой поверхностью и лучшей проводимостью будут обладать тела, притягивающиеся к наэлектризованному изолятору, тем легче вызвать отталкивание. Например, маленькие кусочки сусального золота, алюминиевой фольги и проч. почти всегда отталкиваются от наэлектризованного изолятора. Чем более сильный заряд имеется на нем, тем больше шансов на отталкивание. Это происходит потому, что между зарядом изолятора и индуцированным зарядом в теле получается столь сильное притяжение, что они взаимно нейтрализуются, вызывая искорку. Наконец, если у нас наэлектризованным телом будет проводник, то можно ручаться (при условии, что и притягивающееся тело хороший проводник), что явления притяжения будут всегда сопровождаться отталкиванием. Это понятно, так как достаточно, чтобы притягивающееся тело коснулось заряженного

хотя бы одной точкой, и весь заряд проводника уже может перейти в него. Может быть, вы пожелаете ответить на вопрос: с чистой или загрязненной поверхностью наэлектризованного тела легче показать силы отталкивания?

Разрешение нашей старой загадки (зад. № 7) еще больше ободрило нас, и мы поняли, что наши беседы идут правильным путем.

Разрешив все свои сомнения, мы были награждены председателем, предложившим нам

Задачу № 15.

О новом способе заряжения электроскопа.

На столе перед нами обыкновенный электроскоп с бумажными листочками и кусок амальгамированной кожи. Как, ничем не пользуясь кроме этой кожи, зарядить электроскоп?

Электроскоп мы устраивали очень просто. Тщательно промывали и потом просушивали стеклянную бутылку. В ее горлышко вставляли небольшой отрезок стеариновой свечки, из которого предварительно был удален фитиль (см. рис. 5). В канал, образовавшийся в свечке, мы вставляли металлическую проволоку (например, головную шпильку), верхний конец которой был согнут в виде петли, а к нижнему приклеивались, как показано на рис. 5, две узеньких полоски папиросной бумаги.

Мы наэлектризовали трением о кожу стенки стеклянной бутылки с двух сторон (против листочков) электроскопа. В стержне электроскопа индуцировалось электричество. Положительное

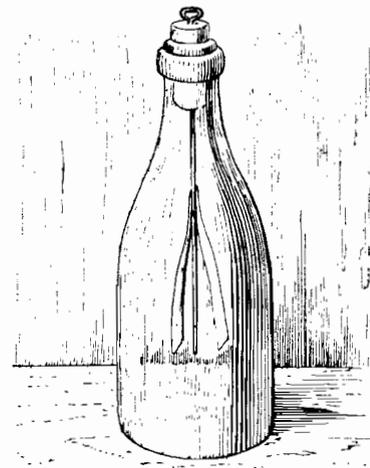


Рис. 5. Наш самодельный электроскоп.

мы увели в землю, коснувшись петельки электроскопа, и тогда на стержне и на листочках остался один отрицательный заряд.

— Я с вашим решением не согласен,—сказал один из наших товарищей, также решавший эту задачу с другим электроскопом.—Зарядить электроскоп можно проще.

Задача № 16.

Еще об одном способе заряжения электроскопа.

— Я беру свой маленький электроскоп и натираю его кожей так же, как натирали и вы. Смотрите, без всякого касания пальца к стержню электроскопа его листочки разошлись.

— Но ты его не зарядил,—сказал наш председатель.

Мы были крайне удивлены парадоксальным утверждением председателя. Признаком заряженного электроскопа является именно расхождение листочков.

— Я вас удивляю еще больше,—сказал председатель.—Решите-ка мою

Задачу № 17.

О необычайном поведении листочков электроскопа.

— Я беру, товарищи, тот же маленький электроскоп и электризую его тем же способом, каким только что наэлектризовал его наш товарищ (см. зад. № 16). Его листочки разошлись, и вы говорите: электроскоп зарядился. Я хочу его разрядить и касаюсь пальцем его стержня. Листочки даже не шелохнулись от моего прикосновения. Заряд электроскопа не желает через мое тело перейти в землю. Что вы на это скажете, товарищи?

Мы были ошеломлены этим опытом.

Два дня понадобилось нам для того, чтобы разобраться во всех этих вопросах.

При небольшом расстоянии между стенками электроскопа и листочками или при очень сильной электризации стенок указанное в задаче № 16 явление наблюдается почти всегда. Наэлектризованные стенки бутылки находятся на таком небольшом расстоянии от листочков (или так сильно наэлектризованы), что сила притяжения их достаточна для того, чтобы притянуть к себе листочки. Таким образом, листочки расходятся не потому, что они отталкиваются друг от друга, а потому, что они притягиваются наэлектризованными стенками бутылки. Конечно, мы не можем назвать такой электроскоп заряженным, так как в его листочках и стержне находятся оба рода индуцированного электричества, еще вдобавок и полностью нейтрализуют друг друга.

Заранее, до опыта, никогда нельзя знать, какое явление вызовет электризация стенок бутылки. Однако, чаще всего при нормальной величине электроскопа (диаметр 15 см) будет иметь место явление, указанное в задаче № 15, а при малых размерах электроскопа (диаметр 10 см)—явления, указанные в задаче № 16.

Листочки электроскопа не опускались от прикосновения пальцем к стержню (зад. № 17) потому, что стенки бутылки притягивают их к себе. Коснувшись пальцем стержня электроскопа, мы отвели из листочков положительное электричество. В данном случае электроскоп может быть назван заряженным.

Подобного рода опыты весьма разнообразны. В нашем кружке их было поставлено с электроскопом не меньше 20, но было бы неразумным утомлять читателя перечислением их. Если только читатель почувствует хоть некоторый интерес к вопросу, он невольно поставит сам себе или своим товарищам ряд новых вопросов и задач. Задача, предложенная самому себе и в конце концов решенная самим автором, стоит сотни задач, предлагаемых другими.

— Довольно опытов с электроскопом,—сказал председатель,—один наш товарищ уже давно просил меня дать ему возможность рассказать об одном его замечательном наблюдении.

— В одном из старых номеров журнала „Электричество“,—начал наш товарищ,—я прочитал, что где-то в горах Америки открыто удивительное растение, названное *Phytolacca Electrica*,

которое вырабатывает такие большие количества электричества, что, если коснуться его, ощущается даже легкий электрический удар, сопровождающийся искрой. Заинтересовавшись этим вопросом, я решил, что, может быть, и многие другие растения, а может быть, и все обладают способностью самостоятельной электризации, но только в более слабой степени. Мне казалось, что подметить эту электризацию удобнее всего по притяжению листьев к руке.

Как сейчас помню этот радостный для меня день, когда мне удалось, наконец, обнаружить электризацию дерева. Собиралась гроза. Я бродил по вершине высокого холма. Поднеся руку к ветке, я вдруг обнаружил отталкивание листочков от моей руки.

Однако, меня изумили два наблюдения, о которых я вам сообщу в

Задаче № 18.

Загадка листьев дерева.

1. Как же могло случиться, что листья отталкивались от моей руки? Ведь какого бы знака ни был заряд в листьях, они должны были бы притянуться к моей руке и лишь после касания оттолкнуться. А этого-то и не было!

2. Почему на другой день мне не удалось обнаружить электризации листьев того же дерева?

О *Phytolacca Electrica* была помещена заметка в № 7 журнала „Электричество“ за 1886 г., но эта заметка не была подтверждена в научной литературе. Я не хочу сказать что это была одна из американских уток. Возможно, что наблюдатели присутствовали при том же самом явлении, о котором мы сейчас будем говорить.

Читатель несомненно догадался, в чем заключалась причина электризации дерева и его листьев. Сильная электризация верхних слоев атмосферы во время грозы (или перед грозой) возбуждает во всех предметах на земле, благодаря индукции, электричество. Электричество одноименное с зарядом тучи (или

просто с зарядом верхних слоев атмосферы) отталкивается тучей в землю, а противоположное притягивается тучей и скопляется на высшей точке предмета, где оно и достигает наибольшей плотности*. Очевидно, что при подходящих условиях листья дерева, особенно на его вершине, должны оказаться наэлектризованными. Но рука наблюдателя, протянутая к этим листьям, также будет наэлектризована благодаря влиянию того же заряда тучи. Понятно, что знак заряда на руке и на листьях будет один и тот же.

Все эти наблюдения над электризацией предметов от действия электрических зарядов в атмосфере носят, к сожалению, очень случайный характер и не имеют, строго говоря, научной литературы. Но следует заметить, что разбираемый случай электризации листьев дерева действительно имел место в Гаграх (Черноморское побережье) 7 июля 1906 г.

Кроме того, хотелось бы также указать, что вообще, надо полагать, не существует такого процесса, такого явления в природе, которое бы не сопровождалось образованием электричества. Уже доказано экспериментально, что большинство физиологических процессов сопровождается появлением свободных электричеств. Поэтому не следует думать, что в растении, как одной из форм живого организма, не происходят электрические явления. Наоборот, они безусловно имеют место, но они не могут быть обнаружены такими грубыми приемами, к которым прибегнул наш товарищ.

После недельного перерыва мы снова собрались вместе и с удовольствием выслушали сообщение одного нашего товарища.

— Мы знаем, — начал он, — что электричество распределяется только по поверхности проводника. На поверхности шара, который имеет всюду одну и ту же кривизну, плотность электричества будет одинаковая. Но на любом другом теле плотность электричества будет больше на тех местах, где больше кривизна тела, т.е. на более угловатых и острых частях тела. Чем острее выступ на теле, тем большая плотность электричества будет на нем. На острие плотность достигнет такой

* Плотность электрического заряда на поверхности проводника определяется количеством электричества на единице площади (на 1 кв. см).

большой величины, что воздух перестает уже удерживать электричество на нем. „С острия происходит истечение электричества в воздух, и проводник, соединенный с острием, моментально разряжается“. Такую фразу мы читали во многих учебниках.

Теперь я расскажу вам мою любопытную

Задачу № 19.

Об острие.

— Я ставлю на стол электроскоп. Он безусловно не заряжен. Теперь я беру кусочек проволоки, заостряю один ее конец напильником, а другой приматываю к стержню электроскопа. Затем беру ламповое стекло и сильно его электризую. Смотрите: я подношу к острию (на расстоянии 10 см.) наэлектризованное стекло, и листочки электроскопа моментально расходятся. Это понятно—индуцированное в стержне электроскопа положительное электричество отталкивается в листочки, а отрицательное стекает с острия. Но вот что совершенно непонятно: я отвожу ламповое стекло от электроскопа, и листочки остаются поднятыми. Вы скажете, что в этом нет ничего удивительного, раз мы зарядили электроскоп. Но, товарищи, это очень удивительно: ведь заряженный электроскоп сообщен с острием, следовательно, он должен моментально разрядиться.

Мы говорим: „с острия стекает электричество“, „на острие плотность электричества наибольшая“. Но ведь острия могут быть самые различные: острие имеют гвоздь, перо, булавка, иголка, хирургические иглы. Степень заостренности у них будет далеко не одинаковая—наименьшая у гвоздя, наибольшая у хирургической иглы. Наспех сделанное острие из проволоки может быть вовсе не такой большой кривизны, чтобы плотности электричества достигали таких огромных величин, при которых все электричество должно с него стечь. Необходимо помнить, что чем тоньше острие, тем сильнее

разряжает оно проводник. Но может возникнуть другой вопрос: почему же тогда стекает с нашего острия отрицательное электричество? Но ведь отрицательное электричество с большой силой притягивалось ламповым стеклом и благодаря этому могло достичь на острие большой плотности.

— У меня, товарищи, также есть вопрос,—сказал самый молодой член нашего кружка.—Все мы знаем, что действие громоотвода основано на свойстве острия. Электричество стекает с острия громоотвода и нейтрализует заряд тучи. Если же заряд тучи слишком велик и острие не в состоянии его разрядить, то часто туча разряжается в форме молнии, но, попадая в металлический громоотвод, она находит себе такой хороший проводник, что оставляет неповрежденными все окружающие предметы. Высокое лиственное дерево также представляет более или менее удовлетворительный проводник, обладающий до известной степени даже свойством острия. Вот здесь-то для меня и скрывается

Задача № 20.

О древесных громоотводах.

Многовековой опыт показывает, что молния чаще всего ударяет в высокие лиственные деревья, главным образом в одиноко растущие. Следовательно такие деревья представляют для атмосферного электричества особенно удобный путь, как и громоотводы. Но почему же человека, застигнутого грозой, предупреждают, чтобы он не скрывался под деревьями, особенно под высоким и особенно под одиноко стоящими? Ведь молния по дереву должна пройти в землю. Причем же тут рядом стоящий человек? Почему громоотвод отводит от человека молнию, а дерево, наоборот, привлекает ее к нему?

Ни в коем случае нельзя думать, что если сесть во время грозы „под громоотвод“ (вместо дерева), то он всегда защитит вас от удара молнии. Дело даже не в том, что заряд

„почему-то выбирает себе путь в землю через ваше тело“ вместо очень хорошего проводника — „громоотвода“. Если вы будете стоять на небольшом расстоянии от громоотвода (десятики сантиметров), то в вашем теле в момент разряда образуется индуцированное электричество столь большой напряженности, что между ним и зарядом громоотвода легко может произойти разряд в виде искры. При постройке громоотвода обращают серьезнейшее внимание на то, чтобы вблизи него не было больших металлических масс, в которых бы индуцировались значительные количества электричества. Все эти соображения применимы и к высоким одиноким деревьям. Если вы стоите в степи на расстоянии десятка метров от одинокого дерева, то несомненно вы лучше защищены от удара молнии, чем в том случае, если бы вообще никакого дерева не было. Однако, этот вопрос осложняется некоторыми обстоятельствами. Так, например: поскольку пространственный лес может действительно оказывать сильное влияние на заряд тучи, в смысле его нейтрализации, постольку одно дерево практически не даст никаких результатов. Следовательно, отвести удар молнии дерево, вообще говоря, не может. Это и понятно — нельзя же предполагать, что с дерева истечение электричества происходит так же интенсивно, как с острия громоотвода. Кроме того само дерево (даже лиственное) во много раз худший проводник, чем металл, следовательно, когда вблизи него находится человек, тело которого представляет собой проводник того же порядка, что и дерево, то естественно можно ожидать, что молния в некоторых случаях изберет себе путь через тело человека.

Следует сделать еще одно замечание.

Самые лучшие проводники оказывают огромное сопротивление так называемым колебательным разрядам, а молния представляет собой именно такой колебательный разряд.

Подробности и объяснение колебательного разряда читатель найдет дальше, в этой же книге.

— У вас весело, товарищи, — сказал новый член нашего кружка, — но некоторые вопросы вы уж очень поверхностно решаете. Например, хотя бы вопрос задачи № 18. Мы знаем, что переход электричества с одной точки проводника в другую или из одного проводника в другой возможен лишь в том

случае, если эти точки (или тела) имеют разные степени электризации*, или, как говорят, разные потенциалы. Повидимому, вы забыли об этом, так как в противном случае я не мог бы сейчас дать вам

Задачу № 21,

Уличившую нас в небрежности.

— В американской заметке сказано, что при поднесении руки к вновь открытому растению из него перескакивает в руку искра. Вы пытаетесь объяснить это тем, что в растении и в руке индуцировались (от заряда тучи) электричества.

Я утверждаю, что это совершенно неправильное, грубо невежественное объяснение.

Несомненно, наш новый товарищ был прав, когда обрушился на нас со своей критикой. В виду того, что рука и лист (или ветка) в момент касания находятся, собственно говоря, в одном месте, их потенциалы должны быть равны. При таком условии никакого перехода электричества между рукой и растением не может быть. А так как искра есть результат именно движения электричества (электрический скачок), то понятно, что она при указанных условиях не может возникнуть.

Мы были очень благодарны за это указание нашего товарища.

— Признаюсь, — сказал кто-то из нас, — что понятие потенциал вообще не очень близко мне. Например, я знаю, что потенциал проводника пропорционален его заряду, т.е. количеству электричества, сообщенному ему. Но почему же тогда при одном и том же проводнике и при постоянном количестве электричества потенциал меняется от... да вы лучше просто решите

* Степень электризации тела (в учении об электричестве) следует понимать так же, как мы понимаем степень теплового состояния тела, именуемую нами температурой.

Задачу № 22.

О стоячем и сидячем человеке.

Я становлюсь на изолированную скамейку. Шея моя соединена проволочкой с чувствительным электроскопом, который чаще называют электрометром.



Рис. 6. Я сажусь на скамейку со стеклянными ножками — и листочки электрометра расходятся, встаю — и они снова опускаются.

Теперь зарядите меня сильнее: листочек электрометра приподнялся. Я опускаюсь на скамейку и сажусь на нее (рис. 6). Листочек электрометра заметно поднялся выше. Так как по величине угла отклонения листочка мы судим о величине потенциала, то очевидно, что потенциал моего стоячего тела был меньше, нежели сидячего. Какая же причина вызывает это явление, если количество электричества и в том и в другом случае одно и то же, а мое тело, конечно, также при этом не изменяется?

Тут уж мы все начали упрекать товарища, который забыл, что потенциал зависит не только от величины заряда, но и от электроемкости тела. Эта зависимость выражается формулой

$$V = \frac{Q}{C},$$

где V — потенциал данного проводника, т.е. степень его электризации; Q — количество электричества на нем, и C — его электроемкость.

Потенциал проводника будет прямо пропорционален его заряду (количеству электричества) и обратно пропорционален

его электроемкости. Электроемкость зависит от размеров и формы проводника. Так как электричество распространяется по поверхности проводника, то, очевидно, электроемкость будет главным образом зависеть от величины внешней поверхности проводника. Человек стоящий будет иметь большую внешнюю поверхность, чем человек сидящий в таком положении, какое указано на рис. 6.

Опыт, разбираемый в этой задаче, не требует обязательно электрометра. Он почти всегда удастся с обыкновенным электроскопом, но протекает не так убедительно и резко, как с электрометром.

Когда мы, наконец, растолковали нашему товарищу, почему электроемкость его тела в стоячем положении будет больше, нежели в сидячем, — председатель сказал:

— Твой опыт можно поставить иначе. Встань-ка еще раз на скамейку. Теперь смотри: я подхожу к тебе, и листочек электрометра начинает опускаться, я удаляюсь — и листочек опять поднимается. Тоже интересный опыт. Причина этого явления заключается в том, что электроемкость проводника увеличивается, если к нему приближать другой проводник.

Может быть, ты, вспомнив законы индукции, согласишься, в чем тут дело?

Наш разговор принял новое направление благодаря словам одного из членов кружка.

— Меня вообще удивляет, — сказал он, — зачем вы все время определяете потенциал ничего не говорящим термином „степень электризации“. Это тем более странно, что точное определение потенциала существует другое, и вы его прекрасно знаете. Потенциал характеризует ту работу, которую может произвести наш заряд. Действительно, было бы так понятно, если бы мы заговорили о работе. Мы все время толкуем об электрической силе; надо же когда-нибудь поставить вопрос: какую же работу может проделать эта сила и от чего эта работа зависит? Я не буду сейчас уточнять понятие о потенциале, но посмотрите на формулу

$$V = \frac{Q}{C}$$

Из нее видно, что потенциал V , а значит и работа, которую может произвести электрический заряд, пропорциональна коли-

честву электричества, а это такое привычное для нас представление. Работа паровой машины будет пропорциональна количеству тепла, выделяемого в паровом котле, или, иначе говоря, пропорциональна количеству угля; работа двигателей внутреннего сгорания (автомобильных, авиационных и др.) пропорциональна количеству бензина или нефти; работа водяной мельницы пропорциональна количеству воды и т. д.

— Погоди-ка, братец, — перебил его один из присутствующих, — все, что ты говоришь по отношению к количеству электричества, понятно и очень убедительно, но послушай-ка, что получится с твоей работой, когда мы будем говорить об электроемкости. Работа электрического заряда обратно пропорциональна электроемкости. Скажи на милость, как же это понимать?! Выходит так, что одно и то же количество электричества может совершить самые различные работы, в зависимости от электрической емкости проводника. А ну-ка, я также воспользуюсь одним твоим примером и предложу

Задачу № 23.

О тепловой энергии.

— Неужели же можно допустить, товарищи, что сжигая в различных машинах килограмм угля, мы получим разные работы? Нам важно иметь определенное количество тепла. Данное количество тепловой энергии всегда совершит одну и ту же работу. Если это так, то все рассуждения нашего критика ничего ценного не представляют и только еще больше запутывают нас.

Аналогии никогда ничего не могут доказать, они лишь разъясняют тот или иной вопрос. Однако, возражение, высказанное в задаче № 23, не верно. Товарищ говорит: „Определенное количество тепла всегда совершит одну и ту же работу“. Для читателя, конечно, не секрет, какие невообразимые запасы тепловой энергии заключают в себе наши океаны. Каменный уголь, сжигаемый на всей земле в паровых машинах со времен

Уатта до настоящего дня, не выделил и миллиардной доли тех калорий, которые содержит один Великий океан. Почему же не приводят в движение паровых машин этими неисчерпаемыми запасами тепла? Потому, что эта теплота не может совершать работы в условиях нашей земли. Потому, что *теплоемкость* океана чрезвычайно велика. Сообщите те же калории топке величайшего парового котла — и он мгновенно разлетится в куски от колоссального давления пара, так как теплоемкость его воды неизмеримо меньше теплоемкости океана.

Вы хотите мне подсказать самый простой и ясный ответ: „Да просто потому не будет работать паровик от теплоты, заключающейся в воде океана, что это вода холодная, что температура ее очень низкая“. Вы, конечно, правы. Но ведь потому и низка ее температура, что теплоемкость всей ее массы огромна.

Потенциал не есть работа, он лишь измеряется работой. Точное его определение будет: потенциал в данной точке численно равен работе электрических сил при перемещении (+) заряда из данной точки в точку нулевого потенциала, т.е. в бесконечность.

— Ну, товарищи, — сказал кто-то из присутствующих, — говорили мы, говорили о потенциале, я как-будто все понял, а теперь оказывается, что потенциал — не работа.

— А кто же говорил, что потенциал это работа? — возразили мы.

— Пусть так, но ведь нас-то интересовала именно работа. Ее-то ведь и имел в виду товарищ, когда говорил о том, какую работу может проделать сила электрического заряда. Я определенно понял, что если потенциал измеряется работой, то он и есть работа.

Председатель рассмеялся и сказал:

— Напрасно ты так понял. Масса тела измеряется его весом, и однако не скажешь же ты, что масса это и есть вес. Масса тела пропорциональна весу и поэтому ее можно измерять единицами веса, но масса — не вес. Вес тела меняется в зависимости от того, в каком месте земного шара будет находиться тело: на экваторе вес наименьший, на полюсе наибольший. Чем больше отдалено тело от земной поверхности,

тем меньше оно весит. Все тела в пустоте больше, чем в воздухе, а в воздухе больше, чем в углекислом газе или, особенно, в воде. Масса же тела во всех случаях одна и та же. Тебе, вероятно, приходилось спрашивать во время летних путешествий: „Далеко ли до такой-то деревни?“ На это тебе часто отвечали: „Да часа полтора будет“. Надеюсь, ты не забывал, что расстояние — не время?! Но ты прав в одном: мы хотели выяснить вопрос о работе электрических сил, но так ни на шаг и не сдвинулись с места. Давайте-ка займемся этим.

— Погодите, товарищи, — перебил нас один из членов кружка, — у меня есть другое недоумение, связанное, как мне кажется, с вопросом и о потенциале, и о работе. Выслушайте мою

Задачу № 24.

Об арбузе и яблоке.

— Представьте себе, товарищи, что я сообщил двум шарикам — большому и малому — одинаковый заряд электричества. Скажем для ясности, что малый шар это яблоко, а большой — арбуз. Очевидно, электроемкость арбуза будет значительно больше электроемкости яблока. Следовательно, исходя из формулы $V = \frac{Q}{C}$, потенциал яблока будет больше потенциала арбуза. Я прекрасно понимаю, что работа — не потенциал, но работа пропорциональна потенциалу. Следовательно, яблоко, отталкивая, например, маленький бузиновый шарик, заряженный одноименным электричеством, произведет большую работу, чем арбуз, отталкивая тот же шарик.

Однако, количество электричества и на яблоке и на арбузе одно и то же, следовательно, и силы взаимодействия между бузиновым шариком и арбузом, а также между бузиновым шариком и яблоком будут равны друг другу на основании закона Кулона.

Как же это возможно, товарищи, чтобы равные силы могли произвести неравные работы?

Еще большая нелепица получается, если мы предположим, что яблоку сообщен несколько меньший заряд, чем арбузу. Потенциал яблока при этом может быть все же больше потенциала арбуза, так как его электроемкость значительно меньше электроемкости арбуза. Тогда мы должны будем признать, что меньшая электрическая сила (заряд яблока) произведет большую работу, чем электрическая сила арбуза.

Как хотите, а это явная ерунда!

Что в этом вопросе обстоит не все благополучно, это мы понимали, но разрешить его нам удалось лишь с помощью одного товарища, который сказал нам:

— Товарищи, когда-то работу прислуги, заключающуюся в смахивании пыли с мебели, пытались облегчить одним приспособлением, которое на практике оказалось очень мало пригодным, но для нас, думаю, пригодится. Этот прибор был устроен очень просто: к металлическому полуму шару была припаяна длинная трубка с краном. В шар накачивался под известным давлением воздух. Открыв кран и направив трубку на поверхность запыленного предмета, мы могли сильной струей воздуха сдуть с нее всю пыль. Работа этого прибора заключалась в сметании пыли. Отчего же зависела его работа? Допустим, что у нас имеются два таких прибора: один у меня, другой у председателя, и что у председателя объем шара равен 2 литрам, а у меня — 1 литру. Очевидно, что чем больше я накачаю воздуха в мой шар, тем получу большую упругость и большее давление струи воздуха на пыль. Следовательно, величина работы моего прибора будет зависеть от давления воздуха в шаре. Чем больше будет давление, тем больше будет работа.

Скажем, что я решил довести давление воздуха внутри моего шара до 3-х атмосфер, для этого мне необходимо накачать в шар 2 литра воздуха в дополнение к 1 литру, который там уже имеется. Пусть председатель также доведет давление внутри своего шара до 3-х атмосфер. Ему придется для этого накачать в шар 4 литра воздуха. Давление воздуха

в обоих наших приборах одинаковое, но будет ли одинаковой работа струи воздуха?

— Конечно, — сказали мы, — прибор председателя сдует больше пыли, так как в нем большее количество воздуха. Из твоего шара выйдет 2 литра, а из шара председателя 4 литра. Ясно, что большой шар сдует пыли в два раза больше, чем малый.

— Ну, а если это так, то, очевидно, надо признать, что работа воздушной струи будет зависеть не только от давления, но и от количества воздуха.

Вот вам еще пример: давление в моем шаре равно 3 атмосферам; я открываю очень немного кран, так что из него выходит тонкая струйка воздуха. Затем я открываю кран полностью — струя воздуха становится широкой. Давление и в первом и во втором случае одно и то же, но количество воздуха, сдувающего пыль, в первом случае меньше, чем во втором. Стоит ли спрашивать, когда будет большая работа?!

Как видите, наши недоумения разрешаются просто: работа электрических сил будет пропорциональна и потенциалу, и количеству электричества, т.е. пропорциональна VQ .

— Мне хочется, товарищи, — сказал председатель, — еще кое-что добавить. В наших последних рассуждениях мы, очевидно, предполагали, что электрический потенциал аналогичен давлению воздуха в нашем шаре. Как вы думаете, могли ли бы мы получить какую-нибудь работу воздушной струи, если бы давление окружающего воздуха *равнялось* давлению внутри шара? Понятно, нет. Ведь только потому в моем шаре оставалось всегда 2 литра воздуха, что давление его было равно 1 атмосфере, т.е. давлению окружающего воздуха. Если мы давление атмосферы примем за нулевое давление, то всякое большее давление мы можем условно обозначать (+) давлением, а меньшее (—) давлением.

За нулевой электрический потенциал принимают потенциал земли. Потенциал больший называют положительным потенциалом, меньший — отрицательным.

„Пылесдуватели“, о которых рассказал наш товарищ, оказались очень непрактичными — от них пыль столбом гуляла по комнатам. Их заменили „пылевывасывателями“, или, как

их теперь принято называть, *пылесосами*. С нашими шарами можно легко выяснить принцип работы таких пылесосов. Для этого нам пришлось бы *разрядить* воздух в шаре, т.е. выкачать его. Тогда при открывании крана струя воздуха пошла бы не из шара в воздух, а наоборот из воздуха в шар и увлекла бы за собой пыль. Такой прибор также совершал бы работу по очистке комнат от пыли, но в нем давление воздуха было бы меньше атмосферного, т.е. нулевого давления, и следовательно мы должны были бы назвать его отрицательным давлением. Такой прибор может иллюстрировать работу отрицательного потенциала.

Вопрос о потенциале заинтересовал нас чрезвычайно, при чем невольно направил нашу мысль к электризации нашей земли.

Для нас сразу же стало ясно, что если мы будем при этом вести расчет на электростатические единицы количества электричества, то, очевидно, их понадобится такое большое число, с которым будет трудно производить вычисления. Мы вспомнили, что существует *практическая* единица количества электричества в три миллиарда раз большая электростатической. Она называется *кулон*.

1 кулон = 3×10^9 электростатическим единицам количества электричества. Вычисления показывают, что заряд в 1 кулон, находящийся на расстоянии 1 км от второго заряда (также в 1 кулон и того же знака), будет отталкиваться от него с силой около 900 кг. Оказалось, для того, чтобы получить на поверхности земли потенциал, равный потенциалу наэлектризованной палочки, необходимо сообщить земле, по меньшей мере, 2 кулона электричества.

Все эти соображения привели в конце концов к одному любопытному проекту, о котором я расскажу в

Задаче № 25.

Об уничтожении силы притяжения земли.

Если мы будем наэлектризовывать земной шар, то очевидно, что все тела, находящиеся на его поверхности, также окажутся наэлектризованными. Тогда все

тела, находящиеся на поверхности земли, будут испытывать отталкивание от ее поверхности, так как они будут заряжены одноименно с землей. Понятно, что когда сила этого отталкивания станет равной силе притяжения земли (тяготению), то все тела на земле потеряют свой вес. Почему бы таким способом не уничтожить силу тяготения земного шара?

Пусть при современном состоянии науки мы могли бы получить необходимое количество электричества и зарядить им землю. Если, например, заряжать землю положительным электричеством, то, очевидно, мы должны были бы получить равное количество отрицательного электричества, которое надо было бы как-то изолировать от земли. Допустим, что даже и это оказалось бы возможным, но тогда этот заряд отрицательного электричества, благодаря индукции, притянул бы к тому месту поверхности земли, над которым он находился, почти равное себе количество положительного электричества, и таким образом действие его в сильной степени нейтрализовалось бы.

Мы не останавливаемся на многих других явлениях, которые бы сопровождали подобный грандиозный опыт: атмосферные вихри, стекание электричества в атмосферу, вследствие чего разность потенциалов между атмосферой и землей постепенно уменьшалась бы, и т. д. Мы должны подчеркнуть, что подобный опыт в настоящее время вообще превышает наши силы и возможности.

— Позвольте, — сказал кто-то из присутствующих, — мне хочется подойти к этому вопросу иначе. Мне кажется, что никаких усилий со стороны человека в этом направлении и не должно делаться, это выполняется самой природой.

Задача № 26.

О непрерывном увеличении потенциала земли.

Мне, например, совершенно непонятно, почему потенциал земли может не увеличиваться, а следовательно не уменьшаться сила тяготения, если в течение

стольких десятков лет человек отводит из своих лабораторий электричество в землю. Но главное, как могут не повыситься потенциала земли удары молнии, которые сообщили ей неисчислимые количества электричества в течение многих сотен тысяч лет ее существования?

Ясно, что с каждым годом величина потенциала земли возрастает.

Если мы ограничимся теми явлениями, которые происходят на земном шаре, включая сюда и происходящие в атмосфере, то мы должны будем признать, что не только электричество наших лабораторий, но и атмосферное не могут повысить потенциал земли. Количество электричества в нашей земле не увеличивается от удара молнии. Если мы предположим, что заряд тучи был положительный, то тем самым должны признать, что в том месте, где он образовался, получился равный заряд отрицательного электричества. Так как и то, и другое электричество образовалось на нашей земле, то рано или поздно они взаимно нейтрализуются. В каком бы месте и каким бы способом ни образовалось электричество одного рода, в то же самое мгновение рождается на земле равное количество электричества противоположного знака. Это полезно помнить всегда.

Если же мы предположим, что земля тем или иным способом получает свой заряд из мирового пространства (например, от солнца), то тогда, конечно, можно допустить сколь угодно большое ежегодное увеличение потенциала земли. Однако, это не поддается нашему опытному учету. Ведь принимая условно потенциал земли равным нулю, мы этим вовсе не хотим сказать, что земля не имеет никакого потенциала, что она, следовательно, не заряжена. Наоборот, мы можем быть уверены в том, что земля несет на себе электрический заряд, но определить его абсолютную величину мы не можем. Все наши измерения сводятся к определению *разницы* между потенциалом земли и того или иного тела.

— Товарищи, — сказал новый член кружка, — я хочу задать вам один вопрос: если бы заряд земли увеличился, если бы сила электрического отталкивания действительно стала равна силе

тяжести, то тела, находящиеся на поверхности земли потеряли бы вес, или нет?

- Конечно, потеряли бы, — отвечали мы хором.
- В таком случае я могу предложить вам

Задачу № 27.

О свойствах наэлектризованной земли.

— Я не согласен с вами! Если бы мы сообщили земле заряд в миллионы кулонов, то и тогда мы не получили бы того явления, о котором вы говорите. Нет, мы жили бы в совершенно особом мире, со свойствами, мало похожими на наш. Пусть камни нашей мостовой потеряли бы свой вес от гигантского заряда, полученного землей, так что достаточно было бы слегка толкнуть их ногой для того, чтобы они выскочили из земли и поплыли по воздуху, как мыльные пузыри. Но в то же время молоток, оброненный из окошка, упал бы на землю и поранил бы прохожего силой удара, гири в лавках не потеряли бы своего веса, и самое замечательное — мы с вами, товарищи, улетели бы в мировое пространство и навсегда покинули бы нашу наэлектризованную землю.

Вы спросите: почему?

Но в этом-то и состоит моя задача.

Представьте себе, что на поверхности земли лежат три шара одинакового диаметра из железа, камня и дерева. Если вес железного шара принять, скажем, равным 8 кг, то вес каменного будет равен приблизительно 3 кг, а деревянного — лишь 0,5 кг. Так как при электризации земли все три шара получают одинаковый заряд (заряд шара пропорционален его радиусу при одинаковом потенциале), то, очевидно, сила их электрического отталкивания будет также одинаковой. Если сила отталкивания будет в точности равна силе тяжести каменного шара, т.е. 3 кг, то, очевидно, она будет недостаточной для того, чтобы сделать невесомым железный шар, и

черезмерно велика для деревянного, который и улетит в пространство.

Однако, если мы даже возьмем два каменных шара разной величины, то и тогда мы не получим одинакового действия. Возьмем, например, второй каменный шар в два раза большего радиуса. Его электроемкость будет также в два раза больше, а следовательно для доведения его потенциала до потенциала земли (или первого шара) потребуется в два раза большее количество электричества, которое и не замедлит ему передать земля. (Вспомним, что электричество с одного тела переходит на другое до тех пор, пока не сравняются их потенциалы). Следовательно, второй шар будет отталкиваться от земли с силой в два раза большей, чем первый, т.е. с силой 6 кг. Казалось бы, все обстоит благополучно: второй шар тяжелее первого, но зато он отталкивается с большей силой. К сожалению, вес второго шара увеличится не вдвое, а в 8 раз, так как вес пропорционален объему, а объем пропорционален кубу радиуса. Понятно, что сила отталкивания, равная 6 кг, не может сделать невесомым шар в 24 кг.

Таким образом, наш грандиозный проект оказался никуда негодным не только с практической, но и с теоретической точки зрения. Электрическому отталкиванию невозможно бороться указанным способом с силой тяготения, потому что первое будет пропорционально радиусу тела, а вторая — радиусу в кубе.

ОТ ПОКОЯ К ДВИЖЕНИЮ.

— Все то, о чем мы говорили до сих пор, — очень интересно, — сказал самый молодой член нашего кружка, — но я хотел бы затронуть один, на мой взгляд, важный и основной вопрос, на котором мы почти совсем не останавливались. Я говорю о свойствах электричества, о признаках электрического состояния тела.

Задача № 28.

О чем говорят наши учебники.

В одних учебниках я читал:

„Признаками электрического состояния тела являются —

1. Притяжение и отталкивание легких тел.
2. Болезненное ощущение при переходе электричества в человека.
3. Появление искры.
4. Образование озона *, сопровождающееся характерным запахом.
5. Пробивание диэлектриков (изоляторов)“.

А в других книгах говорится:

„Характерным и *единственным* свойством электричества является притяжение и отталкивание различных более или менее легких предметов“.

* Озон — химически уплотненный кислород (O_3)

Как же, товарищи, согласовать подобные определения?

Свойством неподвижного электричества является, конечно, только притяжение и отталкивание тел. Самый простой случай движения электричества это, например, передача заряда одного проводника другому. Если проводники не сближены вплотную, то этот переход сопровождается „искрой“. Эта простейшая форма движения электричества через воздух любопытна тем, что здесь возникают одновременно все известные нам формы энергии. Скачок электричества сопровождается светом, звуком, теплотой, механической энергией, химической и др.

Выслушав объяснение, наш товарищ не удовлетворился им.

— Может быть, товарищи, вы и правы, но я должен вам откровенно сказать, что для меня ваше объяснение слишком формально, слишком отвлеченно. Я нигде в природе не могу подыскать подходящую аналогию. Электричество в покое обладает одними свойствами, а электричество в движении — другими! Это легко сказать, но понять мудрено. Представьте себе, что я сказал бы вам то же самое, ну, скажем, о кусочке свинца, который сейчас лежит передо мною.

Задача № 29.

О движущемся свинце.

Этот кусочек свинца, который я кладу перед вами, приобретает совершенно новые свойства, если ему сообщить движение.

Что вы на это скажете, товарищи?

Этот вопрос вызвал весьма горячие разговоры. Наш кружок разделился на две партии.

— Безусловно, свойства свинца изменятся, если ему сообщить движение, — говорила одна группа. — Какими свойствами обладает кусочек лежащего свинца? Металл серебристо-серого цвета, почти без всякой упругости, слабо теплопроводный,

легкоплавкий, с определенным весом и теплоемкостью и т. д. Но есть ли среди этих свойств такое, которое, например, заставило бы вас *бояться* этого маленького серого кусочка? Конечно, нет. А как вы отнесетесь к тому, если мы вложим наш кусочек свинца в дуло ружья и, зарядив его, направим на вас и скажем: „Руки вверх!“

Не правда ли, кусочек свинца, выпущенный из ружья, будет иметь уже другие свойства? Он приобретет механическую энергию и будет обладать свойством пробивать преграды. При пробивании преграды или просто при встречном препятствии этот кусочек свинца станет источником тепловой энергии. Вспомните, как сильно нагреваются (даже раскаляются) стальные мишени, когда в них стреляют артиллерийскими снарядами. А выстрелите этим кусочком свинца в гремучую ртуть, в динамит, в смесь бертолетовой соли с серой—они взорвутся. Как видите, наш кусочек свинца вызвал химические процессы. Наконец, разве вы не испытываете „болезненного ощущения“ при пронизывании вашего тела этим же кусочком свинца?

Итак, движущийся кусочек свинца приобрел не только новые свойства, но даже такие, которые соответствуют свойствам движущегося электричества.

— Ну, товарищи,—запротестовали наши противники,—у вас тут и натяжки, и подтасовки, да и по существу вы говорите не совсем на тему. Вы утверждаете, что удар свинца вызывает химические реакции в некоторых составах. Но ведь вы нарочно берете так называемые взрывчатые смеси, воспламеняющиеся от удара, которых всего-то наберется десяток-другой. Ну, а все остальное бесчисленное количество тел? О них что вы скажете? Но мы имеем и более серьезное возражение—вы говорите: кусочек свинца приобрел новые свойства. Мы возражаем: кусочек свинца остался с теми же свойствами, какие были у него в неподвижном состоянии. Его цвет, вес, теплоемкость и все остальные характерные признаки несколько не изменились от движения. Новые явления дало движение, а не свинец. Разве не теми же самыми свойствами будут наделены любые двигающиеся тела, любое вещество: железо, камень, дерево, вода, воздух и т. д.?

На все эти возражения у нас имелись свои доводы.

— Вы говорите, что мы нарочно подбираем такие вещества, в которых возникают химические реакции от удара, что огромное большинство тел не претерпевает от удара никаких химических изменений. Это верно, но как вам известно, движущееся электричество, электрический ток, также не вызывает химических изменений в огромном количестве веществ. Так что: как движущийся кусочек свинца, так и движущееся электричество вызывают химические процессы в небольшом количестве тел. Но мы особенно благодарны вам за вашу поправку. Конечно, новые свойства движущегося свинца принадлежат не ему, а движению. Конечно, с качественной стороны будет совершенно безразлично, какое именно тело двигается. Для нас важно само движение. Но ведь об этом-то мы как раз и говорили в задаче № 29, когда разбирали вопрос о неподвижном и движущемся электричестве. И там дело было не в самом электричестве, а в его движении. Конечно, смешно думать, что летящая пуля может произвести все те действия и с той же яркостью и силой, как поток электричества. Но ведь между ними есть, помимо других существенных отличий, еще огромная разница в скорости. Можно ли предполагать, что пуля или пушечное ядро, летящее со скоростью 1000 м в 1 сек., могут произвести тот же эффект, как электричество (ток), несущееся со скоростью 300 000 км в 1 секунду?

Приведенный выше спор нашего кружка требует некоторых замечаний.

Есть основание предполагать, что свойства движущегося тела будут изменяться в зависимости от скорости движения. Мы еще очень мало думали о том, какие свойства приобретает пуля, и что станет с ней самой при скорости в 300 000 км. в 1 сек., но независимо от этого, конечно, неразумно предполагать, что свойства движущегося тела и электричества могут быть тождественны. Весь этот спор был приведен исключительно с целью уяснить и дать почувствовать коренное отличие и глубокое единство в свойствах статического электричества и электрического тока. Аналогии, как уже говорилось, никогда не претендуют на доказательства.

Проспорив несколько дней на эту тему, мы невольно так подчеркнули сами перед собой все удивительные свойства

движущегося электричества (электрического тока), что нам всеми силами захотелось подробнее ознакомиться с ними на практике, а не по книжкам. Мы не задумывались над тем, что у нас нет почти никаких приспособлений и приборов. Мы, собственно, даже не подумали и о том, что задача № 29 открывает нам новый отдел электричества, вводящий нас в самую гущу нашей промышленной и домашней техники. Электрическая лампочка, светившая на наши головы, и телефонный звонок в соседней комнате напомнили нам об этом. Председатель нашего кружка торжественно провозгласил:

Задача № 30.

Первая загадка калильной лампочки.

Перед вами горит экономическая лампочка на 5 свечей. Для того, чтобы она не слепила ваши глаза,

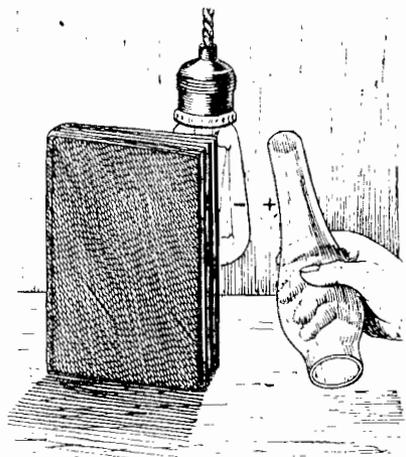


Рис. 7. Я отодвигаю ламповое стекло — и волосок калильной лампочки сильно выгибается.

я заслоню ее книгой так, чтобы вам оставался виден только один крайний ее волосок. Вы ясно видите, что он натянут совершенно прямо. Теперь я подношу к нему наэлектризованный конец лампового стекла. С волоском от этого ничего не происходит. Тогда я отодвигаю стекло и в тот же момент волосок сильно выгибается в ту сторону, где было ламповое стекло (рис. 7).

Я подношу вторично наэлектризованное стекло к тому же волоску. Вы замечаете, как он, по мере приближения стекла, выпрямляется, пока не становится совершенно прямым. Я удаляю стекло, и во-

лосок вновь начинает выгибаться, тем больше, чем больше я удаляю от него стекло.

Как видите, это замечательное явление совсем не похоже на то, которое мы наблюдали до сих пор, когда притягивали различные тела электрическим зарядом.

В чем же его причина?

Первая же мысль, какая пришла нам в голову, была: „А что произойдет с волоском *негорящей* лампочки?“ Мы выключили лампу и поднесли к ней так же, как это только что делал председатель, натертое ламповое стекло. Ближайший к нему волосок довольно сильно выгнулся. Приближая и удаляя ламповое стекло, мы заметили движение волоска назад и вперед, при чем всегда он выгибался от приближения стекла и выпрямлялся при его удалении.

Это было вполне понятно: положительный заряд лампового стекла притягивал волосок так же, как притягивал бы любое достаточно подвижное тело. Но тем замечательнее было, что на раскаленный волосок то же ламповое стекло оказывало прямо противоположное действие.

Почему же мы не обнаруживаем притяжения раскаленного волоска к положительному заряду лампового стекла, и почему при его удалении волосок выгибается? Что и почему заставляет его притягиваться к тому месту, где *был* (+) заряд?

Для нас было несомненным, что волосок притягивается не к ламповому стеклу. Единственное предположение, которое мы могли сделать, заключалось в том, что волосок притягивается к стенке стеклянного колпачка лампочки накаливания. Если это предположение справедливо, то, очевидно, стенка колпачка должна была получить электрический заряд. Однако, каким же образом могла наэлектризоваться стенка колпачка, если мы не касались ее наэлектризованным стеклом? Повидимому, электризация колпачка была вызвана иной причиной.

Мы задали себе такой вопрос: чем же отличается наш последний опыт от опыта, проделанного председателем? Только тем, что у нас волосок лампочки был холодный, а у председателя раскаленный. Не является ли этот раскаленный волосок источником электризации колпачка?

Мало того, мы сделали еще одно важное предположение: мы решили, что колпачок электризуется отрицательным электричеством. Действительно, тот факт, что волосок выпрямляется при приближении к стенке колпачка *положительного* заряда, говорит определенно о том, что на стенке может быть только противоположный ему заряд, т.-е. отрицательный.

Один из присутствующих немедленно предложил нам новую

Задачу № 31.

О второй загадке калильной лампочки.

— Смотрите, товарищи, — сказал он, — я выгнул волосок наэлектризованным ламповым стеклом. Быстро натираю стеариновую свечу о свои волосы и подношу ее к волоску. Он выгибается еще сильнее. Не правда ли, это вполне понятно, если на стенке колпачка действительно образовался (—) заряд? На волосок теперь действует не только отрицательный заряд стенки колпачка, но еще и заряд свечи. Эти два заряда, конечно, будут притягивать волосок сильнее. Этот опыт, товарищи, доказывает справедливость нашего предположения об отрицательной электризации стенки колпачка. Но вот что удивительно и непонятно: волосок очень быстро выпрямляется при поднесении наэлектризованной свечи. Без свечи он держится в выгнутом состоянии полминуты и дольше, а если поднести свечу, то, несмотря на то, что заряд свечи усиливает притяжение волоска, он через несколько секунд выпрямляется.

Мы пришли к следующим выводам:

1. Волосок, раскаленный электрическим током, излучает отрицательное электричество.

2. При горении лампочки отрицательное электричество наполняет ее полость, но не оказывает на волоски никакого механического влияния потому, что оно равномерно распределено вокруг волосков.

3. При приближении положительного заряда (натертое стекло) отрицательное электричество собирается в большом количестве на внутренней поверхности колпачка у того места, к которому подводится (+) заряд. Это понятно, так как положительный заряд натертого лампового стекла притягивает отрицательное электричество, находящееся внутри колпачка калильной лампочки. Таким образом на внутренней поверхности колпачка, в том месте, около которого находился (+) заряд, образуется „сгущенный слой“ отрицательного электричества. Этот „сгущенный слой“ также не оказывает влияния на ближайший волосок лампочки, так как его сила нейтрализуется (+) зарядом натертого стекла.

4. Когда ламповое стекло отодвигается от волоска, электрические силы „сгущенного слоя“ освобождаются и энергично начинают действовать на волосок, который и выгибается (притягивается) в сторону „сгущенного слоя“.

5. Приближая к выгнутому волоску натертую свечу с (—) зарядом, мы тем самым усиливаем действие отрицательного заряда „сгущенного слоя“. От этого волосок выгибается сильнее.

6. Отрицательный заряд стеариновой свечи отталкивает электричество „сгущенного слоя“ (оба электричества одноименные), вследствие чего слой быстро рассеивается и волосок лампочки выпрямляется. В этом и заключается ответ на задачу № 31.

— Товарищи, — сказал председатель, — я придумал еще одну задачу, которая должна окончательно разрешить вопрос, правильное ли мы дали объяснение всем явлениям.

Задача № 32.

О третьей загадке калильной лампы.

К выгнутому волоску лампочки я подношу, вместо стеариновой свечи, свою руку. Вы замечаете, что волосок выпрямляется. Я отвожу руку, и волосок вновь выгибается.

Попробуйте объяснить это новое явление.

На этот вопрос мы ответили, не задумываясь. При приближении к „сгущенному слою“ руки в ней, благодаря влиянию

(индукции), возникает положительный заряд. Отрицательный заряд руки уходит в землю, а положительный связывает отрицательный заряд „сгущенного слоя“, отчего волосок и выпрямляется.

Один из присутствующих неожиданно сказал:

— Товарищи, знаете ли вы, какое явление нам посчастливилось наблюдать?! Знаете ли вы, что это за электричество, которое испускает раскаленный волосок лампочки?! Это *электроны*, товарищи!

Величайшее торжество наступило у нас в тот момент, когда мы, наконец, договорились до электронов.

Раскаленный волосок лампочки выбрасывает в пространство поток отрицательных частичек электричества, именуемых *электронами*. Современная наука может различными способами получать такие потоки электронов. Одним из таких способов и является накаливание тел.

Атомы отрицательного электричества (электроны) значительно более подвижны, чем атомы положительного — всегда связанного с материей, и потому с поверхности накаливаемого тела электроны вылетают в изобилии. Вся внутренняя полость калильной лампочки наполняется (во время ее горения) быстро двигающимися по всем направлениям электронами, которые не оказывают никакого влияния на волосок, так как они окружают его со всех сторон. Но при условии, что вблизи лампочки имеется положительный заряд (натертое стекло), электроны начинают скопляться на внутренней поверхности баллона лампы в том месте, к которому мы поднесли (+) заряд. Их количество будет тем большее, чем больше будет величина заряда. Теперь уже волосок лампочки будет окружен электронами неравномерно — их будет очень много на стенке баллона против лампового стекла и значительно меньше во всех других направлениях. Однако, и на это волосок лампочки не будет реагировать, так как силы сгущенного слоя электронов нейтрализуются действием (+) заряда лампового стекла. Но в тот момент, когда мы удаляем ламповое стекло, освобождающаяся сила электронов начинает энергично действовать на ближайший волосок, и он выгибается.

Ряд замечательных открытий и изобретений последних десятилетий, мощные выпрямители переменного тока, лучи

Рентгена, ламповые детекторы для радио-телефонов и мн. др., был сделан благодаря работам с свободно движущимися электронами. Физика и электротехника наших дней уделяет максимум своего внимания их изучению. Поэтому вполне понятно волнение, с каким мы встретили удовлетворительные результаты своих опытов.

Впоследствии мы остановились на этом вопросе более подробно.

— Товарищи, — сказал один из нас, — вы говорите, что электроны это атомы отрицательного электричества, но в таком случае свойства их должны быть те же, что и электричества. Например: электричество не проходит сквозь стекло, следовательно и электроны не должны проходить через него. Так ведь?

— Конечно так, — отвечали мы.

— Ничего подобного, — возразил наш товарищ, — электроны проходят сквозь стекло. Я докажу это вам моей

Задачей № 33.

О последней загадке.

— Я обкручиваю медной проволокой колпачок электрической лампочки (рис. 8) и соединяю ее с электроскопом. Электроскопу сообщаю положительный заряд. Вы видите, его листочки разошлись и не опускаются. Ясно, что электричество не распространяется ни по стеклу, ни сквозь стекло лампочки накаливания, так как в противном случае оно перешло бы в патрон и осветительные провода, и электроскоп разрядился бы.

Теперь я поворачиваю выключатель. Лампочка загорелась и в то же время листочки электроскопа опустились. Понятно, что электроскоп, заряженный положительно, мог разрядиться только при условии, что электроны, выделяемые волоском лампочки, проникли сквозь стекло колпачка в электроскоп и нейтрализовали его заряд.

Электроны не могут, конечно, проходить сквозь стекло. Их удалось вообще вывести наружу (из разреженного пространства) только через тончайшую алюминиевую пластинку, впаянную в стенки стеклянного баллона.

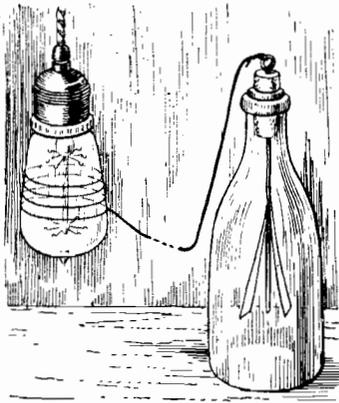


Рис. 8. Если включить электрическую лампочку в сеть, то электро-скоп разрядится.

Положительный заряд медной проволоки (навернутой на лампочку) притягивает к себе электроны так же, как их притягивало наэлектризованное ламповое стекло. Электроны в свою очередь притягивают к себе электричество электроскопа, которое почти полностью собирается на медной проволоке. Так мы разрешили последнюю задачу.

— Товарищи, мы сейчас познакомились с новым видом движения электричества — потоком электронов. Меня интересует один во-

прос — мы все время говорим: движущееся электричество это и есть электрический ток. Как бы, где бы ни было приведено электричество в движение, его свойства будут те же, что и свойства электрического тока, идущего, например, в нашу электрическую лампочку от городской электростанции. Однако, на мой взгляд, самые простые соображения показывают, что это не так.

Задача № 34.

О разных электрических токах.

Почему нигде и никогда не зажигали электрической лампочки от электричества, полученного трением? Вы скажете, потому, что динамомашин или гальванические элементы сильнее, нежели так называемые электрофорные машины или машины трения, но я определенно могу утверждать, что самая сильная

машина трения не сможет своим током зажечь самую маленькую электрическую лампочку, какая только существует на свете. Да и не только лампочку — ни один прибор, действующий от тока динамо или элементов, например, электрический звонок, телеграф, телефон и проч., не будет работать от тока машины трения.

Ясно, что движущееся электричество динамомашин и движущееся электричество, полученное трением, имеют неодинаковые свойства.

За эту задачу мы во-всю разделили нашего протестанта. Мы даже сказали ему, что единственно упрямством или желанием во что бы то ни стало спорить можно оправдать вообще постановку подобной задачи.

При разборе вопроса о том, в какой степени электрический ток способен произвести те или иные явления, у нас возникает мысль об его силе, или, как говорят, *силе тока*. Сила тока определяется количеством электричества, протекающим через проводник в 1 секунду.

В практической системе единица силы тока называется *ампер*.

Если в каждую секунду через проводник проносится 1 кулон, то сила тока в таком проводнике равна 1 амперу.

Понятно, что чем больше сила тока, тем сильнее его действие. Для малосвечной лампочки сила тока нужна меньшая, чем для многосвечной. Самая маленькая лампочка, недавно построенная для специальных целей в Америке, потребляет для своего горения 0,01 ампера. А большая электростатическая машина в лучшем случае может дать 0,0001 ампера.

По тем же причинам электрофорной машиной или машиной трения нельзя привести в движение электрический звонок. Но товарищ неправ, говоря, что и телефонной трубкой нельзя обнаружить этих слабых токов. Телефонная трубка необыкновенно чувствительна. Она дает ясно слышимый звук, когда через нее проходят токи, не достигающие даже одной миллионной доли ампера.

После всех наших объяснений, неожиданно выступил председатель и сказал:

— Я вам сейчас прочитаю отрывок из журнала „Н. и Т.“ № 20 за 1924 год. Это будет наша

Задача № 35.

Без особого названия.

„Новый велосипедный фонарь. Нововведением в деле велосипедного оборудования является использование вращения велосипедного колеса для добытия электрического тока, питающего велосипедный фонарь. К вилке переднего колеса прикрепляется миниатюрный электро-генератор*, часть которого прижимается к шине колеса. Порождаемое трением электричество сообщается по проводу лампе фонаря. Хотя получаемый ток достаточно силен, на скорость хода велосипеда это приспособление не оказывает невыгодного влияния“.

Вы спросите: в чем дело? Где тут задача или вопрос? А вам не хочется сделать по поводу этой заметки какого-нибудь замечания? Или, может быть, даже нескольких?

Приведенная заметка является образчиком величайшей научной безграмотности. Мы были очень благодарны нашему председателю за то, что он лишним раз подчеркнул, как необходимо развивать в себе знания и критику для того, чтобы не дать сбить себя с толку хотя бы сенсационными сообщениями нашей прессы.

Не будем говорить о том, что описываемый в заметке электро-генератор является таким „нововведением“, которое было очень хорошо известно еще в довоенное время. Не будем придирается к выражению: „... часть которого прижимается к шине колеса“. (Эту часть принято называть *шкив*).

* Генератор — источник.

Но мы должны остановиться на той фразе, в которой автор заметки говорит о „порождаемом трением электричестве“.

Один из присутствующих на обсуждении этой задачи товарищей сказал:

— Эта заметка напомнила мне один случай. Когда я был ребенком, я с сестрой проходил мимо окна электрической станции и спросил ее: „Отчего получается электричество в динамомашине?“ — „От трения“, — отвечала сестра. К сожалению, я убедился впоследствии, что большинство незнакомых с электротехникой уверены в том, что та часть динамомашин, которая вращается (якорь), трется о ту часть, которая ее окружает. Это трение, по их мнению, и является источником электрического тока. Если бы они знали, что все усилия техники направлены именно к тому, чтобы ослабить возможно больше существующее, к сожалению, в динамо (как и во всякой другой машине) трение подшипников и воздуха! Если бы они понимали, что ослабить трение стараются для того, чтобы усилить ток динамо! Велосипедный электро-генератор построен на тех же принципах, как и динамомашин. Поэтому разбираемая фраза о „порождении“ в нем электричества трением указывает на незнакомство автора не только с устройством этого простенького приборчика, но и с основами электротехники.

К нашему удивлению, и после этой задачи нашелся еще один не убежденный, который заявил:

— Во всяком случае, какая-то разница между токами существует, даже если мы не будем касаться электростатических машин. Например:

Задача № 36.

О земляном проводе.

Для телеграфной, звонковой и телефонной проводки употребляют вместо одного провода землю, а для осветительной этого никогда не делают.

Почему?

Сопrotивление земли, как и любого другого тела, зависит от длины пути, по которому проходит ток. Говорят: сопро-

тивление проводника будет прямо пропорционально его длине. Указанная зависимость как-будто бы говорит в пользу применения „земляного провода“ именно для электрического освещения, а не для телеграфа. Расстояние от электростанции до самого удаленного абонента можно измерить несколькими километрами, а длину телеграфной линии сотнями и тысячами километров. Следовательно, электрический ток во втором случае проходит по земле в сотни раз большее расстояние, чем в первом, поэтому во втором случае и сопротивление земли должно было бы быть во столько же раз больше. И, однако, как правильно указал наш товарищ, именно во втором случае пользуются землей в качестве обратного провода, а в первом нет.

Вопрос был очень интересный, но разрешить его нам удалось лишь много времени спустя. Однако, председатель обратил наше внимание на одну ошибку, которую мы допустили в наших рассуждениях.

— Вы правы, конечно, сказал он, — утверждая, что сопротивление земли зависит от длины пути проходящего в ней электрического тока, но вы забыли одно важное обстоятельство: сопротивление проводника будет обратно пропорционально его толщине, т.-е. площади его поперечного сечения. Огромная толщина земли в сильнейшей степени уменьшает ее сопротивление, так что практически, будет ли длина „земляного провода“ в несколько километров или сотен километров, его сопротивление будет очень небольшое. Я также не смогу вам ответить на вопрос: почему для осветительной сети не употребляют в качестве второго провода землю, но могу сказать о некоторых неудобствах применения „земляного провода“ вообще.

В толще земли протекают электрические токи естественного происхождения, которые меняют как свою силу, так и направление. Эти земные токи могут попасть в любую электрическую проводку, если в качестве обратного провода применяется земля. Для работы таких сравнительно грубых аппаратов, как телеграфные, это, вообще говоря, не имеет существенного значения, хотя и их приходится иногда выключать во время сильных токов, возникающих в почве. Такой же чувствительный аппарат, как, например, телефон, никогда не может

работать удовлетворительно на больших расстояниях. В телефонной трубке слышится от действия земных токов характерное шипение и потрескивание, которое при неблагоприятных условиях совершенно заглушает речь.

Однако, товарищи, мы очень поверхностно коснулись законов сопротивления. Чтобы напомнить о них, я сообщу вам один любопытный рассказ.

— В маленькой стране Нидерландах сотни лет назад было сделано замечательное изобретение. Эта прибрежная страна вечно страдала от наводнений, которые происходили иногда так неожиданно и с такой силой, что жители не успевали принять какие-либо меры предосторожности. И вот однажды, как говорит предание, старый ученый „погрузил в море два стержня и провел от них проволоки к городской башне“. На башне он установил „указатель“ и колокол. И с того дня жители города могли заранее знать о подъеме воды в море. „Если воды поднимались, стрелка указателя шла вправо, и когда вода поднималась до роковой черты, начинал бить колокол на башне“.

— Конечно, мы сейчас совершенно не можем выяснить, как были сделаны „указатель“ и „колокол“ старого ученого, но для меня ясно, что вся его установка работала электричеством. Мне хочется использовать идею нидерландского ученого и предложить вам задачу чисто практического характера.

Задача № 37.

О головных шпильках и о „Немецком море“ в банке.

— Воспользуемся, товарищи, током от городской станции, а вместо указателя возьмем электрическую лампочку. Вот вам проволоки для включения; вот две головные шпильки вместо „стержней“ и банка вместо Немецкого моря.

Повышение уровня воды в банке мы будем отмечать по степени яркости горения лампы.

— Ну-ка, товарищи, покажите на практике, как выполнить такую установку.

Установка вполне понятна из рисунка 9. Ток из одного провода городской сети* шел в лампочку накаливания, затем по проволоке проходил в соединенную с ней головную шпильку, из нее в воду, из воды во вторую шпильку и, наконец, по проволоке возвращался во второй провод городской сети.

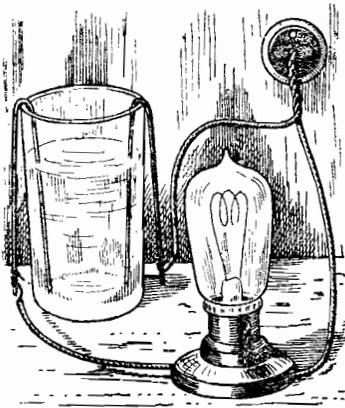


Рис. 9. Чем больше мы подливали воды в банку, тем ярче горела лампочка.

Чем больше мы наливаем воды в банку, тем по большей толщине ее идет ток и лампочка начинает гореть светлей. Это происходит оттого, что чем толще проводник, тем меньше он оказывает сопротивления току.

Вообще можно сказать, что сопротивление проводника будет прямо пропорционально его длине и удельному сопротивлению и обратно пропорционально площади его поперечного сечения.

Эту зависимость можно записать такой формулой:

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

где R — сопротивление в омах, ρ — удельное сопротивление, l — длина в см и S — площадь сечения в см².

Ом — это практическая единица сопротивления.

1 ом равен сопротивлению столба ртути длиной в 106 см при площади сечения в 1 мм².

Сопротивление раствора зависит от длины и толщины (от площади) погруженной в жидкость шпильки.

Тут же следует заметить, что подобная установка дает возможность очень легко убедиться на опыте в зависимости сопротивления и от длины проводника. Стоит лишь сдвигать и раздвигать шпильки для того, чтобы по яркости горения лампы можно было убедиться в этом.

* Во всех работах включение в городскую сеть у нас производилось через штепсель.

Когда мы решили, наконец, как следует соединить все отдельные части установки, то мы чуть было не отказались от этого проекта, так как наше „Немецкое море“ совершенно не проводило тока. Мы наливали полную банку воды, и, несмотря на это, лампочка даже не накалялась. Для нас была понятна причина этого — вода имеет огромное сопротивление и через нее проходит такой слабый ток, который не может накаливать волосок лампочки, но от этого соображения решить задачу становилось не легче. Наоборот, казалось, что в обстановке нашей комнаты ее вообще нельзя решить.

Однако, кто-то из нас вспомнил, что морская вода „соленая“. Мы посолили немедленно и воду в банке, и лампочка загорелась. Конечно, мы не могли удержаться, чтобы не испробовать таким простым способом другие растворы. Мы подливали уксус, нажимали лимон, насыпали вместо соли (поваренной) соду, глауберову соль и проч. Легко было заметить по силе света лампочки, что: 1) сопротивление различных веществ различно, 2) сопротивление растворов кислот меньше растворов солей и 3) сопротивление раствора зависит от его концентрации.

Между прочим, мы вспомнили, что удельное сопротивление материала проводника равно сопротивлению его отрезка длиной в 1 см с поперечным сечением в 1 см².

Как различны сопротивления веществ, мы поняли тогда, когда рассчитали, что удельное сопротивление железа в 7 раз, а чистой воды приблизительно в пять триллионов раз больше, чем меди. Если взять столбик чистой воды длиной в 1 мм, то его сопротивление было бы равно сопротивлению медной проволоки с таким же сечением длиной в 60 000 000 км. Длина такой проволоки была бы в 150 раз больше среднего расстояния луны от земли.

Разрешив все эти вопросы, мы и подумать не могли, что кто-нибудь захочет нас вернуть к старому вопросу задачи № 36.

— Мы отклонились, товарищи, в сторону. Я во всяком случае не считаю доказанным, что в качестве обратного провода электростанции не пользуются землей. У меня есть очень серьезные соображения, из которых, надеюсь, вы поймете, что и ток электростанций пускается через землю.

Задача № 38.

О своенравном винограде.

Я жил под Ленинградом на даче. В этом поселке была своя электростанция. К фасаду дома, в котором я поселился, шли через двор две голые проволоки для питания электрических ламп в доме. По всему фасаду густо рос дикий виноград, поднимаясь по специально натянутым проволокам до самой крыши. Во время своего буйного роста виноград цеплялся усиками за все выступы, какие только отыскивал на доме. Водосточные трубы, карнизы над окнами — все было густо обвито этим растением. Но вот его „усики“ добрались, наконец, и до проволок, перекинутых с фасада дома к столбу, которые подавали ток для дома. Началась неустанная работа спиральных усиков винограда, и через месяц добрых 50 см провода были увиты виноградом. Однако, замечательно было то, что виноград обвивал только один провод. Вторая проволока была совершенно свободна от него. Мало того, когда я отмотал виноград с первой проволоки и намотал его на вторую, то через два дня он самостоятельно освободился от этой проволоки и начал опять наматываться на первую. При этом некоторые листья оказались отмершими. Когда я пробовал впоследствии закручивать усики винограда на этот второй провод, то каждый раз они очень быстро блекли и увядали.

Чем это можно объяснить, товарищи, как не действием электрического тока? Ну, а если вы начнете соображать, как же ток мог действовать на виноград, то увидите, что ваша основная мысль, высказанная в задаче № 36, не верна.

Не успели мы как следует ориентироваться в поставленном вопросе, как другой член нашего кружка заявил нам, что

этот вопрос следует разбирать, исходя из совершенно иных соображений.

— Ведь каждый провод, несомненно, заряжен электричеством. Следовательно, он имеет тот или иной потенциал, который, конечно, не равен потенциалу незаряженного тела. Потенциал незаряженного тела так же, как и потенциал земли, принимают условно равным нулю. Понятно, что если я коснусь рукой провода, то моя рука должна будет испытать удар электричества, так как между моей рукой и проводом будет существовать разность потенциалов, не равная 0. То же можно сказать и о винограде.

Мы были несогласны с рассуждениями товарища.

— Конечно, ты прав, — сказал один из нас, — что каждый провод должен иметь определенный потенциал, как его имела и наша натертая свечка, но величина потенциала провода, по меньшей мере, раз в десять меньше потенциала свечки. Однако, даже заряд свечи не производил никакого заметного ощущения, когда мы подносили к ней палец — тем более мы не должны ничего почувствовать от прикосновения к проводу.

Следует подчеркнуть, что электрический ток, применяемый на практике электростанциями, может произвести известное действие на живой организм только при условии, если, например, человек возьмется руками за две проволоки, идущие со станции. Если же он коснется рукой только одной проволоки, то он совершенно ничего не сможет почувствовать. Вообще необходимо, чтобы через тело человека (или его часть) протекал бы определенной силы ток, а для этого прежде всего необходимо, чтобы проволоки, идущие от *обоих* полюсов генератора, касались бы тела человека.

— Вот как вы рассуждаете, — возразил нам товарищ. — Не хотите ли в таком случае выслушать мою

Задачу № 39.

О „возмездии“ за убитую лягушку.

— Мне было тогда лет десять. На нашем дворе горела низко над землей электрическая лампочка. Как-то вечером я поймал лягушку, и мне пришла

в голову мысль поднести лягушку к цоколю* лампы. Взяв ее за лапки, я поднял ее к лампочке. Но едва ее мордочка коснулась металлической нарезки цоколя, как я почувствовал такой сильный удар электричества, что, взметнув руками, опрокинулся навзничь. Несколько часов я ходил совсем ошалелый и чувствовал боль в руке.

— Согласитесь сами, что здесь не может быть и речи о прикосновении к двум проводам.

Электрические станции часто соединяют с землей один провод.

Рис. 10. Сколько раз я ни обвивал виноград вокруг верхнего провода, он либо отматывался с него, либо погибал.

На рис. 10 показано, почему дикий виноград мог обвиваться только вокруг провода ab . Действительно, когда рассказчик насильно навивал его на провод cd (см. рис. 10), то электрический ток шел из провода ab через медную пластинку в землю, затем в корни винограда и по стеблям входил в провод cd , возвращаясь на электрическую станцию. Таким образом виноград оказывался включенным в цепь тока. Понятно, что наиболее нежные части винограда легко могли быть сильно повреждены током. Если бы ток был сильнее, то могли бы быть повреждены и корни, и весь виноград пропал бы.

История с лягушкой объясняется также просто. Случайно винтовая нарезка цоколя лампочки была присоединена к тому проводу, который не был заземлен. Таким образом ток из него прошел в лягушку, затем в тело рассказчика, в землю и из нее по пластинке во второй провод. Если бы винтовая нарезка цоколя была соединена с другим проводом, то, конечно, ни рассказчик, ни лягушка ничего бы не почувствовали. Если

* Цоколь — нижняя часть лампы, ввинчивающаяся в патрон.

бы человек повис на одном проводе не касаясь земли, он не почувствовал бы тока, так как касался бы одного полюса генератора. Вот почему галка спокойно разгуливает по проводу на удивление тех, кто спрашивает: „Почему ее не убьет током?“

После решения этой задачи не в пользу ее автора, он (автор) неожиданно получил весьма сильную поддержку от одного своего товарища.

— Надеюсь, — сказал тот, — что моя задача изменит ваше мнение.

Задача № 40.

О немецком заграждении.

— Вам, конечно, известно, товарищи, что во время войны 1914 года немцы пропускали электрический ток через некоторые свои проволочные заграждения для того, чтобы их невозможно было даже перерезать. Но моему брату, бывшему на фронте, пришлось оказаться в совершенно исключительном положении. Между двумя столбами немецких проволочных заграждений оказались порванными все проволочки, концы которых валялись на земле около столбов. Во время разведки брат решил пройти между этими столбами. Но едва он ступил между ними, как ноги его почувствовали сильнейшее электрическое раздражение. Он стал прыгать с ноги на ногу, но это не помогло, и он вынужден был вернуться обратно.

Вот и вся история с моим братом. Должен добавить, что во время разведки шел дождь, и земля и сапоги брата были мокрые. Полагаю, что это последнее обстоятельство объясняет только одно — хорошую проводимость земли и сапог. Остальное же, если исходить из вашей теории, совершенно необъяснимо. Для меня вполне понятно, что электрический ток проходил между концами оборванных проволочек по земле. Но ведь это значит, что земля

заменила собой проволоку. *Одну* проволоку. А между тем мой брат почувствовал в ногах ток. Не подумайте, что он как-нибудь коснулся ногами проволок,— между их концами было около двух метров.

Вот как мы объяснили себе этот случай: представьте, что мы закопали в землю (рис. 11) на расстоянии, скажем, двух метров две медные пластинки, так что их край возвышается несколько над землей. Соединим затем эти две пластинки с каким-нибудь генератором достаточно мощного тока. Пусть на землю между пластинками встанет кто-нибудь из вас, расставив ноги. На первый взгляд кажется, что нет никаких причин для того, чтобы электрический ток пошел через тело нашего товарища. Однако, это не так. Действительно, одинаковые ли потенциалы будут около ног экспериментатора? Для того, чтобы ответить на этот вопрос, вспомним одно—может ли быть движение электричества (ток) между



Рис. 11. Если из генератора тока *G* пропустить ток через землю между пластинами *A* и *B*, то, встав между ними, вы почувствуете ток.

точками с равным потенциалом? Конечно, нет. Лист *A* имеет больший потенциал, нежели лист *B*, потому-то электричество и движется по земле от *A* к *B*. Но совершенно очевидно, что и на поверхности земли между *A* и *B* потенциал каждой точки, более удаленной от *A*, будет меньше, чем точки менее удаленной,— иначе между ними не было бы тока. Если человек встал на землю, то потенциалы соответствующих точек поверхности земли под его ногами передадутся этим последним. А так как потенциал ноги *a* будет больше потенциала ноги *b*, то очевидно, между этими неравными потенциалами возникает ток, проходящий через ноги. Понятно, что он будет тем сильнее, чем большая разность будет между этими потенциалами. Разность потенциалов будет тем больше, чем шире расставит человек ноги. Это так называемое падение потенциала вдоль

проводника будет пропорционально его сопротивлению. Кроме того разность потенциалов между ногами будет тем больше, чем большая разность потенциалов между пластинками *A* и *B*, а это, в свою очередь, зависит от разности потенциалов на полюсах генератора. Так как немцы для своих проводочных заграждений пользовались генераторами, дающими очень большие разности потенциалов, то для того, чтобы получить сильное раздражение в ногах, не надо было даже их раздвигать.

Пожалуй, здесь уместно напомнить, что в практической системе за единицу потенциала принимают *вольт*.

1 вольт равен той разности потенциалов на концах проводника с сопротивлением в 1 ом, которая устанавливается тогда, когда сила тока, проходящего через проводник, равна 1 амперу.

Для того, чтобы все разобранные вопросы освежить цифрами, мы приведем некоторые из них. Электрический ток употребляемый для освещения, идет при разности потенциалов в 110 *V*—220 *V*. Генераторы, употребляемые немцами для проводочных заграждений, давали от 1000 *V* до 5000 *V*. Найвысшая разность потенциалов, достигнутая в наших лабораториях— около 10 миллионов вольт. Батарея карманного фонаря дает около 4,5 *V*. Элемент Даниэля— 1 *V*.

Разобрав подробно этот интересный случай, мы хотели уже поставить точку, но среди нашего коллектива нашелся еще один несогласный.

— Товарищи, — сказал он, — я не возражаю на ваши объяснения. Они, конечно, правильны, но я считаю их недостаточными. Я определенно могу доказать вам на опыте, что мы ощущаем электрическое раздражение при известных условиях даже тогда, когда наше тело касается проводника (по которому идет ток) только *в одной точке*. Вы же должны согласиться, что к такому случаю ваши объяснения не применимы.

— Но такого случая и быть не может, — возразили мы. — Если бы твой проводник был заряжен до потенциала в десятки тысяч вольт, то тогда ты мог бы почувствовать удар электричества, но и он не заставил бы тебя покинуть поле битвы. А

мы рассматриваем такие токи, разность потенциалов которых не превышает 5000 V.

— Не 5000 V, — сказал товарищ, — а 110 V. Смотрите, я сейчас покажу вам опыт.

Задача № 41.

О точке в „Немецком море“.

— Перед вами та же установка, какая была в задаче № 37. Пожалуйста, пусть кто-нибудь подойдет и опустит *один* палец в соленую воду между шпильками.

— Ага, вы морщитесь и отдергиваете палец! Что ж, может быть, вы и сейчас скажете, что ваш *один палец находится в двух точках* „Немецкого моря“?

Это геометрическая, а не физическая задача. Напрасно иронизировал наш товарищ—один палец находится безусловно не в одной точке. Поверхность пальца будет касаться различных точек воды, имеющих и различные потенциалы. Токи будут проходить, конечно, только через ту часть пальца, которая погружена в жидкость.

Мы вспомнили, между прочим, что хотя разность потенциалов и является причиной движения электричества (тока), но должна существовать еще причина, которая создает эти разницы в потенциалах — основная причина движения тока. Эту причину называют *электродвижущей силой*. Э.-д. с. генератора измеряется разностью потенциалов его полюсов. Следовательно, в практической системе э.-д. с. измеряется вольтами.

Бывает иногда, что простой вопрос труднее разрешается, чем сложный. Эта простенькая задача действительно в первые мгновения поставила нас в тупик, но с помощью наших сильных товарищей мы одолели и ее. Автор этой задачи согласился с нами, но сказал, что проделывая опыт, он заметил совершенно непонятное явление, которое, может быть, не только заинтересует нас, но и удивит.

Задача № 42.

О слабом токе, который сильнее сильного.

— Смотрите, товарищи: я насыпаю много соли в нашу банку, лампочка горит почти полным светом, так как сопротивление раствора малое. Опустите теперь в банку палец. Он не чувствует ни малейшего раздражения. Теперь я сменяю воду в банке и насыпаю очень мало соли, так мало, что лампочка едва накаливается. Если теперь вы опустите палец в воду, то он испытает весьма болезненное раздражение.

— Как же понять эти два опыта? В первом ток был гораздо сильнее, чем во втором, а палец ощущал именно этот слабый ток, а не сильный.

Для решения этой задачи нужно вспомнить знаменитый закон, открытый немецким ученым Омом. Этот закон дает зависимость между силой тока, электродвижущей силой и сопротивлением. Закон Ома может быть символически записан так:

$$I = \frac{E}{R},$$

где I — сила тока в амперах, E — э.-д. с. в вольтах и R — полное сопротивление всей цепи, выраженное в омах.

Нашу задачу мы решили следующим образом.

Для нашего опыта мы брали 10-свечную экономическую лампочку. Для полного накаливания ее волоска требовалось немного больше 0,1 ампера. Так как в первом опыте лампочка почти не изменяла яркости своего горения при включении банки с соленой водой, то мы приняли силу тока равной 0,1 ампера. Общее сопротивление лампочки и раствора можно было найти, пользуясь формулой Ома. Э.-д. с. в нашей цепи была 110 V, следовательно

$$R = \frac{110}{0,1} = 1100 \text{ омов.}$$

Сопротивлением проводов можно пренебречь ввиду его незначительной величины.

Ясно, конечно, что на долю сопротивления раствора соли приходилась очень незначительная часть всего сопротивления. Допустим для круглого счета, что оно равнялось 100 омам. Это во всяком случае больше истинной величины.

Мы уже говорили, что потенциал падает пропорционально сопротивлению цепи. Следовательно, если электрический ток, пройдя сопротивление в 1100 омов, снизил потенциал на 110 *V* то очевидно, что пройдя 100 омов, он понизит потенциал на 10 *V*. Таким образом, даже между шпильками будет существовать разность потенциалов всего в 10 *V*, а на поверхности пальца еще меньше. Это недостаточно для того, чтобы ощутить физиологическое действие тока.

Теперь нальем в банку наш слабый раствор, сопротивление которого огромно. Скажем даже, что сила тока в цепи теперь уменьшилась только в 10 раз. Тогда сопротивление всей цепи будет:

$$R = \frac{110}{0,01} = 11000 \text{ омов.}$$

Лампочка из предыдущего расчета имеет сопротивление в 1000 омов, следовательно, на долю раствора теперь приходится 10 000 омов.

Повторяем предыдущее рассуждение: если потенциал на протяжении 11 000 омов снизился на 110 *V* то на 10 000 омов он должен упасть на

$$V = \frac{110 \cdot 10000}{11000} = 100 \text{ вольт.}$$

Итак, теперь между шпильками разность потенциалов равна уже 100 *V*, и хотя, конечно, на палец будет действовать меньшая э.-д. с., но все же она будет достаточной для того, чтобы оказать физиологическое действие.

Вот и весь секрет этой задачи. Чем больше сопротивление будет у раствора соли, тем большая разность потенциалов будет между шпильками, а значит, и у пальца. Физиологическое действие тока происходит главным образом за счет величины э.-д. с. В электротехнике э.-д. с. до 220 *V* считают не опасными, до 500 *V* — опасными, а выше — смертельными.

Мы не удовлетворились одними теоретическими доказательствами. Мы показали и на опыте нашему товарищу, что он не

прав. Мы опустили в раствор соли вместо пальца один конец проволоки, а к другому притрагивались пальцем, — как и следовало ожидать, мы ничего при этом не чувствовали.

После решения этой задачи нам пришлось вновь выслушать критику ее автора уже по другому вопросу.

— Товарищи, мы определенно запутались в двух понятиях: сила тока и э.-д. с. Мы начали с того определения, что ток произведет тем больший эффект, чем больше его сила. Это было вполне понятно. Но в решении задачи № 42 вы уже говорили, что физиологическое действие тока будет тем сильнее, чем больше э.-д. с. Конечно, может быть такое странное влияние э.-д. с. оказывает только на нервно-мышечную систему животных, но и тогда остается совершенно непонятным, почему же сила тока не оказывает на нее никакого влияния.

— Ничего подобного, — заговорил другой товарищ, — сила тока не менее непонятно ведет себя и по отношению к электрической лампочке. Я давно уже ищу случая поделиться с вами моим горем.

Задача № 43.

О „глупой“ силе тока.

— У меня в квартире нет электрического освещения. Однако у меня уже давно был карманный электрический фонарик. На его лампочке было написано 0,5 *A* и 4 *V*. Она прекрасно горела. Когда выяснилось из наших бесед, что большая 10-свечная лампочка употребляет всего около 0,1 *A*, я обрадовался. Действительно, от моего карманного фонарика я мог бы зажечь пять таких ламп. Силы у электрического тока на это хватило бы, так как он питал лампочку на 0,5 *A*. Немедленно же я купил для пробы одну 10-свечную лампочку и присоединил ее к своему фонарику. Она даже не накалилась. А отец мне на это сказал:

— Эх, ты, электротехник! Да ведь маленькая-то лампочка на 4 *V*, а большая на 110 *V*.

— Значит, дело было не в силе тока, а в э.-д. с. Силы тока ведь должно было хватить за глаза. Ну и глупая же эта самая сила,—подумал я,—если от нее не зависит даже сила света лампы.

Сопротивление 10-свечной лампочки на 110 В, как мы уже и нашли, будет около 1000 омов. Какой же силы ток сможет пройти через нее при включении ее в цепь карманной батарейки? Ответ на это дает закон Ома:

$$I = \frac{4}{1000} = 0,004 \text{ ампера.}$$

Для простоты мы пренебрегаем внутренним сопротивлением батарейки, так как оно очень мало.

Совершенно ясно, что если для горения лампочки необходима сила тока в 0,1 А, то 0,004 А окажется недостаточным даже для ее слабого накаливания. Отсюда видно, что вопрос и в этой задаче заключался в величине силы тока.

Физиологическое действие тока зависит, конечно, также от силы тока. Но для того, чтобы она достигла величины, достаточной для получения физиологического эффекта, мы должны, как это видно из формулы Ома, при больших сопротивлениях нашей кожи увеличивать э.-д. с. генератора.

Следует, впрочем, заметить, что физиологическое действие тока зависит в сильнейшей степени и от характера самого тока. Так, два тока одинаковой силы и разности потенциалов могут произвести различное действие на организм, если один из них прерывистый.

На изобретательском пути.

— Теперь для меня все ясно,—сказал после решения задачи № 43 пострадавший автор ее.—Но у меня есть одно наблюдение, которое я сделал, когда исследовал сопротивление раствора соли. Не правда ли, товарищи, ведь если мы вообще и можем говорить об удельном сопротивлении вещества, то значит, что сопротивление каждого вещества при неизменяющихся условиях есть величина постоянная? Однако, мой опыт убедил меня в противном. Сейчас я проделаю его перед вами.

Задача № 44.

О старческом изменении сопротивления.

— Я ставлю на стол ту же банку с раствором соли, с которым мы все время делали опыты. Так же, как и раньше, я включаю ее через лампочку, но лампочку беру на 100 свечей для того, чтобы мой опыт протекал быстрее. Вы видите, что лампочка горит красноватым светом, так как сопротивление раствора довольно значительно. Теперь наблюдайте за светом лампы. Уже через 2-3 минуты вы заметите, что она начинает ярче гореть, а через полчаса лампочка будет гореть так ярко, как-будто никакого сопротивления и не было включено в ее цепь. Понятно, что это происходит от усиления тока. Но отчего же мог усилиться ток, как не от уменьшения сопротивления раствора? Однако, чем же могло быть вызвано это уменьшение, если все условия остались

одинаковыми? Правда, изменилось *время*. Мы начали опыт в 3 ч. 20 м., а сейчас 3 ч. 55 м.

Человек меняется с течением времени, но неужели же время действует и на раствор соли?

Председатель по поводу этой задачи заметил:

— Ты говоришь, что все условия опыта остались одинаковыми, но ты не заметил никаких изменений только потому, что ты не наблюдал всеми своими органами чувств. Твои глаза отметили изменение силы света лампочки, но, может быть, для того, чтобы обнаружить причину этого изменения, надо было наблюдать не глазами?

Мы легко догадались, в чем заключалась причина уменьшения сопротивления раствора, и были очень благодарны нашему товарищу за то, что он в своей задаче дал возможность на одном опыте обнаружить два свойства электрического тока.

Мы знаем, что при прохождении тока через проводник он нагревается. Следовательно, температура раствора соли должна была во время опыта возрасти. С другой стороны, величина сопротивления проводника зависит от его температуры. Жидкие проводники-электролиты и уголь уменьшают свое сопротивление от повышения температуры.

— Товарищи, да ведь если наше решение верно, то мы же можем таким способом кипятить себе чай и варить яйца. Ни электрической плиты, ни электрической кастрюли нам не нужно.

Однако, практика, к сожалению, этого не оправдывает. Я ставил такую банку с раствором соли у себя дома на целую ночь, и раствор не только не закипел, но даже не нагрелся сильнее, чем за полчаса нашего опыта.

— Это вполне понятно,—заметили некоторые из присутствующих.—Ты забыл о законе Джоуля-Ленца. Вспомни формулу: $Q = 0,24 I^2 R t$, где Q — калории*, выделяемые током I — сила тока, проходящего через раствор, R — сопротивление раствора и t — время, в течение которого шел ток. Из этой

* Калория—единица количества тепла, равная тому количеству тепла, которое необходимо для того, чтобы 1 г воды нагреть на 1° Ц.

формулы ты видишь, что количество тепла, выделяемое током, пропорционально квадрату силы тока, а у тебя ток был очень слабый.

После решения этой задачи председатель предложил нам новую.

Задача № 45.

Как два ножа вскипятили стакан чаю.

— Я ставлю, товарищи, на стол стакан с холодным чаем, кладу два ножа и две проволоки, концы которых вам разрешается присоединить к электрической сети. Как бы вы поступили для того, чтобы вскипятить этот простывший чай?

По улыбке председателя мы сразу почувствовали, что в этой задаче есть какая-то хитрость. Однако, через час мы любовались дымящимся чаем, но, попробовав, нашли его не очень вкусным.

Прежде всего мы сообразили, что для подобных опытов совершенно не нужно пропускать ток через электрическую лампочку. Ведь мы могли изменением концентрации раствора получить любую силу тока, которая оказалась бы не опасной для наших проводов. Для нас было совершенно ясно, что чай сам по себе не проводит электричества и что его следует превратить в раствор щелочи, соли или кислоты. Мы приготовили чай с лимоном и тут-то для нас стало ясно, почему председатель предложил ножи вместо шпилек. Если мы предполагали сварить чай годный для употребления, то мы не могли выжать в него много лимона, а при слабом кислотном растворе сила тока при пользовании ножами будет, очевидно,



Рис. 12. Ножи, которые мы употребляли для кипячения чая, были с металлическими черенками.

значительно больше, чем при шпильках, так как ширина ножа во много раз больше ширины шпильки.

Из рис. 12 видно, как мы соединили все части для кипячения чая.

Во время опытов над кипячением растворов я подметил одно новое явление, о котором и хотел рассказать моим товарищам. Однако, меня попросили подождать с *новым*, когда имеется еще и старый материал.

Задача № 46.

О даровом получении теплоты.

— Товарищи, закон Джоуля-Ленца говорит, что количество выделяемого в проводнике тепла пропорционально его сопротивлению. Но ведь отсюда следует, что мы можем от самого ничтожного тока получить неограниченное количество теплоты, пользуясь огромными сопротивлениями. Если это так, то электрические грелки были бы самыми выгодными в мире. Однако, практика показывает, что, наоборот, они самые неэкономные.

Товарищ безусловно прав, когда говорит, что от самого слабого тока можно получить очень большой тепловой эффект, употребляя большие сопротивления. Но представьте себе, что мы хотим использовать, например, силу тока всего в 1 А. Тем самым мы уже не можем брать произвольное сопротивление. Действительно, при определенной э. д.-с. в нашей осветительной сети (110 В) сопротивление по закону Ома должно быть равно

$$R = \frac{110}{1} = 110 \text{ омам.}$$

Понятно, что сколько бы мы ни старались увеличивать сопротивление, мы при этом неизбежно понизим силу тока. Мало того, если мы увеличим сопротивление в два раза, то сила тока уменьшится также в два раза, а так как количество тепла, выделяемое током, пропорционально квадрату силы тока, то оно

уменьшится в четыре раза от ослабления тока и увеличится в два раза от увеличения сопротивления.

Таким образом, в результате количество тепла уменьшится в два раза. Как видите, вместо выигрыша — проигрыш. Конечно, если мы, увеличивая сопротивление, будем повышать и э.-д. с. нашей осветительной сети, то мы сможем добиться того, что при каком угодно сопротивлении у нас в цепи может быть 1 А. Однако, повышать э.-д. с. нашей осветительной сети мы не можем, а если бы даже ради нас ее повысили на центральной станции, то это потребовало бы усиленной работы динамо-машины и также не принесло нам никакой экономии.

К сожалению, и после решения этого вопроса мне не дали рассказать о моем наблюдении, так как нашелся еще один вопрос по поводу закона Джоуля-Ленца. Признаюсь, что он очень заинтересовал и меня.

— Товарищи,—сказал кто-то из нас,—я хочу обратить ваше внимание на пропорциональность теплоты квадрату силы тока. Почему именно квадрату?

На это председатель сказал:

— Удивительно, товарищи, как только в какой-нибудь формуле встречается квадрат, так вас начинают разбирать сомнения. Ведь с таким же правом можно было бы спросить и о пропорциональности первой степени. Это такой же вопрос, как если бы вы спросили, почему меня зовут Андреем.

Почти все накинулись на председателя.

— Ничего подобного! Если бы была пропорциональность первой степени, то было бы все совершенно ясно. Я тебе сейчас докажу всю абсурдность существующей пропорции.

Задача № 47,

Пытающаяся подорвать доверие к зак. Джоуля-Ленца.

— Пусть у нас сила тока в 1 А выделяет в проволке 10 калорий в 1 сек. Мы говорим, что если силу тока увеличить в два раза, т.-е. довести ее до 2 А, то выделяться будет не 10 калорий, а 40 калорий.

Представьте себе, что мы этот опыт проделаем несколько иначе: возьмем вторую, точно такую же проволоку, как первая, и пустим через нее ток также в 1 А. Очевидно, что и в этой второй проволоке будет выделяться 10 калорий. Следовательно 2А в двух проволоках дадут 20 калорий, а в одной те же 2А дали 40 калорий в 1 сек. Нечего сказать, хорошенький закон! Примените-ка к этому случаю ваше I^2 .

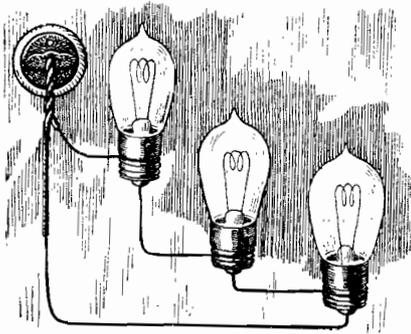


Рис. 13. Эти лампочки включены в сеть последовательно.

Но в первом расчете товарищ опять забыл, что увеличить силу тока в два раза можно, при постоянной э.д. с., только за счет уменьшения (в 2 раза) сопротивления проволок. Следовательно, и в первом случае в каждую секунду будет выделяться 20 калорий, а не 40.

Товарищ сомневается, можно ли вообще применить ко второму случаю закон Джоуля-Ленца. Но ведь он опять упустил из вида то обстоятельство, что, взяв вторую проволоку, он тем самым изменил сопротивление цепи. Для того, чтобы этот вопрос был ясен, напомним, что соединения проводников, источников тока или электрических приборов может быть двух родов: *последовательное и параллельное*. На рис. 13 показано последовательное соединение лампочек накаливания, на рис. 14 — параллельное. При последовательном соединении ток

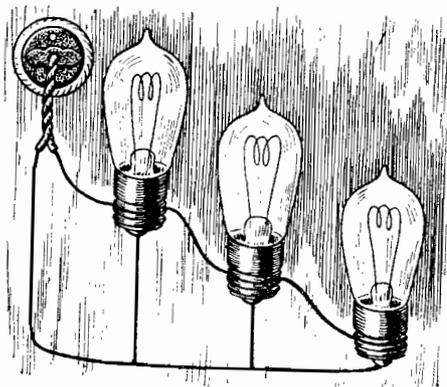


Рис. 14. А эти лампочки включены параллельно.

Во втором своем вычислении товарищ безусловно прав: ток в 2А будет в каждую секунду выделять 20 калорий.

проходит последовательно (по очереди) через все отдельные части цепи. При параллельном — ток, разветвляясь, входит одновременно во все части цепи, соединенные параллельно, и пройдя их, опять объединяется (сливается) в одном проводе.

Очевидно, что товарищ не мог включить вторую проволоку в цепь последовательно с первой, так как тогда сопротивление цепи увеличилось бы вдвое и сила тока вдвое же уменьшилась бы. Включив в цепь вторую проволоку параллельно первой, он тем самым уменьшил в два раза сопротивление цепи, а значит повысил силу тока до 2А. Действительно, ведь две параллельно соединенные проволоки (рис. 15) равноценны одной, с сечением в два раза большим, имеющей половинное сопротивление. Таким образом, в формулу Джоуля-Ленца нам придется вместо I^2 подставить 2^2 ампера, но вместо R в два раза меньшее сопротивление, что и даст в конечном итоге увеличение тепла только в два раза.

— Товарищи, — сказал я, — послушайте же, наконец, о моем наблюдении! Заметили ли вы, когда мы кипятили чай, что с поверхности ножей, опущенных в жидкость, отделялись пузырьки газа? Это еще удобнее наблюдать в соляном растворе, опустив в него вместо ножей два гвоздя. Конечно, мне не приходится вас спрашивать, что это за пузырьки? Мы имеем здесь дело с химическим разложением раствора соли электрическим током. На аноде (положительный полюс) мы должны получить хлор, а на катоде (отрицательный полюс) — водород. Таким образом, мы подошли, как видите, к электрохимическим явлениям. Но для меня загадка заключается вот в чем:

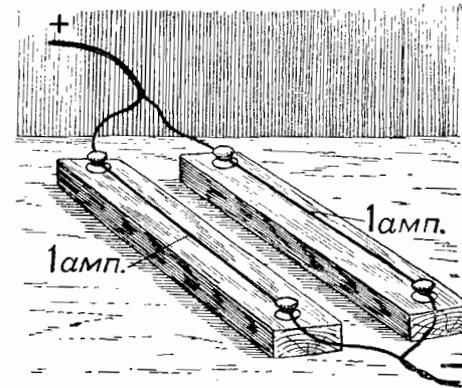


Рис. 15. На две дощечки натянуты проволоки одинакового сопротивления.

Задача № 48.

О „неведомом“ хлоре.

— Всем известно, что хлор — газ желтовато-зеленого цвета, обладающий необыкновенно резким, едким запахом. Однако, сколько бы вы ни внюхивались в поверхность кипящей воды, вы совершенно не обнаружите ни малейшего запаха. Думать, что хлора выделяется очень мало, также не приходится, так как пузырьки отделяются с обоих электродов весьма бурно и в большом количестве.

Наше внимание было остановлено и еще одним наблюдением: пузырьки выделялись тем сильнее, чем выше поднималась температура раствора. Самое бурное выделение наступало в тот момент, когда жидкость закипала. Мы объяснили это тем, что по мере нагревания жидкости ее проводимость становилась лучше, сила тока возрастала, а от этого возрастал и электрохимический эффект. Поваренная соль, или, как ее именуют в химии, хлористый натрий ($NaCl$) представляет собою, как и все вообще соли, соединение металла. В поваренной соли хлор соединен с металлом натрием. При разложении солей электрическим током металл всегда выделяется на катоде, но если металл, как, например, натрий обладает свойством соединяться с водой раствора, то мы его не сможем получить на катоде в свободном состоянии. Соединение натрия с водой сопровождается освобождением водорода воды, который и будет выделяться на катоде. Таким образом, мои рассуждения были правильны; на аноде должен выделяться хлор, а на катоде водород.

Однако, почему совершенно не чувствовался запах хлора, для нас так и осталось загадкой. Единственное, что мы могли предположить, это, что выделяющийся газ — не хлор. Но какой же тогда это мог быть газ?

Это была настолько трудная для нас задача, что мы решили заняться опытами у себя дома. Собравшись на следующий

день, мы никак не ожидали, что этот вопрос осложнится еще одним, прямо таки невероятным обстоятельством.

— Я сделаю сейчас перед вами опыт, — сказал один из наших товарищей, — который поразил меня настолько, что я до сих пор не могу притти в себя.

Задача № 49.

О бесследном исчезновении вещества.

— Товарищи, для меня вопрос вчерашней задачи сводился к тому, чтобы собрать выделяющийся газ и исследовать его. Сейчас я вам покажу, как я это выполнил. Вот небольшая банка с раствором соли. Я опускаю в нее большой гвоздь, соединенный с одной проволокой осветительной сети. Затем беру маленький гвоздик, прикрепляю его ко второй проволочке острием вверх (см. рис. 16) и погружаю также в банку. Теперь, товарищи, я замыкаю

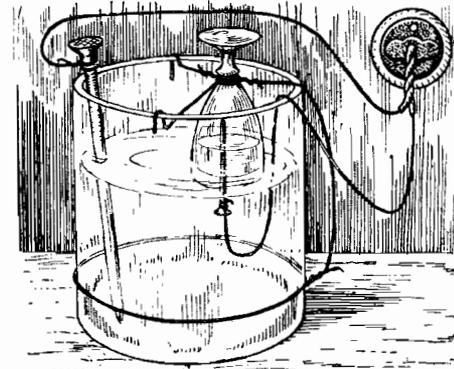


Рис. 16. Куда же исчез из рюмки таинственный газ, который выделялся во время электролиза поваренной соли?

ток. Вы видите, что пузырьки начинают отделяться с маленького гвоздя, причем, как мы это заметили и раньше, по мере нагревания раствора, количество пузырьков увеличивается. Выждем, пока пузырьки не начнут выделяться особенно сильно. Я соберу сейчас этот газ в рюмку. Для этого я приматываю к рюмке проволочку, погружаю ее всю в раствор, переворачиваю вверх дном и, осторожно приподнимая, подвожу ее к гвоздю, так, чтобы она его накрыла. Конец проволочки, которым я обмотал рюмку, я укрепляю к краю банки.

Вы видите, как постепенно рюмка начинает наполняться пузырьками. Реакция происходит все сильнее и сильнее, и рюмка в какую-нибудь минуту вся наполняется газом. Газ начинает большими пузырями выходить из-под края рюмки и подниматься на поверхность раствора. Теперь, товарищи, я выключу ток; но вы внимательно следите за рюмкой. Смотрите: в то же мгновение, как только прекратилось выделение газа, рюмка быстро начала заполняться жидкостью. Объем газа становится все меньше, меньше, и сейчас остался лишь маленький пузырек в рюмке. Газ *исчез*, товарищи! Растворится в воде, да притом еще в горячей, ни один из известных нам газов с такой быстротой не может. Куда же девался этот газ — наш „неведомый хлор“?

Надо признаться, пришлось нам поломать над этим головы. Долго мы смеялись сами над собой, когда, наконец, разгадали загадку.

Наш таинственный газ оказался водяным паром. К нашему величайшему удивлению, пузырьки, которые так бурно исходили от электродов, образовались не вследствие химической реакции, а благодаря кипению. Раствор очень сильно нагревался около поверхности электродов и начинал кипеть задолго до того, как наступало его общее кипение. Однако, это все-таки не объясняло причины — почему у нас электрический ток не вызывал химической реакции, разложения раствора соли?

Выручил нас один из товарищей, который торжественно раскрыл книгу и сказал:

— Послушайте, что говорит профессор Лебединский в своей книге „Электричество и магнетизм“: „Переменный ток имеет большие преимущества в сравнении с постоянным при передаче энергии на большие расстояния“. Все центральные станции более или менее крупных городов дают именно переменные токи. „Но переменным током нельзя производить электролиза: когда ток переменит свое направление, обратная химическая реакция уничтожит все, что было произведено при начальном направлении тока“.

Товарищи, ведь мы совсем забыли, что наша осветительная сеть питается *переменным* током. Этот ток меняет свое направление 100 раз в 1 секунду. Очевидно, что тот гвоздь, который мы принимали за анод, на самом деле становился по очереди то анодом, то катодом. Пятьдесят раз в секунду он был положительным полюсом и пятьдесят раз — отрицательным.

Члены нашего кружка почти поголовно заявили, что все эти объяснения прекрасны, но что, во-первых, они желают проверить на опыте выделение хлора постоянным током, а во-вторых, что им „вообще немножко странно“, как это мы проделали столько опытов с электрическим током и не коснулись совершенно устройства его источников. Оказалось, что мы не знаем не только, как устроен генератор переменного тока, но позабыли многое и об источниках постоянного тока.

Решено было (так как наши работы коснулись электро-химических реакций), вспомнить хотя бы о химических генераторах тока, т.-е. гальванических элементах.

Проверить выделение хлора на аноде при электролизе раствора поваренной соли нам удалось очень просто. Кто-то из нас вспомнил устройство алюминиевого выпрямителя переменного тока, т.-е. прибора, который переменный ток превращает в постоянный. Мы взяли стакан, налили в него раствор двууглекислой соды и опустили в него алюминиевую ложку и ножик (рис. 17). Включив этот простенький приборчик последовательно со вторым стаканом, в котором был раствор соли и два гвоздя, мы убедились по сильному запаху, что на одном гвозде, и именно соединенном с анодом, получается хлор.

Двууглекислая сода — это соль. При ее электролизе получается на аноде кислород, а на катоде водород. Очевидно,

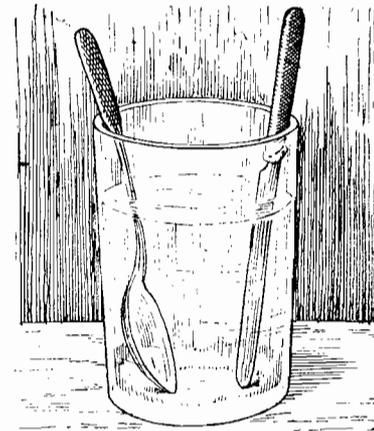


Рис. 17. Мы опустили в стакан алюминиевую ложку и ножик.

что при переменном токе как на алюминиевой ложке, так и на ноже, по очереди выделяется и тот и другой газ. Водород не вступает в химическое соединение с металлом; кислород вступает, образуя окиси. При переменном токе как поверхность ножа, так и поверхность ложки будет попеременно то окисляться кислородом, то восстанавливаться (раскисляться) водородом, который, соединившись с кислородом окиси, даст воду. Казалось бы, что нет никакой разницы в свойствах железной и алюминиевой пластины. На самом деле насколько окислы железа являются достаточно хорошими проводниками, настолько же окиси алюминия — чрезвычайно дурно проводят ток. Достаточно, чтобы алюминиевая пластинка покрылась тончайшим слоем окиси, чтобы ток уже не мог пройти через этот слой в раствор соды. Таким образом, каждый раз, как переменный ток хочет пройти через наш выпрямитель от ложки к ножу (т.-е. когда ложка становится анодом), он встречает огромное сопротивление в образовавшемся на ложке слое окисла. Ток не проходит через выпрямитель, когда алюминий становится анодом, и проходит, когда анодом делается железо. Следовательно, такой выпрямитель будет пропускать ток только в одном направлении. Правда, при этом мы утилизировали лишь половину переменного тока, но впоследствии мы построили такой выпрямитель, который давал возможность использовать токи обоих направлений.

Нам не суждено было начать беседу о гальванических элементах, так как неожиданно выдвинулись два новых вопроса: один о выпрямителе, другой о книжке Лебединского.

Кто-то вдруг заявил, что он не совсем понимает работу выпрямителя и хочет предложить по этому вопросу

Задачу № 50.

О конце переменного тока.

— Товарищи, переменный ток, пройдя через выпрямитель, становится постоянным. Через выпрямитель проходят токи только одного направления. Но куда же деваются токи обратного направления?

Где вообще кончается переменный ток? У свинца? У алюминия? В растворе соды?

Этот вопрос необыкновенно заинтересовал нас. Действительно, ведь если в нашей осветительной сети идет переменный ток, то, очевидно, при включении выпрямителя в ней должна существовать такая точка, по одну сторону которой будет постоянный ток, а по другую переменный. Где только ни указывали этих точек! Кроме перечисленных в задаче, говорили, например, что она будет в самом генераторе переменного тока, что ее совсем не будет, и даже высказывали такое непонятное предположение: „Она будет у ближайшей к выпрямителю лампочки накаливания“.

И, однако, именно оба последние предположения оказались правильными.

На рис. 18 схематически показано соединение выпрямителя с осветительной сетью. G — генератор переменного тока, B — выпрямитель и L — лампочка. В точках T_1 и T_2 ток разветвляется на два пути — в выпрямитель и в лампочку. Разберем два случая.

1. Допустим, что лампочка не включена в цепь. Тогда, очевидно, ток будет идти только в выпрямитель. Мы твердо должны помнить, что ток может существовать только в замкнутой цепи, т.-е. в такой, в которой нет перерыва. Но ведь работа нашего выпрямителя заключается именно в том, что цепь последовательно замыкается при одном направлении тока, и размыкается — при его обратном направлении. Очевидно, когда мы говорим: „При обратном направлении ток *не проходит* через выпрямитель“, мы употребляем не совсем точное выражение — не через выпрямитель не проходит ток, а его вообще нет в сети, нет и в самом генераторе. Ток в сети

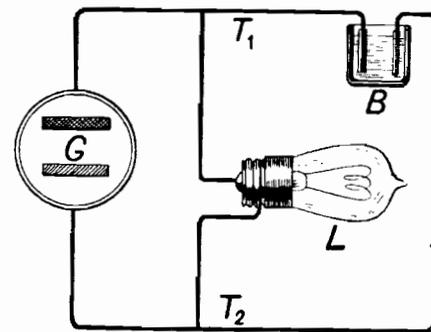


Рис. 18. Переменный или постоянный ток проходит через лампочку?

появляется только в тот момент, когда выпрямитель ее замкнет, а это произойдет при перемене его направления. Таким образом, при включении в цепь выпрямителя во всей цепи, а также и в генераторе, вместо *переменной* тока будет *постоянный* (точнее, прерывающийся, но постоянного направления).

2. Включим электрическую лампочку. Очевидно, тогда через нее пойдет переменный ток, а через выпрямитель — постоянный. Тогда мы легко найдем две точки, отвечающие на вопрос задачи. Эти точки будут T_1 и T_2 . Действительно, в проводах между G и T_1 и T_2 будет переменный ток, а между B и T_1 и T_2 — постоянный.

Таким образом, мы разобрали два возможных на практике случая. Первый, когда в сеть не включен ни один прибор параллельно выпрямителю, и второй — когда приборы включены. Надо заметить, что в больших установках переменный ток идет от станции не непосредственно в места потребления. Он входит сначала в трансформатор. (О нем мы будем говорить еще в дальнейшем). Но это мало что изменит в наших рассуждениях. Нам придется только за генератор тока принять трансформатор.

— Вы очень плохие исследователи, — сказал один из наших товарищей, — если бы вы были внимательнее, то вы не брали бы за основу ваших соображений цитату из книги профессора Лебединского, а, наоборот, подвергли бы ее жесточайшей критике. Сейчас я поясню вам это

Задачей № 51.

Об ошибке профессора.

— Вы успокоились на том, что процитировали несколько строк из книги. Вы ухватились, как за якорь спасения, за слова: „Переменным током нельзя производить электролиза“. Но, товарищи, взгляните на рюмку, в которую мы собирали газ. После конца опыта прошло уже много времени, раствор совершенно остыл, а пузырек, который оставался в рюмке, до сих пор держится в ней. Нельзя же думать, что

водяной пар все еще не превратился в воду. Ясно, что это газ. А если это газ — то очевидно, что он получился в результате электролиза, и, следовательно, утверждение профессора Лебединского не верно.

Оказалось, что это был пузырек воздуха, находящегося в растворенном состоянии в каждой воде, а особенно в водопроводной. При нагревании воды растворенный в ней воздух выделился*.

Эта задача лишней раз напомнила нам, какой бдительности требует от нас изучение любого мало знакомого явления. Мы безусловно убедились, что хотя главная масса, заполняющая рюмку, приходится на долю водяного пара, однако, вместе с ним находится в ней и газ, которого мы вначале не заметили только потому, что его было сравнительно небольшое количество.

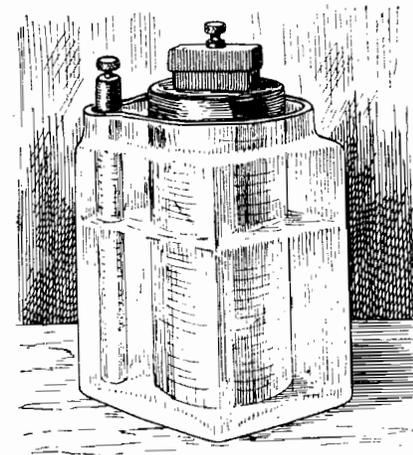


Рис. 19. На рисунке изображен элемент Лекланше, обычно встречающийся в продаже.

Разрешив этот вопрос, мы принялись, наконец, за изучение гальванических элементов.

— Товарищи, — сказал я, — позвольте мне рассказать об одном замечательном элементе, который заставил меня увлечься вообще электричеством. Мне было не больше 12 лет, когда я уже возился с электрическими звонками и пытался делать для них элементы самыми различными способами.

Всегда я искал случая поделиться с кем-нибудь своими электротехническими горестями и радостями. Чаще всего моим собеседником был дедушка. Как-то я стал жаловаться ему, что у меня ничего не выходит с элементами:

* Следует заметить, что небольшие образования газа могут иметь место и по другим причинам.

— Мне нужно построить элемент Лекланше, эти элементы всегда употребляются для звонков, но у меня никак не выходит „мешок“. Я достал банку, налил в нее раствор нашатыря и опустил цинковую палочку. Теперь мне нужно приготовить мешочек, вставить в него пластинку прессованного угля и плотно набить смесью перекиси марганца с графитом. Когда я опущу этот мешок в раствор нашатыря, то элемент Лекланше будет готов (рис. 19). Цинковая палочка зарядится отрицательно, а угольная — положительно. Но я никак не могу плотно набить в мешок смесь и как следует завязать его, а от такой рыхлой набивки звонок не звонит.

Ответ на мои сетования был самый неожиданный:

— Да ты и самого простого элемента построить не сможешь, а не то что Лекланше.

— Нет, смогу, я все элементы знаю хорошо, — сказал я.

— Посмотрим!

Задача № 52.

О дедушкином элементе.

— Принеси-ка мне стакан с водой и соли, — сказал дедушка, — вот тебе еще головная шпилька и карандаш. Ну-ка, построй из них элемент. Да живо, тебе дается минута сроку.

Я не построил этого элемента и через час и сказал, что о таких элементах ни в одной книжке не говорится. На это мне было сказано, что, следовательно, элементов-то, по существу, я и не знаю. Знать принцип устройства элементов, знать руководящую идею, положенную в основу их устройства, это значит знать элементы. А знать, как устроены элементы Лекланше, Даниэля, Гренэ и т. д. — это значит знать немногим больше того приказчика, который их продает в физическом магазине.

Элементы — это химические генераторы электрического тока, т. е. аппараты, в которых электрический ток создается за счет тех или иных химических реакций.

Понятно, что для любой химической реакции нужны по меньшей мере два вещества, которые бы действовали друг на друга химически. Два твердых вещества при обычных условиях

не вступают в химическую реакцию — их частицы не достаточно подвижны. Следовательно, хотя бы одно из них должно быть жидкое. А так как к тому же эта жидкость должна обладать электропроводностью, то очевидно, что она будет раствор соли, щелочи или кислоты. Соображение о хорошей электропроводности относится также и к твердому телу — откуда вывод, что целесообразнее всего в качестве твердого тела брать металлы, как обладающие наименьшим сопротивлением. Этот металл должен с одной стороны быть возможно более дешевым, а с другой — возможно энергичнее вступать в химическое соединение и электризоваться. Наиболее удобным в этом отношении металлом является цинк. Но из этого отнюдь не следует, что только цинк можно употреблять для элементов.

Если мы опустим кусок цинка в раствор кислоты, соли или щелочи, то он получит отрицательный заряд, а раствор — положительный. Очевидно, что если соединить проволочкой часть цинка, не погруженную в раствор, с самим раствором, то по проволочке потечет ток (рис. 20). Однако, опустив кончик медной проволоки в раствор, мы сталкиваемся с двумя неблагоприятными обстоятельствами: во-первых, поверхность касания медной проволоки и раствора очень мала, поэтому она будет оказывать току очень большое сопротивление; во-вторых, медная проволока сама будет электризоваться отрицательно в растворе и ослаблять э. д. с. элемента*. Первое неудобство обойти

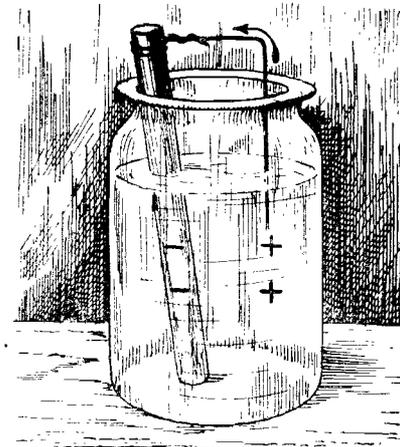


Рис. 20. Элемент, в котором на первый взгляд нет положительного электрода.

* Медь электризуется слабее, чем цинк, но получает заряд того же знака. Если бы медь приобретала такой же потенциал, как и цинк, то мы вообще не смогли бы получить тока от такого элемента. Два куска цинка, опущенных в любой раствор, не дадут тока именно потому, что и тот и другой электризуется не только одноименно, но и до равного потенциала.

очень легко: для этого достаточно опустить в раствор большую медную пластинку, к которой и прикрепляется проволочка. Второе разрешается тем, что берут такой металл, который бы не давал химического соединения с раствором, а следовательно, и не электризовался. Только одна платина из неслишком дорогих металлов может удовлетворить практически этому требованию. Но и платина очень дорога. Ее с большим удобством заменя-



Рис. 21. Три элемента, сделанные из стаканов, карандашей, головных шпилек и раствора соли.

образом: вынуть из карандаша графит, счистить с головной шпильки лак и опустить их в стакан с раствором поваренной соли. Хотя, пользуясь железным электродом, мы получим ток более слабый, чем от цинкового, но и железо будет электризоваться отрицательно.

Когда-то в приморских странах устраивали оригинальные элементы: опускали в море листы цинка и меди, и элемент был готов. В Швейцарии не так давно употреблялись земляные элементы: листы меди (или мешки с углем) и листы цинка зарывались в землю.

Когда мы выясняли, как устраивался элемент из карандаша и головной шпильки, мы немедленно построили его сами. К сожалению, нам пришлось сильно разочароваться в нем, — ни лампочка от карманного фонаря, ни электрический звонок не убедили нас в том, что он дает ток. Мы соединили даже

прессованным углем, приготовляемым из кокса и графита. Такая угольная палочка или пластинка будет служить в качестве положительного полюса элемента. Она, собственно говоря, исполняет роль собирателя электричества из раствора. Отрицательным полюсом служит цинк.

Элемент, предложенный в задаче № 52, можно составить следующим

три таких элемента последовательно (рис. 21), но и от них лампочка даже не накалялась.

— Хорош элемент, ничего сказать! На что же годятся твои шпильки и карандаш? А мы-то думали: что же это никто не строит таких дешевых и простых элементов?

— Элемент неплохой — сказал я, — дайте срок, я вам еще докажу на опыте, что даже такой маленький элемент дает ток. А сейчас извольте-ка решить

Задачу № 53.

О чугунном элементе.

Как, пользуясь раствором соли, углем и железом, можно построить элемент настолько сильный, что от него будет звонить звонок и накаливаться волосок лампочки от карманного фонаря?

Поверхность головной шпильки и поверхность графита карандаша малы. Сила тока элемента пропорциональна активной поверхности электродов, т.е. поверхности их, погруженной в раствор. Таким образом, желая получить большую силу тока, мы должны были взять электроды с большей поверхностью.

Мы взяли чугунный котелок и налили в него раствор поваренной соли. Затем, сшив из тряпки мешок, набили его древесным мелко истолченным и хорошо прокаленным углем, а в середину его пропустили толстый графит от так называемого „плотничьего карандаша“. Этот мешок мы туго обмотали веревкой и опустили в котелок на деревянную дощечку (рис. 22).

От такого элемента работал звонок и накаливалась нить лампочки карманного фонаря. Лампочка, конечно, не могла дать полного света, так как она рассчитана была на 4 V, а наш элемент давал всего около 1 V.

Хотя, решив эту задачу, мы убедились в том, что комбинация уголь—раствор соли—железо дает ток, но все же такой элемент нас не удовлетворил, потому что в нем происходила сильная *поляризация*. Водород, который образовывался в ре-

зультате химической реакции между раствором и железом, осаждался на угле в таком изобилии, что сила тока элемента быстро уменьшалась, и он становился негодным для работы.

— На этом самом месте, — сказал председатель, — спотыкаются все изобретатели элементов. Как только захочешь получить более или менее сильный ток, а, главное, постоянной силы,

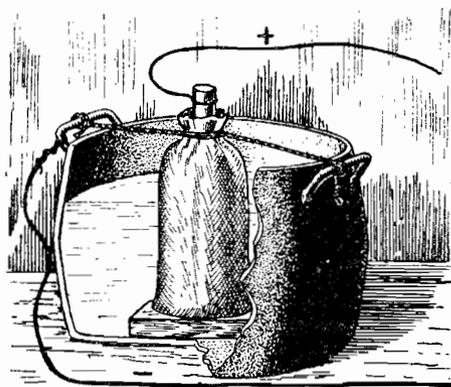


Рис. 22. Для того, чтобы дощечка и мешок не всплывали, мы привязывали к ручкам котелка веревку.

неизбежно приходится применять тот или иной *деполяризатор* для уничтожения водорода. И мы, в конце концов, приходим к перекиси марганца или к медному купоросу, или к хромовой кислоте и т. д., которые должны окружать наш уголь.

— Погодите-ка, скептики, — сказал кто-то из нас, — зачем же вам обязательно брать старые известные деполяризаторы? Если бы мы и захотели, то не могли бы воспользоваться ими, так как у нас их нет. Вам нужно уничтожить водород? Но разве для этого не годится, например, хлор? Он, во всяком случае, будет соединиться с водородом не менее энергично, чем кислород.

— Никто и не возражает против хлора, но откуда же его взять для нашего соляного элемента?

— Вот в этом-то и будет заключаться, — продолжал товарищ, — наша

Задача № 54.

О непатентованном аккумуляторе.

— Я ставлю на стол наш чугунный элемент и предлагаю вам, ничего не меняя в его конструкции, ничего не подсыпая и не подливая в него, превратить его в элемент с хлорным деполяризатором.

Прежде всего, следует вспомнить, что электрический ток внутри элемента идет от катода к аноду, и в таком же направлении движется водород, точнее — ионы водорода, т. е. его атомы, несущие электрический заряд. Выделяясь на аноде, водород во-первых, покрывает его поверхность непроводящим электричеством слоем газа и, во-вторых, вызывает в элементе обратную э.-д. с., а, следовательно, и обратную электризацию его полюсов. Обе эти причины и ослабляют (благодаря уменьшению э.-д. с. и увеличению сопротивления) силу тока элемента без деполяризатора.

Задачу мы разрешили просто: включили наш „чугунный элемент“ в сеть переменного тока, предварительно соединив с выпрямителем (рис. 23). Хлор стал выделяться на угольном мешке, пропитал его, и таким образом получился у нас элемент с деполяризатором. Электродвижущая сила его возросла почти в 2 раза. Сила тока стала значительно постояннее. Она не уступала в постоянстве силе тока элемента Лекланше.

Когда хлор весь соединился с водородом, мы опять пропускали ток (постоянный, конечно) через элемент, и он опять был готов к работе. Как известно, такие элементы, в которых деполяризатор восстанавливается электрическим током, носят название аккумуляторов. Огромное распространение получили свинцовые аккумуляторы, а в последнее время постепенно входят в жизнь и так называемые „щелочные аккумуляторы“.

Трое наших товарищей заявили нам, что они совершенно несогласны с тем, что причиной электрического тока является химическая реакция, и предложили нам

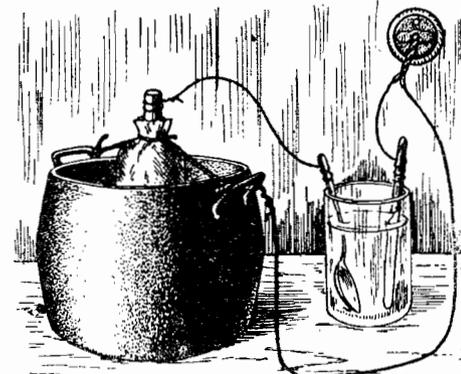


Рис. 23. Так мы заряжали наш хлоругольный аккумулятор.

Задачу № 55.

О том, как практика идет в разрез с теорией.

— Товарищи, посудите сами, как же можно говорить о том, что причиной электрического тока в элементе является химическая реакция, когда, во-первых, раствор поваренной соли не вступает не только с железом, но и с цинком в химическое соединение, а во-вторых, цинк всегда амальгамируют (натирают ртутью) именно для того, чтобы он не реагировал на раствор соли, а особенно кислоты. Опустите пластинку цинка в раствор серной кислоты, вы тотчас же заметите, как бурно начнет выделяться водород, что свидетельствует об энергичном замещении его цинком *. Но проамальгируйте как следует цинк, и вы не увидите ни одного пузырька водорода, следовательно никакой химической реакции между ним и кислотой не происходит.

Как же, повторяем, можно думать, что ток является в результате химической реакции, когда ее всячески стремятся если и не уничтожить, то во всяком случае ослабить?

Первая ошибка, — правда, не столь существенная для поставленного вопроса, заключается в том, что наши товарищи утверждали, будто в случае употребления амальгмированного цинка никакой реакции не происходит. Она, к сожалению, происходит, но очень медленно. То же можно сказать и о растворе соли. Вторая ошибка — цинк амальгируют вовсе не для того, чтобы вообще ослабить химическую реакцию, а лишь для того, чтобы ослабить бесполезную реакцию, т.-е. такую, которая не увеличивает тока или происходит в то время, когда элемент не работает.

* Происходит следующая реакция замещения:



В нашем чугунном элементе химическая реакция, при его „зарядке“ током, происходит следующая: хлористый натрий разлагается на хлор и натрий.



На аноде получается хлор. На катоде — натрий, который, соединяясь с водой раствора, дает едкий натр и водород.

Таким образом, наш котелок после зарядки оказывается наполненным уже не чистым раствором соли, но и раствором едкого натра. Следовательно, после достаточно длительной „зарядки“, когда мы пользуемся нашим элементом, как источником тока, на железо начинает действовать раствор хлористого натра, а едкого натра. Выделяющийся при этом водород соединяется с хлором деполяризатора и образует хлористый водород, который, растворяясь в воде, дает соляную кислоту.

Как видите, при работе нашего элемента происходит много и самых разнообразных химических процессов, но все они лишь вторичные, за исключением следующих: при зарядке — разложение хлористого натра на хлор и натрий, и при разрядке — соединение железа со щелочью.

Однако, следует заметить, что современная наука полагает, что при работе гальванических элементов нехимические процессы являются причиной электрических, а, наоборот, электрические — считаются основой химических.

Даже наше наблюдение над амальгмированным цинком как будто отчасти подтверждает это мнение. Если мы в раствор серной кислоты опустим пластинку амальгмированного цинка,

то она получит отрицательный заряд, раствор — положительный заряд, но на этом все электрические процессы и закончатся — движения электричества не произойдет, тока не будет. Но и химической реакции, как уже говорилось, тоже при этом не будет. Однако, стоит лишь цинковую пластинку соединить проволокой с раствором (при помощи, например, медной пластинки), и сильное отделение водорода укажет на начавшуюся химическую реакцию. Мы дали возможность перегруппироваться электрическим зарядам, дали возможность *длиться* электрическим процессам — и они немедленно вызвали химические. Вполне понятно, что для этого совершенно не нужно брать обязательно *медную* пластинку и соединять ее проволокой с цинком. Достаточно любым кусочком меди или другого металла, погруженным в раствор, просто коснуться цинка для того, чтобы начались электрические процессы (ток), а за ними и химические.

Может быть, читателю довелось самому добывать водород действием серной кислоты на цинк. Мы в свое время заметили, что чем чище (химически) цинк, тем труднее получить водород. Раствор химически чистой серной кислоты совершенно не действует на чистый цинк. В нашей школьной лаборатории, бывало, при очень чистом цинке водорода выделялось так мало, что невозможно было ставить ни одного опыта. Чего только мы, учащиеся, не придумывали для того, чтобы усилить выделение водорода: брали крепкую кислоту, размельчали кусочки цинка, нагревали раствор и т. д. — и ничто не давало хороших результатов. Как мы были поражены, когда оказалось, что достаточно влить в раствор кислоты немного медного купороса (в растворе) для того, чтобы началась бурная реакция. Медь из медного купороса осаждалась на цинк, и этого было достаточно для того, чтобы между этим медным налетом и кусочком цинка возникли электрические токи.

Обыкновенный продажный цинк вступает в реакцию с серной кислотой потому, что в нем имеются примеси других металлов. Каждая такая частица постороннего металла, касаясь частицы цинка, образует маленький „элемент“. Между ними устанавливается разность потенциалов, появляется ток, в результате которого и начинается химическая реакция.

Следовательно, когда мы пользуемся для элемента не амальгмированным цинком, то очевидно, что указанные выше токи между примесями цинка и происходящая при этом химическая реакция для нас не только бесполезны, но и вредны. Использовать эти местные токи для наших целей мы не можем, а они сопровождаются бесполезной тратой цинка.

Почему же, однако, при амальгмировании прекращаются эти местные токи? Главная примесь в продажном цинке — это железо. Оно не растворяется в ртути, а цинк растворяется. Благодаря этому цинк как бы удаляется от непосредственного соприкосновения с железом, а в то же время железо, покрытое ртутью, изолируется от электролита.

Однако некоторые товарищи не успокоились от наших объяснений и дня через два ошеломили нас поразительным опытом.

— Итак, товарищи, вы старались доказать нам, что не ток происходит от химической реакции, а химическая реакция от тока. Но так или иначе, а вы подчеркнули, что во всяком случае, если есть ток, то должна иметь место и химическая реакция. Без наличия химической реакции ток в элементах невозможен.

Но что бы вы сказали, если бы мы предложили вам элемент с двумя угольными электродами? С вашей точки зрения такой элемент невозможен, так как если мы вместо железа также возьмем уголь, то очевидно никакой химической реакции не может быть, ибо соль не действует на уголь. Однако, как же вы объясните тогда наш опыт?

Задача № 56.

Об элементе с двумя электродами из угля.

— Вот перед вами большая банка с раствором соли. Мы вкладываем в нее два таких „мешка“, какие были у нас в задаче № 53 (рис. 24). Теперь я заряжаю этот элемент током, соединив один уголь с положительным полюсом выпрямителя, а другой — с отрицательным. Смотрите, товарищи: мы кончили зарядку, выключили ток, а звонок звонит от нашего элемента.

Может быть, вы скажете, что здесь происходит то же самое, что и в свинцовом аккумуляторе, который также до зарядки не дает тока, а после зарядки дает ток. Но ведь в свинцовом аккумуляторе одна из пластин вступает в химическую реакцию с серной кислотой. У нас же ни уголь, окруженный слоем едкого натра, ни — окруженный хлором, не может образовать с ними никакого соединения.

Авторы задачи совершенно правы: в этом элементе ни тот, ни другой электрод не вступает в химическое соединение ни с раствором соли, ни с хлором, ни с едким натром, образующимся в результате „зарядки“. Однако, химическая реакция здесь все-таки происходит. Она

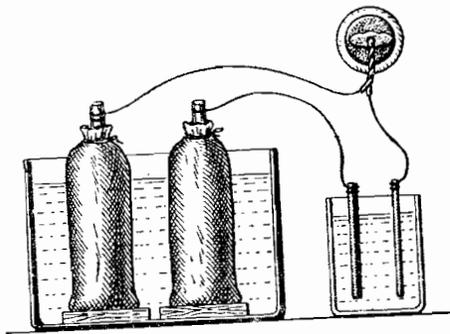


Рис. 24. Новый аккумулятор нашего изобретения.

происходит между хлором (а также образующейся соляной кислотой) и щелочью. Щелочь получает отрицательный заряд, кислота и хлор — положительный. Оба угля играют лишь роль собирателей электричества.

Надо признаться — нас очень смущало, что этот элемент действует лишь после „зарядки“. Однако, наши товарищи поставили новый опыт, который убедил нас окончательно в справедливости указанных выше соображений. Они вставили в банку пустую коробку из-под какао и налили в нее рас-

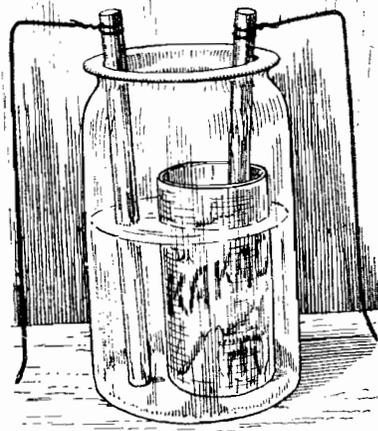


Рис. 25. Необыкновенный элемент, который, к сожалению, не пригоден для практических целей.

твор едкого натра, а в банку — раствор соляной кислоты. В банку и в коробку они вставили по прессованной палочке угля. Такой элемент дал ток (рис. 25).

Картонная коробка из-под какао служила в качестве „пористого сосуда“ для того, чтобы щелочь и кислота не смешивались. Таким образом, мы подошли к элементам с двумя жидкостями.

Надо заметить, что эти элементы страдают очень значительной поляризацией, так что практического значения они иметь не могут.

Коробка из-под какао, конечно, не может служить продолжительное время — она постепенно размокает. Однако, для многих непродолжительных опытов она вполне пригодна. Пористые сосуды чаще всего делают из слабо обожженной глины.

— Товарищи, — сказал кто-то из нас, — мы заговорили о свинцовом аккумуляторе, и мне хотелось бы с вами поделиться двумя своими недоумениями.

Задача № 57.

О первом недоумении.

— У нас в школе мы работали с аккумуляторами. Я обратил внимание на то, что на аккумуляторе, с которым мне пришлось работать, было написано: „Максимальный ток разрядки — 4 ампера“.

С другой стороны, так как мы измерили внутреннее сопротивление аккумулятора, я знал, что оно равно 0,08 ома.

Эти два числа меня очень удивили. Если закон Ома приложим ко всем случаям замкнутой цепи, то он мог быть тогда применен и к аккумуляторной цепи, но у меня никак не получалась максимальная сила тока в 4 ампера. Действительно, если замкнуть полюсы аккумулятора, толстой короткой проволокой, сопротивление которой будет практически равно нулю, то, очевидно, сопротивление всей цепи можно будет принять равным 0,08 ома. Тогда, зная,

что электродвижущая сила аккумулятора равна $2V^*$, мы найдем силу тока:

$$I = \frac{2}{0,08} = 25 \text{ A}$$

Вот эти-то 25 A и будут максимальной силой тока, а не 4 A.

Нас очень удивила наивность нашего товарища.

— Неужели же ты думаешь,—говорили некоторые из нас,— что таким способом можно определять наибольшую силу тока аккумулятора, или какого-нибудь другого элемента? Ведь тогда мы от любого элемента могли бы получить неограниченный ток, уменьшая сопротивление цепи.

— Да вы мне не то объясняете,—перебил нас товарищ.— То, что максимальная сила тока аккумулятора была во всяком случае гораздо больше 4 A—в этом я убедился на опыте, который, к сожалению, окончился очень печально.

Задача № 58.

О втором недоумении.

— Я соединил с полюсами аккумулятора электромагнит. Через полминуты я почувствовал странный запах, еще через несколько секунд от обмотки электромагнита повалил дым, и когда я разомкнул цепь,—электромагнит оказался испорченным. Я пережег его. Этот электромагнит работал у нас от силы тока в 10 A. Следовательно, в моем опыте ток должен был быть итти значительно более сильный.

Эта неудача удивила меня. Когда мы включаем какой-нибудь прибор в цепь гальванических элементов, то никто не беспокоится о том, что, прибор испортится от очень сильного тока. Если вы покупаете любой величины элемент Лекланше, то вам не приходится раздумывать над тем, что, может быть,

* Некоторое время непосредственно после заряда аккумулятор дает 2,5 V.

пропустив ток через звонок с очень малым сопротивлением, вы пережжете звонок. Элемент Лекланше дает ток определенной силы, и если на нем написано: 4 A, то вы можете быть спокойны: больше четырех ампер он и не сможет дать.

Хотя и говорят, что аккумулятор—это тот же гальванический элемент, но, повидимому, между ними существует большая разница.

Опять нам пришлось выслушать нравоучение от председателя. Прежде всего он заявил, что закон Ома, конечно, применим ко всем случаям постоянного тока.

— Аккумулятор нашего товарища, конечно, мог дать при коротком замыкании 25 ампер. На каждом аккумуляторе отмечают величину максимального разрядного тока; но это вовсе не значит, что он более сильного тока дать не может. Это значит, что он портится, если мы будем брать от него более сильный ток. Во время сильной химической реакции происходят некоторые побочные нежелательные реакции в аккумуляторе, и—кроме того—слои перекиси и окиси свинца выкрашиваются и падают на дно сосуда. В обыкновенных же гальванических элементах подобных вредных процессов при подлинной максимальной силе тока не происходит. Поэтому когда на элементе Лекланше вы видите надпись: „Сила тока—4A“—вы знаете, что эту силу тока определяли при коротком замыкании элемента, и что свыше 4 ампер такой элемент действительно дать не может.

В этом случае на основании закона Ома вы можете утверждать, что если элемент Лекланше дает при коротком замыкании 4 A, а его э.-д. с.—1,5 V, то его внутреннее сопротивление должно быть равно:

$$R = \frac{1,5}{4} = 0,375 \text{ ома.}$$

И именно потому, что внутреннее сопротивление равно указанной величине при э.-д. с. элемента в 1,5 V, мы никак не сможем получить ток сильнее 4 ампер.

— Товарищи,—сказал один из нас.—Я уже давно хочу поделиться с вами одним моим недоумением. Мои вопросы

также касаются электро-химических процессов, хотя и в мало знакомой нам области. Я имею в виду *электрокультуру*. В каком-то журнале мне довелось прочитать, что давно уже делаются попытки повлиять на рост растений электрическим током. Наиболее интересные результаты получались от действия электрического тока на корнеплоды. На обоих концах гряды вкапывали в землю по большому медному листу, листы соединялись с тем или иным источником электрического тока. Очевидно, что при этом ток проходил через землю всей гряды, а следовательно через посаженную в нее редиску, морковь, репу, свеклу и т. д.

Но то, что я прочитал дальше, поставило меня в тупик. До сих пор я не знаю, как решена была их

Задача № 59.

Об электрокультуре без генератора тока.

Написано там было следующее: „Впоследствии оказалось более удобным и целесообразным пользоваться в качестве источника тока самой землей“. Как же они выполнили подобную установку?

Для нас было понятно, что недоумение товарища заключалось не в том, как устроить „земляной элемент“ — мы уже

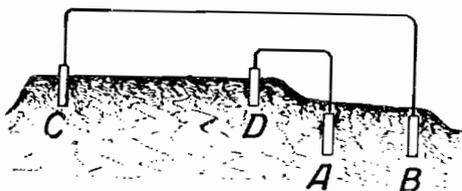


Рис. 26. Пластина А — цинковая, остальные — медные. Через какой участок земли пройдет ток?

говорили об этом (см. зад. № 52), а в способе соединения его с грядой. Некоторые сейчас же нарисовали проект подобного соединения (рис. 26): АВ — „земляной элемент“, CD — гряда. Ток из „земляного элемента“ должен был бы пройти через грядку, если бы источник и приемник тока не сообщались через землю друг с другом. Достаточно взглянуть на чертеж для того, чтобы убедиться, что практически ток будет идти лишь между пластинами AD, сделанными одна из меди, а другая — из цинка.

Этот последний вывод указал нам путь к решению задачи, которое дается в виде чертежа 27. Таким образом, для того, чтобы через грядку прошел ток, достаточно зарыть на одном конце гряды, вместо медной пластины — цинковую и соединить ее проволокой с медной. Пользуемся мы здесь, конечно, током не внешней цепи (провода), а внутренней (гряды).

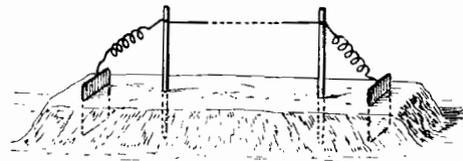


Рис. 27. Электрический ток будет проходить через землю гряды от цинковой пластинки к медной, так же, как он проходит через жидкость элемента, когда его внешняя цепь замкнута. Для этого земля должна быть влажной.

Вопрос об электрокультуре не раз поднимался на страницах специальной литературы. Подобного рода опыты ставились и у нас в Ленинграде сотрудниками Лесного Института. Однако, все эти опыты не дали определенных результатов. Корнеплод, взращенный под действием тока, всегда отличался от растущего в естественных условиях. К сожалению, однако, это отличие иногда бывало положительным, а иногда и отрицательным. Так, например: репа по величине всегда получалась больше нормы, но иногда она была сочной, душистой, обладающей всеми качествами лучших экземпляров этого корнеплода, а иногда такая репа представляла сухую, деревянистую губку, совершенно негодную для еды.

Ближайшим же летом несколько членов нашего кружка сами поставили опыты по электрокультуре. Здесь не место говорить о том, какие результаты получились у них, но хотелось бы особенно подчеркнуть одно: установка для подобных опытов столь проста, что положительно всякий может ее осуществить.

А ведь давно известно, что чем больше голов и рук работает над каким-нибудь вопросом, тем быстрее наступает его разрешение.

Кто-то из нас, между прочим, спросил:

— Я все-таки не совсем понимаю действие электрического тока на корнеплоды. Что же — в корнеплоде также происходят электрохимические процессы, или нет?

Поскольку нам удалось выяснить этот вопрос — главная причина, влияющая (при электрокультуре) на развитие корнеплода,

заключается именно в химических процессах, происходящих внутри него. Пока еще не научились регулировать эти процессы. В этом и кроется причина мало отчетливых и очень непостоянных результатов подобных опытов. Никогда нельзя быть уверенным, сколько и чего выделится при электролизе сока корнеплода.

Нас заинтересовал вопрос о том, какой же силы ток требуется для получения того или иного количества выделенного вещества. Все члены кружка помнили закон Фарадея, по которому количество вещества, выделяемого током при электролизе, пропорционально силе тока, времени и электро-химическому эквиваленту. Читатель также вспомнит, вероятно, что электро-химическим эквивалентом данного вещества называют число, показывающее, сколько этого вещества выделяет 1 А в 1 сек., т.-е. 1 кулон электричества.

Указанную зависимость можно записать очень простым выражением:

$$m = Kit,$$

где m — количество вещества в граммах, K — электрохимический эквивалент, I — сила тока в амперах, проходящего через электролит, t — время в секундах, в течение которого происходит электролиз. Понятно, что как в каждой формуле, так и в этой можно определить любую величину, если известны все остальные. Это последнее соображение подсказало нам, что мы наконец-то получили возможность измерять силу тока. Действительно, приведенную выше формулу легко представить в таком виде:

$$I = \frac{m}{Kt}.$$

Следовательно, зная электрохимический эквивалент данного вещества, время, в течение которого оно выделялось, и его массу, можно легко найти силу тока.

Тогда мы сами себе поставили

Задачу № 60.

Приведшую нас к совершенно непонятному результату.

Как определить простейшим способом силу тока, потребного для питания 50-свечной лампочки накаливания?

Задача эта была, конечно, очень проста. Мы не надеялись нашими простыми средствами добиться точных результатов — нас вполне удовлетворили бы приблизительные. Мы взяли большую банку, налили в нее насыщенный раствор поваренной соли и опустили в нее два электрода: два железных гвоздя, один из которых был укреплен концом вверх. Над ним мы укрепили перевернутый стакан, наполненный раствором соли. Этот прибор мы назвали кулонометром*. Мы включили его в осветительную сеть последовательно с электрической лампочкой. Очевидно, что сила тока должна была быть одна и та же как в нашем приборе, так и в лампочке: в каждой точке замкнутой цепи (без ответвлений) сила тока будет постоянной величиной. Но так как городской ток у нас был переменный, то мы включили еще последовательно выпрямитель (рис. 28). Замкнув ток, мы принялись наблюдать, как водород стал постепенно заполнять стакан и вытеснять из него жидкость. Мы точно заметили время начала опыта — было 7 час. 25 мин. Электрохимический эквивалент водорода мы отыскивали в учебнике физики. Он равнялся 0,00001. Это значило, что 1 А в 1 сек. выделяет всегда при электролизе любого вещества (на катоде которого выделяется водород) 0,00001 грамма водорода. Следовательно, нам оставалось только выждать, пока не наполнится весь стакан водородом, и в этот

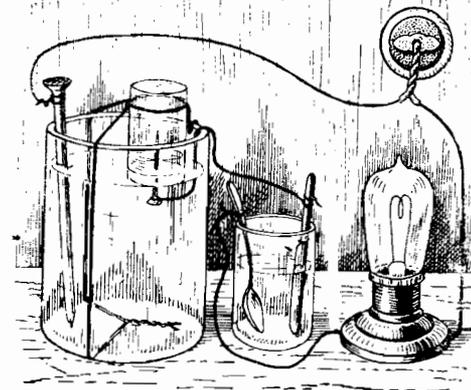


Рис. 28. Наш кулонометр. Объем стакана мы узнали следующим образом: измерили клеенчатым метром его высоту и длину окружности. Как известно, объем цилиндра равен $\pi r^2 h$.

* Кулонометр чаще называют *вольтаметром*. Этот прибор дает возможность измерять силу тока, а значит, и число кулонов, прошедших через него, по количеству выделившихся при электролизе веществ.

момент точно заметить время. Однако, взвесить выделившийся водород без специальных сосудов и очень чувствительных весов невозможно. Это нас мало смутило, так как мы вместо веса могли измерять объем, а это было уже значительно проще.

Удельный вес водорода, т.-е. вес его 1 куб. см в граммах равен 0,00009. Следовательно мы найдем число куб. см v , выделяемых 1 А в 1 сек., разделив массу в граммах на удельный вес.

$$v = \frac{0,00001}{0,00009} = 0,11 \text{ куб. см}$$

Оставалось только возможно точнее узнать объем стакана. Он оказался равным 250 куб. см.

Когда часы показали 10 ч. 25 м., мы решили выключить ток, так как стакан наполнился водородом. Теперь у нас в руках были все данные. Оставалось только подставить их в формулу, предварительно определив время в секундах.

$$I = \frac{250}{0,11 \cdot 10800} = 0,21 \text{ А}$$

— Товарищи! — крикнул один из нас. — Да ведь это совершенно невозможный, немислимый результат. Этот результат сам по себе загадка, о которой я вам сообщу в

Задаче № 61.

Об ошибке в наших измерениях.

— Мы беседовали уже о том, что 50-свечная экономическая лампочка при э.-д. с. в. сети в 110 вольт требует для себя во всяком случае *не меньше* 0,5 А.

Конечно, в нашем опыте надо учесть то обстоятельство, что мы ослабили несколько силу тока включением добавочных сопротивлений (кулометра и выпрямителя), но каждое из них могло уменьшить силу тока очень незначительно. Если мы на это положим 0,04 А, то это будет максимум. Тогда у нас получилось бы, что лампочка без включения наших двух приборов *требует* 0,25 А, т.-е. в *два раза*

меньше той силы тока, которая на самом деле требуется для ее питания.

Таким неточным наше измерение не могло быть.

Конечно, товарищ прав: сделать такую ошибку в наших измерениях мы не могли. Но мы ее и не сделали. Если бы мы получили в результате наших измерений 0,25 А, то это был бы тот самый результат, которого мы ожидали. Товарищ забыл, что выпрямитель дает возможность использовать лишь токи одного направления, т.-е. лишь *половину* истинной величины силы тока.

Хотя это последнее соображение мы считали вполне правильным, и наши измерения дали результат вполне удовлетворительный, мы все же невольно подумали о том, что было бы чрезвычайно интересно измерить практически полную силу переменного тока. Для этого мы соединили 4 алюминиевых выпрямителя (рис. 29). Они дали нам возможность использовать токи обоих направлений.

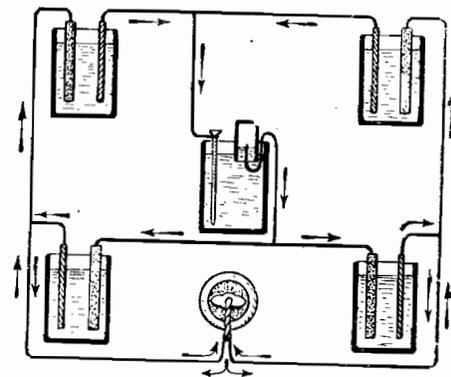


Рис. 29. Соединение четырех выпрямителей, дающее возможность использовать полностью переменный ток.

Из лаборатории в жизнь.

— Мне хочется предложить вам, — сказал председатель, — один вопрос. Мы с вами, как умели, разобрались в тепловых и химических действиях постоянного электрического тока. Сейчас для меня стало ясным одно обстоятельство, — если происходит явление электролиза, то часть энергии тока тратится на нагревание электролита. Когда мы с вами кипятили раствор соли, пропуская через него ток, часть его энергии тратилась на разложение хлористого натрия. Словом, мы никогда не могли использовать полностью всю энергию тока для определенной цели*. Однако, может быть возможно избежать этого? На эту-то тему я и хочу предложить вам

Задачу № 62.

О новом „кипяльнике“.

Нельзя ли воспользоваться для кипячения жидкости таким приемом, при котором вся энергия электрического тока будет переходить в тепловую и не вызовет электролитических явлений?

Мы даже удивились, что наш председатель дает нам такую простую задачу. Мы ее решили моментально. Свернули из тонкой проволоки спиральку, примотали ее концы к двум толстым проволокам и опустили в стакан с водой (см. рис. 30). Вода не замедлила нагреться. Теперь ток проходил не через жидкость, а через проволоку. В проволоке никакого электро-

* Подробнее это излагается во второй книге.

лиза произойти не могло, так как материал ее, будь то медь или железо, не есть химическое соединение, а элемент (химический), который вообще неразложим ни на какие другие вещества.

Каково же было наше удивление, когда председатель самым решительным образом заявил нам:

— Это не решение. Вы сами заставляете меня предложить вам новую

Задачу № 63,

Разъяснившую нам три вопроса.

— Я утверждаю, что в вашем опыте происходили электролитические явления, и предлагаю вам ответить на вопрос: где и почему они происходили?

Мы были уверены, что явление председателя ложно. В проволоке, как мы уже говорили, никаких электрохимических явлений не происходит. Это было несомненно. Через жидкость же ток пройти не может.

Однако, если бы даже он мог через нее пройти, то нашей жидкостью была чистая вода, а, как известно, в воде никаких электрохимических реакций не происходит.

Все эти вопросы казались нам такими ясными, и все-таки мы оказались не правы. После долгой беседы и горячих споров мы вспомнили, что наша водопроводная вода, да и вообще всякая природная, далеко не „чистая вода“. В воде имеется много примесей, в ней растворены в большем или меньшем количестве различные соли. Следовательно, такая вода, конечно, — *электролит*. Это был первый вопрос, решенный не

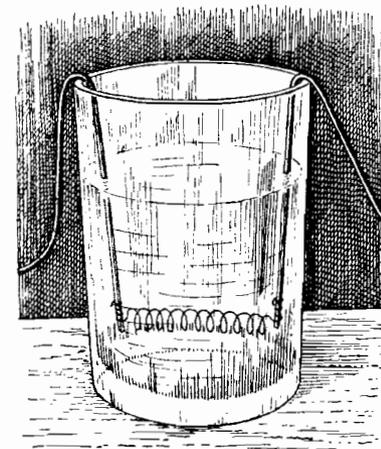


Рис. 30. Самый простой электрический кипячитель.

в нашу пользу. Второй, к сожалению, также разрешился в пользу председателя. Как ни странно было для нас предположение, что электрический ток, направляемый по проволочной спирали, вдруг почему-то пойдет через жидкость, однако, мы должны были согласиться, что это так. Весь вопрос сводился к тому, что на концах спирали были различные потенциалы, которые сообщались и воде. Так как вода была проводником, то очевидно, между ее точками, имеющими различные потенциалы, должен

был возникнуть ток. Конечно, через воду шел не весь ток, отвечаясь только часть его, но все же он был, а значит, был и электролиз.

Кто-то по этому поводу спросил:

— Значит и те спирали, которые продаются для кипячения воды, также вызывают во время кипячения воды электролитические явления?

Мы сказали нашему товарищу, что многие думают так же, как он, что электрический ток проходит по той спирали, которую опускают в воду для кипячения. Однако, это не верно.

Эта спираль лишь наружная трубка, из которой выкачан воздух и в которую заключена тонкая проволока или угольный волосок, накаляемый током. Понятно, что по этой наружной трубке ток вообще не идет, следовательно ни о каких электролитических явлениях при погружении ее в воду не может быть и речи.

Это был третий вопрос, который мы выяснили, благодаря задаче № 63.

Однако, мы были очень раздосадованы тем, что мы не можем построить простыми средствами такой кипятыльник, в котором электрическая энергия шла бы исключительно на образование теплоты. Но на другой же день один из новых

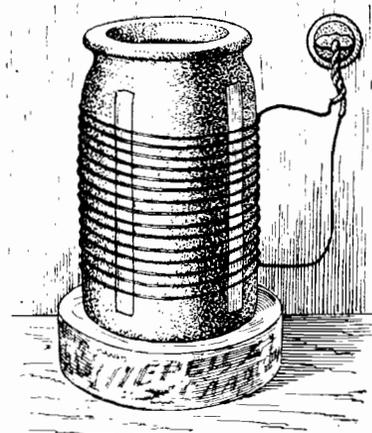


Рис. 31. Новый тип кипятыльника. На банку было намотано около 50 витков железной проволоки.

членов нашего кружка притащил с собой придуманный и изготовленный им прибор, который окончательно разрешил основной вопрос, поставленный председателем. Это была цилиндрическая глиняная банка из-под какого-то соленья, которую он обмотал снаружи тонкой железной проволокой так, чтобы один виток не касался другого. Для того, чтобы проволока не скользила по поверхности банки, под нее были положены три полоски асбеста.

— Вот, товарищи, — сказал изобретатель, — настоящий кипятыльник. Вся энергия тока идет на образование теплоты. Вы, конечно, понимаете, товарищи, что так грубо сделанный прибор не имеет практического значения, но для меня важен принцип. Нижний конец и верхний конец навитой на банку проволоки я соединяю с сетью электрического освещения, в банку наливаю воды, а для того, чтобы не испортить нашего стола, я ставлю под банку пустую жестянку из-под консервов. Вот и вся моя установка (рис. 31).

Мы вполне согласились с нашим товарищем, но неожиданно выступил с протестом тот самый „спорщик“, из-за которого мы вообще так увлеклись работой.

Задача № 64.

О новом превращении электрической энергии.

— Протестую, товарищи, — сказал он. — Вы говорите, что при нагревании этой глиняной банки вся электрическая энергия идет на образование теплоты, а я вам говорю: нет. Часть ее превращается не в тепловую форму энергии.

В какую? — догадайтесь сами.

Однако, мы так и не догадались. Когда мы, наконец, обратились за помощью к нашему товарищу, он сказал:

— В магнитную.

Мы стали спорить с ним, а он, для того чтобы доказать свою правоту, дал нам на разрешение новую

Задача № 65.

О воздушном путешествии коробки из-под консервов.

— Вылейте-ка воду из этой банки, — скомандовал наш товарищ. — Теперь насыпьте полную банку гвоздей. Смотрите: я поднимаю банку вверх, не выключая тока, и за банкой вверх поднимается жестяная коробка, на которой она стояла. Я даже могу слегка раскачивать банку — и коробка продолжает удерживаться у дна банки.

Если бы я был неправ в своей мысли, высказанной в задаче № 64, то какие же тогда причины могли, по вашему мнению, прилепить жестянку ко дну „кипяильника“?

Хотя мы и чувствовали, что проиграли битву, но встретили этот последний опыт нашего товарища аплодисментами. Уж очень неожиданно поднялась вместе с банкой коробка из-под консервов*. Но мы попытались все-таки спасти хоть как-нибудь свое положение. Мы заявили, что наше утверждение касалось банки с водой, а не банки с гвоздями. Однако, мы прекрасно понимали, что гвозди насыпались в банку лишь для усиления магнитного действия, а не для его образования. И без железных гвоздей ток, идущий по проволочной спирали на банке, должен был оказать влияние, например, на стрелку компаса. Без железного сердечника банка была не в состоянии *поднять* коробку или какой угодно другой железный предмет, но для того, чтобы повернуть в ту или другую сторону стрелку компаса — силы несомненно было достаточно.

— Эх, — сказал нам товарищ, — если бы у меня был компас!

— Зачем же дело стало? — ответили мы. — Пусть нашей дальнейшей работой и будет постройка компаса.

* Нам этот опыт удавался лишь тогда, когда дно глиняной банки было достаточно тонко и на банку было наведено много витков проволоки.

Задача № 66.

Первый проект.

Как из иголки с ниткой построить компас?

— Взять магнит и намагнитить иголку, — сказал кто-то.

— Был бы у нас магнит, так мы бы и задачи не предлагали, — отвечали мы. — Каждому понятно, что если иголка намагничена, то стоит ее только привязать за середину ниточкой и подвесить — компас готов. Такая намагниченная иголка, пока-

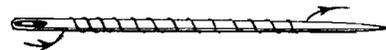


Рис. 32. Так мы намагнитили иголку.

чавшись на нитке, установится в плоскости магнитного меридиана, т.е. одним концом на юг, другим на север. Но в том-то и дело, что у нас нет магнита.

Решение этой задачи нам подсказал последний опыт с глиняной банкой. Мы накрутили на иголку тоненькую изолированную проволочку и пропустили по ней постоянный ток (рис. 32). Мы заметили также, что у острия иголки ток шел по спирали обратно часовой стрелке, а около ушка по часовой стрелке. Следовательно, на ушке должен был получиться южный полюс, а на острие — северный.

Вопрос был разрешен вполне, но так как наш кружок решил вначале заняться изучением *магнетизма*, а затем уже перейти к *электромагнетизму*, то некоторые товарищи запротестовали против указанного приготовления стрелки компаса (иголки), ссылаясь на то, что мы пользовались для ее намагничивания электрическим током. Мы старались доказать им, что если не пользоваться ни током, ни магнитом (его у нас не было), то вообще ничего нельзя намагнитить, но наши противники с этим не согласились и поставили на обсуждение

Задачу № 67.

Второй проект.

— Мы ставим перед вами стакан с водой и кладем на стол молоток, кочергу и стальное перо. Как, пользуясь только выставленными предметами, можно соорудить хороший компас?

Это была одна из самых трудных задач. Мы были удивлены этим диковинным набором вещей, и больше всего смущали нас кочерга с молотком. В конце концов, мы заявили авторам этой задачи, что как бы они ни мудрили, а без магнита они все равно ничего не смогут намагнитить. На это последовал самый неожиданный ответ:

— Мы и не думаем намагничивать, не пользуясь магнитом. Однако, тот магнит, который мы имеем ввиду, постоянно находится в распоряжении каждого человека. Его не покупают, не намагничивают. Его силовые линии пронизывают нас постоянно, — хотим мы этого или нет.

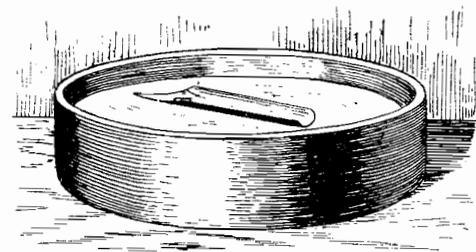


Рис. 33. Наш компас.

Этот магнит — земля. Задачу эту мы решили следующим образом: влиянием земного магнетизма мы намагнитили кочергу, а кочергой намагнитили стальное перо, которое и заменило нам стрелку компаса. Перо мы опустили осторожно на поверхность воды в стакане, предварительно чуть смазав его салом (можно просто потереть его пальцами). Смазывать перо салом или, еще лучше, парафином или стеарином, следует для того, чтобы оно не смачивалось водой и не так легко тонуло бы от толчков. Такой компас достаточно чувствителен и удобен для различных работ. Перышко очень быстро успокаивается и не производит таких бесконечных качаний, как иголка на нитке (рис. 33).

У намагниченной кочерги, как и у каждого намагниченного стержня из железа или стали, на одном конце будет северный полюс, а на другом — южный. Взяв стальное перышко, мы приложили его середкой к северному полюсу кочерги и провели им по концу кочерги от середины до острия (рис. 34). Так мы натерли перышко несколько раз, скользя по концу кочерги серединой пера к острому концу. Затем мы приложили перышко серединой к другому, верхнему концу кочерги (южному полюсу) и также несколько раз провели им, но уже

не к острому концу, а к тупому. Эти манипуляции мы проделали раз десять. Перышко намагнитилось и, так как перья делаются из закаленной стали, надолго сохранило свой магнетизм.

На остром конце у него появился южный полюс, а на тупом — северный. Кочергу мы намагнитили очень просто. Каждая железная палка или кусок железа, который окажется помещенным в плоскости магнитного меридиана, намагничивается. Давно замечено, что железные трубы или стержни, простоявшие на складе более или менее продолжительное время, приобретают магнитные свойства. На нижнем их конце образуется северный полюс, а на верхнем — южный. Это намагничивание происходит тем сильнее, чем точнее один из концов железной палки будет направлен к южному магнитному полюсу земли, который находится недалеко от северного географического полюса. В нашем северном полушарии этот конец будет всегда нижним. Если железная палка сделана из мягкого железа (химически чистого), то она намагничивается моментально, как только ей придается соответственное направление. Но все обыкновенное продажное железо не является чистым железом — это углеродистое железо. Оно намагничивается очень медленно. Однако, ускорить намагничивание можно сильным и резким сотрясением намагничиваемой палки.

Мы положили кочергу на стол так, чтобы один конец ее был направлен на север, а другой — на юг (северный полюс земли мы определяли по полярной звезде). Затем тот конец кочерги, который был направлен на юг, мы стали поднимать вверх до тех пор, пока кочерга не образовала с поверхностью стола, точнее с горизонтальной плоскостью, угла приблизительно в 70° *

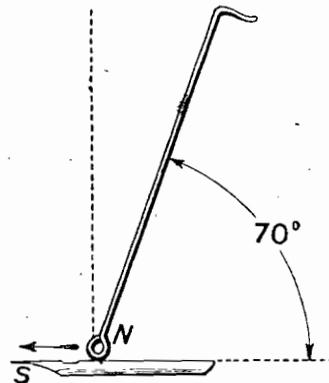


Рис. 34. Так мы намагничивали перышко кочергой. Особенно хороший результат получается в том случае, если через некоторое время подвергнуть перо новому намагничиванию.

* Этот угол (угол наклона) на полюсе (магнитном) равен 90° , на экваторе 0° , в Ленинграде около $70^\circ 37'$.

Тогда мы взяли молоток и несколько раз сильно ударили по верхнему концу кочерги. Намагничивать перо следует, не выводя кочерги из указанного положения, так как она хотя и сохраняет магнитные свойства в любом положении, но наибольшей силы они достигают лишь при угле *наклонения* в 70° .

Следует еще заметить, что успех этого опыта зависит от длины и толщины стержня. Чем длиннее и толще стержень, тем сильнее им можно намагнитить перо. Длина нашей кочерги равнялась приблизительно 1,5 м, а диаметр около 2 см.

Для того, чтобы окончательно убедиться в том, что наше перышко намагнитилось, мы приблизили к нему, предварительно опустив перо на поверхность воды, один конец кочерги. Оказалось, что он притягивал острый конец перышка, а тупой отталкивал. Это был верный признак того, что и кочерга и перо намагничены. Как и следовало ожидать, конец кочерги, который мы подносили к перу, был намагничен северным магнетизмом.

— Товарищи,—сказал председатель,—вы знаете, что постройка этого компаса из перышка дала нам возможность коснуться многих свойств магнита. В связи с этим я хочу предложить вам

Задачу № 68,

Конспективного характера.

— Перечислите-ка все те свойства магнита, которые можно было подметить во время нашей работы с компасом из пера.

Это мы выполнили легко и быстро.

Во-первых, мы убедились, что у каждого магнита и вообще намагниченного тела имеются два полюса: северный и южный, и что одноименные полюсы отталкиваются, а разноименные притягиваются. Во-вторых, что хорошо удерживает магнитные свойства только закаленная сталь, много хуже — продажное железо, в котором есть примесь углерода, и совсем не удерживает так называемое мягкое железо. В-третьих, железо, помещенное *вблизи* магнита, само делается в это время магнитом (земля и кочерга), причем на ближайшем его конце к ма-

гниту образуется противоположный ему полюс. Такое намагничивание на расстоянии называется магнитной индукцией.

— Товарищи,—сказал я,—мне также хочется предложить вам задачу, и думаю, что на этот раз моя задача будет лучше прежней. Для нее я специально даже достал магнит.

Задача № 69.

О двух гвоздях и магните.

Я подвешиваю на двух ниточках два маленьких гвоздя. Как вы видите, гвозди висят настолько близко, что касаются друг друга. Теперь я подвожу

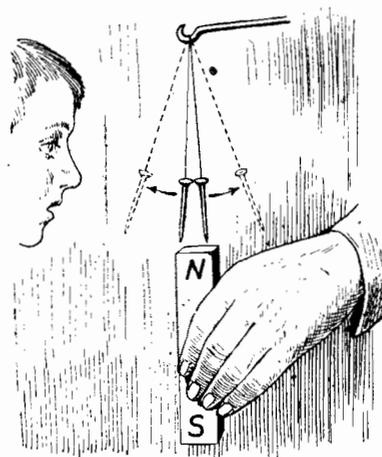


Рис. 35. Если поднести магнит, гвозди отталкиваются друг от друга и принимают то положение, которое указано пунктиром.

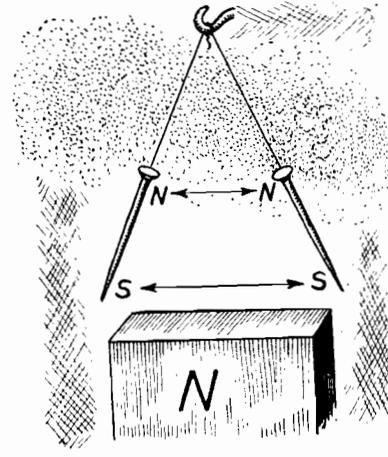


Рис. 36. На нижних концах обоих гвоздей возникают благодаря индукции южные полюсы, а на верхних — северные. Так как одноименные полюсы отталкиваются то и гвоздики должны оттолкнуться друг от друга.

к ним снизу магнит; гвозди немедленно отталкиваются друг от друга (рис. 35). Для меня было бы понятно, если бы гвозди притянулись к магниту или оттолкнулись бы от него. Но почему же они отталкиваются *друг от друга*?

Никто не согласился с тем, что это хорошая задача, если над ее решением не приходится подумать и одной минуты. Председатель подошел к столу, сделал на бумаге вот этот чертеж (рис. 36) и сказал:

— Смотри и учись.

Когда я „выучился“, то, несмотря на протесты товарищей, немедленно же предложил новую

Задачу № 70.

Об одном гвозде и магните.

На нитке висит один маленький гвоздик, недалеко от него я устанавливаю магнит (рис. 37). Как, не касаясь ни гвоздика, ни магнита, можно привести гвоздик в движение, заставить его качаться, подобно маятнику?

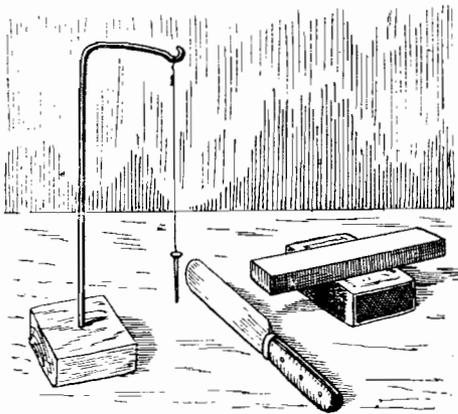


Рис. 37. Если ножик поднимать и опускать, то гвоздик начнет раскачиваться.

экран. Таким образом, когда ножик помещался между полюсом магнита и гвоздем, он преграждал путь магнитным силовым линиям к гвоздю, и последний висел вертикально. Когда же мы поднимали ножик и тем самым давали возможность силовым линиям действовать на гвоздь, то гвоздик с большей или меньшей силой притягивался к магниту и отклонялся от вертикали. Рядом таких последовательных манипуляций удавалось довольно быстро привести гвоздик в колебание.

Над этой задачей поломали мои товарищи голову. Решена она была следующим образом: мы взяли ножик и по очереди помещали его то между полюсом магнита и гвоздем, то над ними.

Магнитная сила свободно проходит через все тела, кроме железа. Железо представляет собою магнитный

— Товарищи,—сказал один из присутствующих,—все наши опыты с магнетизмом очень интересны, но мы, к сожалению, увлекшись ими, забыли о том, что виновник всех наших последних работ, наш товарищ, предложивший задачу № 65, остался в долгу перед нами. Он ведь до сих пор не доказал на опыте, что наш „кипяtilьник“ (глиняная банка), даже не будучи наполнен гвоздями, обладает магнитными свойствами, и в частности действует на магнитную стрелку.

Автор задачи № 65 изъявил полное свое согласие, но сказал, что для удобства не будет пользоваться „кипяtilьником“, а просто свернет небольшую спиральку из проволоки.

Задача № 71.

О непослушном перо.

Свернутую спиральку (соленоид) я включаю в сеть городского тока последовательно с лампочкой накаливания для того, чтобы ток не достиг чрезмерной силы и не пережжет бы проводов*. Теперь я подношу один конец спиральки к стрелке нашего компаса, т.-е. к перу, плавающему в стакане. Смотрите, что происходит с пером, когда я приближаю спираль.

(Перо оставалось неподвижным).

Я вплотную подношу конец спиральки к острию пера. Перо немедленно должно или притянуться, или оттолкнуться от спиральки.

(Но перо попрежнему не двигалось).

Еще до того, как был закончен этот неудачный опыт, экспериментатору стали подсказывать, что опыт может удалиться только при том условии, если применить постоянный ток. Мы немедленно включили в цепь выпрямитель, и убедились, что теперь, когда через спираль проходил постоянный ток,

* Лампочка играет роль реостата, т.-е. прибора, включающего в цепь сопротивление для того, чтобы иметь ток определенной силы.

перо притягивалось своим тупым концом, где был северный полюс, к тому концу спирали, в котором ток шел по часовой стрелке (южный полюс спирали), и отталкивалось от ее противоположного конца, в котором ток шел обратно часовой стрелке (северный полюс).

Вполне понятно, говорили мы, что переменный ток не оказывает никакого действия на магнитную стрелку. Ведь совершенно ясно, что каждый конец спирали становится попеременно то южным, то северным полюсом. Пятьдесят раз в секунду он—северный, и пятьдесят раз он—южный полюс. Понятно, что как при электролизе результат действия токов одного направления уничтожается токами обратными, точно так же и в данном случае действие магнитного поля одного полюса уничтожается действием другого. Отсюда можно сделать вывод, что при переменном токе вообще никакого магнитного поля не существует.

Однако, наш товарищ был несогласен с нами.

— Короткая же у вас память,—сказал он.—Как же вы тогда решите такую задачу, как

Задача № 72.

О странном свойстве переменного тока.

Чем же тогда можно объяснить, что жестяная коробка притянулась к дну „кипяильника“? Ведь я пропускал по проволоке, накрученной на банку, переменный ток, и однако не подлежит никакому сомнению, что у конца спирали (у дна банки) возникло магнитное поле и такой силы, которой оказалось достаточно для того, чтобы удержать жестянку.

Эту задачу было уже не так легко решить.

В конце концов, мы поняли, что весь вопрос сводится к тому, чтобы объяснить, почему переменный ток не действует на магнит и действует на железо. Для того, чтобы убедиться в справедливости нашей мысли, мы проделали такой опыт: взяли кусочек проволоки из мягкого железа и опустили его

на поверхность воды вместо пера. Тогда оба конца спирали притягивали к себе любой конец проволочки.

Каждое тело обладает свойством инерции. Это-то свойство и оказалось причиной разбираемого явления. Когда на воде плавал кусок мягкого железа, то, хотя переменный ток и менял полюсы спирали 100 раз в секунду, она притягивала железо потому, что как один, так и другой полюс *одинаково* влияли на железо,—они *притягивали* его. Но когда на воде плавал магнит, то очевидно, что при одном направлении тока конец спирали притягивал полюс магнита, а при другом—отталкивал. Эти чередующиеся притяжения и отталкивания должны были бы вызвать колебания магнита то в сторону спирали, то от нее. Магнит должен был бы совершать 100 колебаний в секунду. Однако, с такой скоростью он не может колебаться. Для того, чтобы сдвинуть магнит с места (как и любое тело), требуется известное время. От момента, когда на него начала действовать сила, до момента, когда он начнет заметно двигаться, проходит определенное время. У нас же действие одной силы продолжается даже меньше, чем 0,01 сек. Магнит не успевает начать двигаться в одну сторону, как противоположная сила толкает его в другую. И он, не успевая двинуться ни в одну, ни в другую сторону, остается неподвижным. Конечно, если бы мы рассматривали такой магнит через микроскоп, мы, может быть, заметили бы, что он неполно неподвижен—он дрожит. Эту „дрожь“ удается иногда уловить прикосновением к магниту (при более мощных установках). В микроскоп также нельзя увидеть отдельных движений благодаря их большой скорости. Обнаружить дрожание можно лишь по „теневого контуру“, появляющемуся вокруг стрелки.

Этот вывод очень порадовал нас, так как мы поняли, что обыкновенный *электромагнит* будет прекрасно работать переменным током. А мы давно уже хотели приспособить электромагнит для одной цели.

Собственно говоря, мы, сами того не желая, построили уже два электромагнита, решая задачи №№ 65 и 66. Первый—была банка с гвоздями, второй—иголка, обмотанная проволокой. Однако, эти электромагниты не могли иметь никакого практического значения.

Товарищ, которому принадлежала комната, где собирался наш кружок, сказал:

— Кажется, настал момент, когда мы можем, наконец, осуществить мой давнишний план, о котором я вам и сообщу в

Задаче № 73.

О секретном затворе

— Товарищи, вас собирается ко мне человек пятнадцать. В моей комнате ваших звонков не слышно, и каждый из вас беспокоит своим приходом кого-нибудь в квартире. Это стесняет и их и вас.

Я предлагаю, придумать электрический затвор, который мог бы отпереть каждый, знающий его устройство. Мы не можем с вами тратить на него больших денег,—потому я предлагаю построить его самыми простыми средствами.

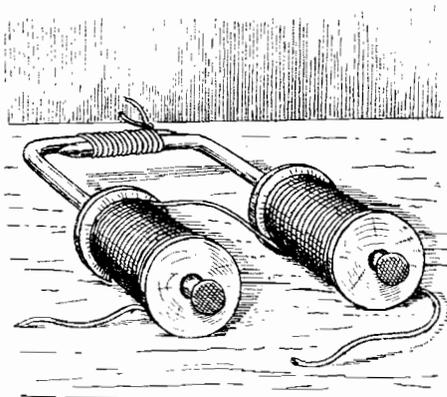


Рис. 38. Электромагнит из двух катушек из-под ниток и двух толстых гвоздей.

С большим жаром мы принялись за устройство затвора. Электромагнит мы построили из двух катушек, на которые намотали вместо ниток тонкую звонковую проволоку. В каждую катушку вложили по толстому гвоздю и, загнув их концы под прямым углом, связали их вместе веревкой (рис. 38). Таким образом, у нас получился подковообразный электромагнит, который мы решили прежде, чем приспособивать к двери, испробовать в нашей „лаборатории“. Мы приготовили жидкий реостат (раствор соды и два толстых гвоздя в качестве электродов) и, включив его последовательно с выпрямителем и электромагнитом в осветительную сеть, при-

ложили к полюсам электромагнита толстую железную скобу. Однако, скоба не притягивалась.

Мы помнили из физики, что сила магнитного поля будет пропорциональна силе тока и числу оборотов проволоки, проходящихся на 1 см длины катушки. Решено было усилить ток. Мы сблизили электроды в реостате, и по обмотке катушек пошел ток такой силы, что они начали быстро и сильно нагреваться, но скоба попрежнему не удерживалась электромагнитом. Тогда мы намотали на катушку еще проволоки. Число витков ее значительно увеличилось, но и после этого железная скобка не притягивалась электромагнитом. Она дрожала, стучала о полюсы, но не удерживалась и падала вниз.

Мы уже хотели поставить этот вопрос на общее обсуждение, но один из членов кружка опередил нас и выдвинул свою

Задачу № 74.

О парадоксе электромагнита.

— Так же, как и вы, я был удивлен результатами наших опытов. Но вы не можете себе представить, что испытал я, когда случайно наткнулся на то явление, о котором хочу сейчас рассказать вам.

Товарищи, ведь для всех нас вполне понятно, для чего мы строили *подковообразный* электромагнит, а не простой *стержневой*. Ведь мы могли бы две катушки насадить на один прямой гвоздь, но при таком стержневом магните мы могли бы действовать на якорь лишь одним его полюсом, так как второй полюс находился бы на противоположной стороне. Именно для того, чтобы можно было использовать силу обоих полюсов, мы придали электромагниту подковообразную форму. Следовательно, вы должны согласиться, что один полюс такого электромагнита должен действовать слабее двух.

Но посмотрите, что нам показывает опыт. Я снова прикладываю к электромагниту железную скобу, так что она касается обоих его полюсов. Она, как мы это и наблюдали, отваливается и падает. Я беру ее снова и прикладываю только к одному полюсу электромагнита. По совершенно непонятной причине она притягивается к нему и повисает.

Два полюса не притягивают кусок железа, один притягивает! Было отчего притти в отчаяние. Однако, именно благодаря последнему опыту, мы стали на правильный путь для решения вопроса о всех наших неудачах с притяжением железной скобы. Причину отыскал наш лучший электротехник. Оказалось, что мы неправильно соединили обмотку одной катушки с другой. Оба полюса у нас получились южные, вследствие того, что ток у одного и у другого шел по часовой стрелке. Исправить этот недостаток можно было тремя способами: первый — перемотать одну катушку в противоположную сторону; второй — пересоединить обмотки катушек так, чтобы в одной ток пошел в обратную сторону; для этого достаточно было тот конец обмотки одной катушки, который присоединялся к обмотке второй, разобщить с ней и соединить с сетью, а конец, соединяющийся с сетью, присоединить к освобожденному концу обмотки второй катушки; третий — повернуть одну катушку к полюсу сердечника другим концом. Мы использовали последний способ и полагали, что вопрос исчерпан. Однако, председатель остановил нас, сказав, что мы слишком поспешно хотим отмахнуться от этого вопроса, и что если мы не видим больше в нем никакой загадки, то он постарается подчеркнуть ее в

Задаче № 75.

Об одном, который сильнее двух.

— Товарищи, вы успокоились на том, что электромагнит с двумя южными полюсами не может притянуть железо. Но согласитесь сами, что это совершенно непонятная вещь. Да чем же *два южных* по-

люса отличаются от *одного*? Их отличие может заключаться только в том, что *два сильнее* одного. А ведь у нас-то получается наоборот.

Это ли вам не загадка?

Действительно, если мы сблизим вплотную два одноименных полюса, то мы можем принять их за один; если мы раздвинем их, то получим два. Но чем же по существу отличаются эти два полюса от одного полюса большего диаметра? И однако, опыт показал нам, что такие раздвинутые полюсы не вызывают притяжения железа, а сдвинутые вполне удовлетворительно притягивают его.

Представьте себе, что мы приложили скобу обоими ее концами к электромагниту, но пропустили ток только через одну левую катушку так, чтобы ее полюс получил северный магнетизм (N_1). Тогда тот конец скобы, который касается сердечника этой катушки, получит, благодаря индукции, противоположное намагничивание и именно южный магнетизм (S_1). Но при намагничивании железа, если на ближайшем его конце получился южный полюс, на удаленном должен возникнуть северный (n_1). *Итак, против сердечника второй (правой) катушки у скобы получится северный полюс* (см. рис. 39).

Теперь вы пропускаете ток и через правую катушку в таком направлении, чтобы на конце сердечника образовался также северный полюс (N_2), как и у левой катушки. Тогда, благодаря влиянию этой катушки на скобу, *на ее правом конце получится южный полюс* (S_2) а на противоположном северный (n_2). Следовательно, на том самом конце скобы, на котором левая катушка вызывала южный магнетизм, правая вызывает

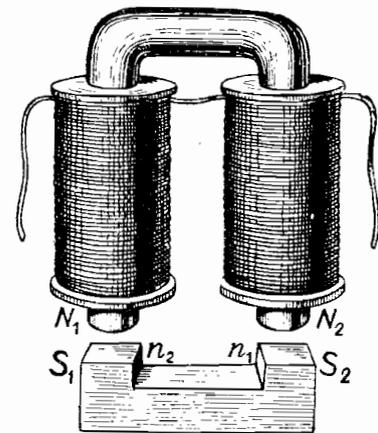


Рис. 39. Рисунок объясняет, почему железная скоба не притягивается к электромагниту с одноименными полюсами.

северный и наоборот — там, где от первой получился северный полюс, там от второй возникает южный. Так как магнитные силы первой и второй катушки равны, то они взаимно уничтожаются, как уничтожалось и действие двух противоположных и равных электрических зарядов (рис. 39).

Полная нейтрализация магнитной силы произойдет только при известной форме и известной массе якоря. Если мы приложим к электромагниту прямой, довольно толстый брусок, он будет притягиваться к полюсам, хотя и значительно слабее, чем в том случае, если они будут разноименными.

Вероятно читатель пожелает самостоятельно разобраться в этом последнем свойстве якоря.

После всех этих вынужденных отступлений мы хотели было приступить к практическому осуществлению затвора, как новая неудача опять помешала нам. Исправив соединение обмоток катушек нашего электромагнита, мы решили для большей уверенности испытать его действие. Тут-то мы и натолкнулись на новое препятствие.

Задача № 76.

О новом капризе электромагнита

Мы приложили скобу к полюсам электромагнита и замкнули ток. Скоба, как и следовало ожидать, крепко удерживалась полюсами. Мы потрогали, подергали ее и убедились, что сила электромагнита достаточна для работы затвора. Тогда мы выключили ток, ожидая падения скобы, но скоба даже не дрогнула. Электромагнит ее притягивал по-прежнему.

Помимо того, что вся идея конструкции затвора оказалась, благодаря этому, неверной (затвор отворялся включением тока, а запирался выключением), но и основное свойство электромагнита казалось поколеблено в наших глазах. Все значение электромагнита в технике, все отличие его от стального постоянного магнита заключается именно

в том, что он *размагничивается*, когда через него не проходит ток.

Мы даже подумали: может быть, это явление обязано своим существованием тому, что сердечник нашего электромагнита (два гвоздя) и якорь (скоба) полустальные, и что они намагнитились током? Но когда мы оторвали скобу от полюсов и затем вновь приложили ее к ним, то никакого заметного притяжения невозможно было обнаружить.

— Удивительно капризный электромагнит, — сказал кто-то из нас: — то никак не хотел удерживать скобы, то не желает ее отпускать.

Все это явление объясняется действием остаточного магнетизма. Железный сердечник электромагнита, будучи замкнут якорем, не теряет всего своего магнетизма при размыкании тока. Этот магнетизм пропадает в момент отрывания якоря. Остаточный магнетизм свойствен каждому сорту железа, но он достигает наименьшей устойчивости (практически равной нулю) только у мягкого.

Среди дешевых электрических звонков попадаются такие, которые перестают работать из-за того, что якорь не может отделиться от полюса электромагнита. Это верный признак, что сердечник, а вернее всего, и якорь сделаны из полустального железа.

Мы избавились от действия остаточного магнетизма, наклеив полоску бумаги на полюсы электромагнита.

Тогда скоба уже не могла непосредственно касаться сердечника.

Наконец-то мы могли приступить к сооружению электрического затвора у входной двери. Устройство его было настолько просто, что не требует особых разъяснений (рис. 40).

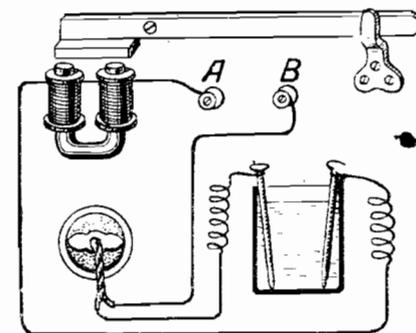


Рис. 40. Электрический затвор. Щеколда представляла собой неравноплечий рычаг. Его правое плечо было тяжелее левого и благодаря этому опускалось в гнездо, когда ток не проходил через электромагнит.

Одна проволока электромагнита соединялась через реостат с осветительной сетью, а другая шла к фарфоровому ролику *A*, укрепленному с наружной стороны двери, и наматывалась на него. На расстоянии приблизительно 5 см от первого ролика ввинчивался второй—*B*, на который также наматывался один конец проволоки, другой конец которой шел ко второму проводу сети. Таким образом цепь электромагнита оставалась разомкнутой между двумя роликами. Но достаточно было каким-нибудь металлическим предметом коснуться проволок на первом и втором ролике для того, чтобы замкнуть цепь. Электромагнит притягивал к себе один конец рычага (щеколды), отчего другой конец поднимался и освобождал запор. Вместо роликов мы, конечно, могли бы использовать обыкновенную кнопку, употребляемую для электрических звонков. Это было бы даже значительно удобнее, но тогда каждый мог бы легко открыть дверь.

Мы очень гордились нашим электрическим затвором, и слава о нем разнеслась далеко за пределы одной квартиры. Однако, всякая слава непрочна, и мы скоро испытали горечь разочарования. Однажды, собравшись, мы застали нашего хозяина сильно взволнованным.

— Произошла чрезвычайно неприятная вещь,—сказал он.— Вчера вечером все домашние вернулись домой, в том числе и я. Надо же было так случиться, что в это время погасло электричество от какой-то неисправности в доме. Ясно, что никакими силами наш затвор невозможно было открыть. Мы ожидали на лестнице около часа и наконец вынуждены были взломать дверь. Товарищи, я хочу сейчас предложить вам срочно разрешить

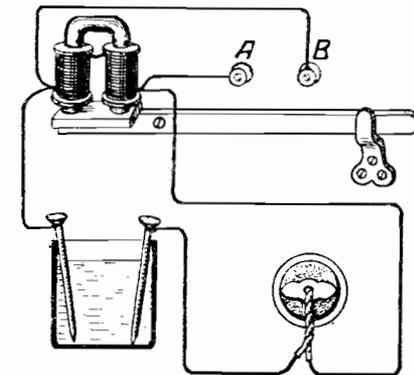
Задачу № 77.

О новом электрическом затворе.

Как, оставив старый принцип конструкции нашего затвора, следует пересоединить провода для того, чтобы затвор отпирался при выключении тока, а не при включении? Вы понимаете, что в таком случае,

если опять прекратится ток, затвор автоматически откроется—и тогда можно будет войти в квартиру, отперев дверь ключом.

Мы были так пристыжены, что приложили все усилия для того, чтобы как можно скорее разрешить этот вопрос. Через день мы его разрешили (рис. 41). Обе проволоочки от обмотки электромагнита мы присоединили через реостат непосредственно к проводам осветительной сети. Таким образом электромагнит все время находился под током, но так как мы укрепили его не под концом рычага, а над ним, то этот конец, притянувшись к полюсам, удерживал щеколду в гнезде.



При таком устройстве щеколда удерживалась в гнезде не силой тяжести, как в первом проекте, а силой электромагнита. Затем к электромагниту были присоединены еще две проволоки, идущие к роликам. Когда эти две последние проволоочки были разомкнуты, ток шел только через обмотку электромагнита; когда же какой-нибудь металлический предмет замыкал их между роликами, ток, прежде чем пойти в электромагнит, ответвлялся: часть его шла попрежнему в электромагнит, а часть через металлический предмет. Если бы сопротивление металлического предмета было равно сопротивлению обмотки электромагнита, то сила тока разделилась бы на две равные части. Но так как сопротивление электромагнита было значительно больше, то очевидно, что через него могла пройти лишь ничтожная сила тока. Она оказывалась совершенно недостаточной для того, чтобы удержать конец щеколды.

Рис. 41. У этого затвора левое плечо щеколды было тяжелее правого. Когда электромагнит размагничивался, левое плечо опускалось, а правое поднималось, освобождаясь из гнезда. Для того, чтобы левый конец щеколды не опускался слишком низко, под ним был вбит гвоздик, не показанный на рисунке.

Конечно, мы прекрасно понимали один чрезвычайно важный недостаток такого соединения, который заключался в том, что электрическая энергия тратилась беспрерывно, но мы лишь много времени спустя придумали способ устранить этот недостаток. Кроме того, пользоваться жидким реостатом оказалось также очень неудобно: электролит быстро нагревался, и вода выкипала. Пришлось построить реостат из железной проволоки.

— Наконец-то вы покончили со своим затвором, — сказал один из членов кружка. — У меня есть кое-какой материал, о котором я хотел бы рассказать вам.

Чего многие не знают.

— Товарищи, о каких только способах электрического нагревания мы ни говорили с вами! Мы кипятили воду, пропуская через нее ток и опуская в нее спираль; наш товарищ продемонстрировал перед нами свою банку; наконец, мы знаем, что вольтова дуга также может быть источником нагревания. Но о таком источнике тепла, который я вам сейчас покажу, вы, вероятно, никогда не слыхали.

Задача № 78.

О загадочном возникновении тепла

— Я ставлю перед вами большой электромагнит, который я принес с собой. Вы видите, он ничем не отличается от тех, которые мы делали с вами. Толстую медную проволоку я наматывал не на деревянную катушку, а на картонную трубку. Сердечник мне пришлось сделать из пучка железной проволоки, так как такого диаметра сплошного железного цилиндра у меня не нашлось.

Теперь я включаю этот электромагнит последовательно с реостатом в сеть электрического освещения. Сила тока доходит у меня до 7 ампер. Затем я беру кольцо, которое я согнул из толстой медной проволоки, и надеваю его на конец сердечника катушки (рис. 42).

Пусть кто-нибудь из товарищей вместо меня подержит это кольцо на сердечнике. Спросите-ка его, что он чувствует. Он скажет вам, что кольцо быстро и сильно нагревается!

Вы можете подумать, что кольцо нагревается от того, что благодаря большой силе тока нагревается обмотка или сердечник электромагнита. Попробуйте, пожалуйста, их руками — вы убедитесь, что они холодные, а температура кольца стала такой высокой,

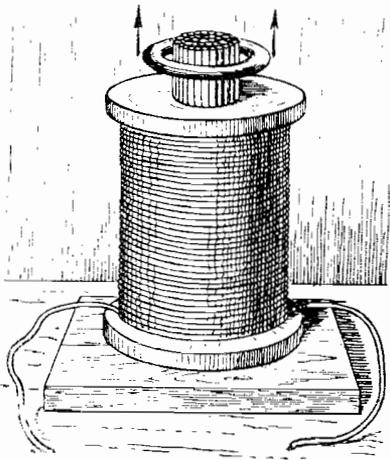


Рис. 42. Когда пропускали переменный ток через эту катушку, медное кольцо, надетое на сердечник, поднималось вверх и сильно нагревалось.

— Вы думаете, — снова заговорил он, — что на этом и кончатся все удивительные свойства моего электромагнита? Нет, я сейчас расскажу вам о еще более замечательных способностях моей катушки в

Задаче № 79.

Об электрической прассе.

Я снова беру медное кольцо *, надеваю его на сердечник моего электромагнита и замыкаю ток.

* Кольцо делалось из проволоки, диаметр которой был около 0,4 см. Сгибалась проволока в кольцо круглогубцами (можно и плоскогубцами). Концы ее сильно прижимались друг к другу.

что наш товарищ не может уже больше удерживать его в руке. Я выключаю ток. Мой опыт и моя задача закончены. Но признайтесь, что вы никогда не слышали, чтобы пользовались электромагнитом в качестве источника теплоты!

То, что показал нам товарищ, было настолько необычайно, что мы молчали, а я до последней минуты все думал о том, не скрывается ли здесь какой-нибудь фокус. Оказалось, что на этом не кончились чудеса нашего товарища.

Вы видите, что кольцо с силой поднялось вверх, как камень из пращи, и упало на пол. Я беру более тяжелое кольцо. Оно также поднимается вверх по сердечнику, но не сбрасывается с него, а повисает в воздухе.

Вы, конечно, понимаете, что в этом явлении самое замечательное? Мы только что говорили, что взаимодействие происходит „между двумя магнитными полями“; однако, откуда же взялось магнитное поле в медном кольце?

Мало того, мы знаем, что если бы наше кольцо было железное, то благодаря магнитной индукции оно явилось бы источником наведенного магнитного поля, но при этом взаимодействие этих двух полей выразилось бы в притяжении, а не в отталкивании.

Вот вам, товарищи, целых два явления, и два вопроса, в одном опыте.

Товарищ был безусловно прав, когда сказал, что он показал нам два явления в одном опыте. В первом случае мы не могли заметить подъем кольца только потому, что его удерживали рукой, а во втором — нагревание его было незаметно лишь потому, что действие катушки на кольцо было очень кратковременным. Когда кольцо не сбрасывалось с сердечника катушки, а удерживалось в воздухе в равновесии, то оно так же нагревалось, как и тогда, когда его удерживали рукой.

Надо сказать, что именно явление отталкивания кольца катушкой и навело нас на путь выяснения этого вопроса. Для нас было неоспоримо одно: если кольцо отталкивается, то значит, вокруг него появилось магнитное поле, а, следовательно, в самом кольце должен был возникнуть электрический ток.

Мы вспомнили об *электромагнитной* индукции, т.-е. замечательном свойстве магнитного поля, которое заключается в том, что в момент, когда поле меняет силу или направление, в проводнике, помещенном в такое поле, появляются токи. Очевидно, что вокруг сердечника электромагнита, питаемого переменным током, должно было возникнуть и переменное магнитное поле. Следовательно, в медном кольце, помещенном

в такое поле, должны были возникнуть индукционные токи. Этот вопрос мы решили быстро. На несколько минут мы успокоились, так как нам казалось: раз доказано, что в кольце существует ток, то тем самым объясняется и его нагревание и отталкивание. Однако, один из наших товарищей заметил, что мы, строго говоря, не ответили ни на один вопрос.

— Я хочу предложить вам, — сказал он, —

Задачу № 80.

О том, как 7 амперов превращаются в 350.

— Вы, конечно, вполне правы, что если в кольце есть ток, то его температура должна повыситься. Однако, товарищи, вы, повидимому, не вполне учли одно обстоятельство. Силы тока, проходящего через обмотку электромагнита, недостаточно для того, чтобы заметно нагреть ее, а в кольце, несмотря на то, что оно значительно толще, температура поднимается, во всяком случае, выше 100°Ц . Следовательно, сила индукционного тока в кольце должна быть во много раз больше, нежели сила первичного тока в катушке. Это первое, что для меня непонятно и удивительно. Второе заключается в том, что, хотя движение кольца и объясняется вполне взаимодействием магнитных полей катушки и кольца, но этим еще не объясняется, почему мы имеем в данном случае отталкивание, а не притяжение.

Как ни забыли мы все то, что касается электромагнитной индукции, однако вспомнили, что если у нас будут две катушки насажены на один сердечник, причем через первую катушку мы пропустим переменный ток, то во второй катушке мы получим также переменный ток, наведенный благодаря электромагнитной индукции. Если сила тока в первой катушке будет равна, например, одному амперу, а на концах ее обмотки э.-д. с. будет 100 В , то во второй катушке ток возникает той же силы и той же э.-д. с., как и в первой, только при том условии,

если число витков второй катушки равно числу витков первой. Если же, например, число витков во второй катушке (вторичная обмотка) будет в десять раз меньше числа витков первой (первичная обмотка), то во столько же раз уменьшится э.-д. с. и увеличится сила тока. Следовательно, она будет 10 А при 10 В .

Этот закон и подсказал нам, чем можно объяснить нагревание кольца. Мы спросили у строителя катушки, сколько витков проволоки в его катушке. Он не знал точно, но сказал, что приблизительно пятьдесят. Мы приняли число витков первичной обмотки за пятьдесят. Во вторичной обмотке, т.-е. в кольце, был всего один виток. Следовательно, э.-д. с., действующая в кольце, должна была быть в 50 раз меньше, а сила тока в 50 раз больше, чем в катушке. Так как в катушке она равнялась 7 А , то в кольце она должна была дойти до 350 А . Правда, благодаря потерям она едва ли достигала и трети этой величины, но даже и 100 А были достаточны для того, чтобы нагреть кольцо до высокой температуры.

Так мы разрешили первый вопрос. Во втором мы разобрались много позднее.

Мы хотели было проделать указанный выше опыт с двумя катушками, но один из присутствующих остановил нас, сказав:

— Мне непонятна одна вещь, товарищи, я придумал для нее объяснение, но не уверен, что оно правильное.

Задача № 81.

О паразитных токах.

Мы говорим, что в каждом проводнике, находящемся в переменном магнитном поле, возникает индукционный ток, но ведь и сердечник электромагнита находится в таком магнитном поле. Следовательно, и он должен был бы нагреваться благодаря возникающим в нем токам, а этого не наблюдается.

Мне казалось, что это можно объяснить тем, что магнитное поле внутри катушки во много раз слабее, чем снаружи. Однако так ли это, или нет — я не знаю.

Товарищ, конечно, не прав в своем объяснении. Сердечник нашей катушки не нагревался только потому, что ее строитель случайно сделал его не из сплошного куска железа, а из отдельных проволок. Если бы у нас был сплошной железный цилиндр, то он нагревался бы благодаря возникавшим в нем индукционным токам, так называемым токам Фуко. Эти токи шли бы в нем концентрически, параллельно его поверхности в глубине железа и по самой его поверхности. Но если бы мы разрезали такой сердечник на целый ряд отдельных палочек или пластинок параллельно его оси, причем изолировали бы их одну от другой, то очевидно, в таком составном сердечнике не могли бы возникнуть кольцевые (круговые) токи. Ток не сможет идти ни по поверхности такого составного сердечника, ни внутри его, так как путь ему будет преграждать все время изоляция. Точнее говоря, тока не будет потому, что цепь будет разомкнута.

Нам казалось, что вопрос исчерпан, но автор последней задачи запротестовал и подарил нас новой

Задачей № 82.

О проводнике в роли изолятора.

— Позвольте, товарищи, — сказал он, — я с вами совершенно не согласен. Никто бы не возражал на ваше объяснение, если бы между отдельными проволоками сердечника нашей катушки была действительно проложена какая-нибудь изоляция. Но ведь ее нет. Строитель даже не думал о токах Фуко. Согласитесь сами, что этим токам ничто не препятствует переходить с одной проволоки на другую, тем более, что проволоки плотно связаны вместе.

На этот вопрос никто из нас не смог дать ответ. Не дали его нам и учебники. Разрешил этот вопрос один преподаватель физики.

— Хотя вы и не изолировали одну железную проволоку от другой, — сказал он, — но изоляция между ними была. Каждая

железная проволока покрыта тончайшим слоем окиси, которая в данном случае и заменяет изоляцию. Надо вам сказать, что во многих приборах для уничтожения паразитных токов употребляют такие же составные сердечники с естественной изоляцией. В более мощных приборах иногда прокладывают искусственную изоляцию.

На это мы заметили, что мы вполне понимаем, что окисел железа проводит ток хуже, чем само железо, но что все-таки его нельзя назвать изолятором.

— Ведь каждый гвоздь несомненно также покрыт слоем окиси, — говорили мы, — однако, даже такую цепь, в которой генератором тока будет всего один элемент Лекланше, можно замкнуть двумя гвоздями, коснувшись одним из них другого. Следовательно даже такая э.-д. с., как 1,5 В, достаточна для того, чтобы преодолеть сопротивление слоя окисла. Если этот окисел признать за изолятор, то тогда вообще не останется проводников, так как все металлы покрыты окислами.

Наш собеседник ответил нам на это следующее:

— Конечно, вы правы, что только для очень маленьких э.-д. с. эти окислы будут являться непроводниками. Но не забывайте, что любые контакты работают только тогда надежно, когда с их поверхности счищен слой этого окисла. Ни один добросовестный монтер не будет сращивать (скручивать) концы двух проводов не только звонковой линии, но и электрического освещения, предварительно не содрав с них поверхностного слоя, т.-е. слоя окисла. Как видите, даже при таких мощных токах приходится считаться с сопротивлением этого слоя. Позвольте мне, к сожалению в очень грубой форме, — произвести маленький расчет, который и разъяснит вам этот вопрос. Я воспользуюсь теми вычислениями, которые вы уже сделали. Не правда ли, поверхностный слой сердечника (наружный ряд проволок) мы можем принять за „кольцевой“, точнее цилиндрический, проводник. Вы уже рассчитали, что в таком кольцевом проводнике от нашей катушки будет наводиться э.-д. с. в 50 раз меньшая, чем та, которая существует у концов самой катушки. Положим, даже, что у катушки она равна 100 В. На самом деле она еще меньше. Тогда, очевидно, мы должны будем принять

величину э.-д. с. в этом кольцевом проводнике равной $2 V$. Хотя это небольшая э.-д. с., но, как вы уже заметили, ее вполне достаточно для того, чтобы преодолеть сопротивление слоя окисла.

Однако, наш „кольцевой проводник“ не сплошной, а составной. Он состоит из пятидесяти отдельных частей (проволок), и поэтому э.-д. с. между двумя такими отдельными частями (двумя соседними проволоками) будет в пятьдесят раз меньше э.-д. с. всего „кольцевого проводника“, т.-е. будет равна $0,04 V$. Вы должны согласиться, что для такой ничтожной э.-д. с. даже сопротивление тонкого слоя окисла может оказаться достаточным для того, чтобы или совсем уничтожить ток, или во всяком случае свести его силу до неизмеримо малой величины.

Так, наконец, и этот вопрос получил свое разрешение, после чего мы выслушали интересный проект нашего товарища.

— Давно уже, — сказал он, — еще когда мы решали задачу № 43, в которой ее автор жаловался на то, что от батарейки карманного фонаря нельзя зажечь лампочку на $110 V$, я думал о том, что, собственно говоря, мощность тока такой батарейки почти достаточна для того, чтобы питать пятисвечную лампочку на $110 V$. Действительно, — мощность тока измеряется произведением ампер на вольты, и единица мощности носит название *ватт*. Батарейка дает около одного ампера при э.-д. с. $4,5 V$. Следовательно, мощность ее тока будет равна $4,5$ ваттам. Пятисвечная лампочка на $110 V$ потребляет около 6 ватт. Таким образом, две батарейки больше чем достаточны для того, чтобы зажечь лампочку в 5 свечей. Однако, эта лампочка должна быть построена с меньшим соответственно сопротивлением.

— Неужели же, — думал я, — нет такого способа, который дал бы возможность зажечь лампочку, построенную на $110 V$, источником тока с малой электродвижущей силой, но дающим ток необходимой мощности? Вчера утром я наконец понял, что такой способ есть, а к вечеру у меня уже горела 110 вольтовая лампочка от двух карманных батареек. Пусть этот способ, придуманный мною, и будет нашей сегодняшней

Задачей № 83.

О постройке трансформатора.

Вот, товарищи, две батарейки от карманного фонаря; вот вам изолированная проволока, напильник и стоячий патрон с пятисвечной лампочкой на $110 V$. Наконец, последнее, что необходимо для нашего опыта — это два железных брусочка. Один прямой, другой напоминающий сплюснутую букву П (рис. 43). Эти брусочки сделаны не из сплошного куска железа, а из скрепленных друг с другом тонких железных пластинок, которые я вырезывал из листового железа.

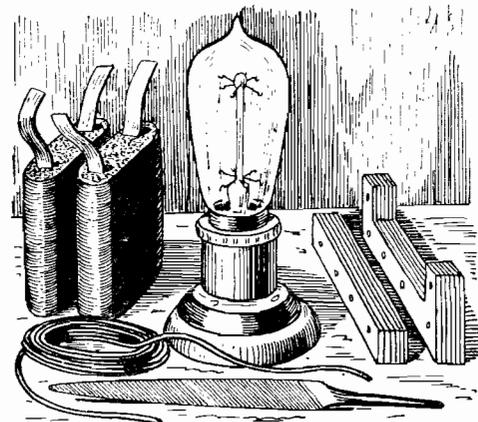


Рис. 43. Все эти предметы выложил на стол наш товарищ, предложив зажечь лампочку на $110 V$ от двух карманных батареек.

Требуется все выставленное скомбинировать так, чтобы зажечь лампочку на $110 V$.

Ну-ка, попробуйте, товарищи!

Железные брусочки, изолированная проволока, наконец вообще все наши последние работы подсказали нам, что, очевидно, решить эту задачу можно лишь постройкой трансформатора. Нас смущали только два предмета: второй железный брусок и напильник. Железный брусок должен был быть сердечником трансформатора — это было ясно, но для чего же тогда нужен был второй брусок, да еще такой странной формы?

Однако, мы не стали долго раздумывать над этим и принялись устраивать трансформатор так, как сами считали это необходимым.

Мы взяли прямой железный брусок и намотали на него проволоку, сделав двадцать оборотов. Эта проволока и должна была служить нам в качестве первичной обмотки. Ее предполагалось соединить с батарейками. Так как последовательное соединенные батарейки давали 9 В, а во вторичной обмотке у нас должна была возникнуть э.-д. с. равная 110 В, то очевидно, число оборотов вторичной обмотки следовало сделать по меньшей мере в двенадцать раз большим, чем в первичной. Мы сделали ее в 250 оборотов. Вторичную обмотку мы наматывали прямо на первичную. Закрепив концы первичной и вторичной обмотки, мы во вторичную включили лампочку, а в первичную — батарею.

Однако, лампочка даже не накаливалась.

В нашу работу вмешался изобретатель трансформатора и сказал:

— Вы только попусту тратите время. Мы же с вами совершенно точно установили, что индукционные токи могут появляться только от действия переменного магнитного поля, а у вас поле постоянное. Ведь, если по первичной обмотке идет ток постоянной силы и постоянного направления, то, очевидно, и магнитное поле будет постоянное. Кажется, придется мне предложить вам еще одну

Задачу № 84.

Для чего может пригодиться напильник.

Как, пользуясь напильником можно постоянное магнитное поле первичной обмотки превратить в переменное*?

В этой задаче нам пришлось решить два вопроса: каким образом вообще постоянным током можно создать переменное магнитное поле, и какую помощь в этом смысле может оказать нам напильник?

Если мы цепь первичной обмотки будем замыкать и размыкать, то, очевидно, через нее будет проходить ток, хотя и

* Термин „переменное поле“ в данном случае употребляется в смысле изменения не его направления, а силы.

постоянный по своему направлению, но меняющийся в своей силе. Ток будет прерывистый. Каждое замыкание тока вызовет усиление магнитного поля; каждое размыкание — ослабление его. В моменты этого усиления и ослабления магнитного поля во вторичной обмотке появятся кратковременные индукционные токи. Они будут возникать тем чаще и тем большей силы, чем чаще и резче мы будем прерывать первичный ток. Для этой цели очень удобно применить напильник. Мы соединили его проволокой с одним полюсом батарейки. Концом же того провода, который раньше соединялся с батарейкой, стали быстро „чиркать“ по зазубринам напильника (рис. 44). Каждый раз, как проводочка соскакивала с зазубринки напильника, ток на мгновение прерывался. Таким способом можно было добиться очень быстрых и резких прерываний тока.

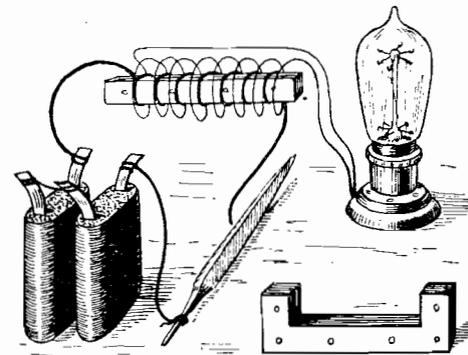


Рис. 44. Каждый раз, как проводочка соскакивала с зазубринки напильника, нить лампочки накалялась.

Нить лампочки накалилась, но далеко не давала полного света. Чего только мы ни делали для того, чтобы получить от лампочки нормальный свет! Изобретатель наконец не выдержал и сказал:

— Видно, сегодня мне все время придется подсказывать вам. Вы сегодня очень плохо соображаете! В наказание извольте-ка решить новую

Задачу № 85.

Как кусок железа усиливает свет электрической лампы.

Я беру, товарищи, второй брусок железа, согнутый в виде сплющенной буквы П, и прикладываю его концами к сердечнику трансформатора (рис. 45).

Смотрите, как теперь ярко горит лампочка, когда вы начинаете „чиркать“ проволокой по напильнику. Теперь я отнимаю второй брусок от сердечника, и лампочка опять начинает гореть в полсвета.

В нашем трансформаторе магнитным силовым линиям приходилось идти от одного полюса сердечника к другому, пронизывая воздух, который, как мы уже говорили, обладает слабой магнитной проницаемостью. Но когда наш товарищ соединил концы сердечника П-образным бруском, то, очевидно, силовые линии могли проходить уже не по воздуху, а по железу, обладающему высокой магнитной проницаемостью. Понятно, что в первом случае магнитное поле должно было быть слабее, чем во втором, а следовательно при применении замкнутого железного сердечника (рамки) мощность вторичного (индукционного) тока должна была заметно возрасти.

Мы остались чрезвычайно довольны опытом с этим трансформатором. Он лишний раз убедил нас в том, что отдельно взятые э.д. с. и сила тока какого-нибудь источника тока ничего еще не говорят о его работоспособности. Только *мощностью* тока можно оценить эффект, который должен произвести в умелых руках тот или иной электро-генератор. Мы поняли, что мы напрасно смеялись над нашим товарищем, который пытался зажечь 110-вольтовую лампу карманной батарейкой. Мы сами сейчас выполнили подобную установку и очень гордились этим.

Мы остались чрезвычайно довольны опытом с этим трансформатором. Он лишний раз убедил нас в том, что отдельно взятые э.д. с. и сила тока какого-нибудь источника тока ничего еще не говорят о его работоспособности. Только *мощностью* тока можно оценить эффект, который должен произвести в умелых руках тот или иной электро-генератор. Мы поняли, что мы напрасно смеялись над нашим товарищем, который пытался зажечь 110-вольтовую лампу карманной батарейкой. Мы сами сейчас выполнили подобную установку и очень гордились этим.

В вопросе о свойствах трансформатора нам совершенно случайно помог разобраться один товарищ, который вспомнил любопытный случай из своего детства и рассказал нам о нем в

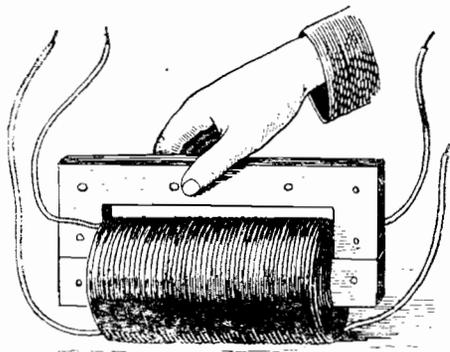


Рис. 45. Как мы усилили яркость горения лампочки.

Задаче № 86.

Об удивительном свойстве звонкового трансформатора.

— Мои родители купили маленький трансформатор для электрических звонков. Первичную обмотку этого трансформатора можно было непосредственно включить в осветительную сеть, так как она состояла из очень большого числа витков тонкой и длинной медной проволоки. Во вторичной обмотке, состоявшей из малого числа витков более толстой и короткой проволоки, возбуждалась э.д. с. 6 вольт при четырех амперах, что вполне пригодно для работы нескольких звонков.

Удобство такого трансформатора по сравнению с элементами было очень большое. Стоил он не дороже элементов, а работать мог сколько угодно. В нем ничего не портилось, в него ничего не надо было подливать или подсыпать, как в элементы, и сила его тока была всегда одна и та же, сколько бы ни пользовались его током для работы звонков. Я был большой любитель электротехники, и еще до покупки трансформатора сказал, что несмотря на многие его достоинства, эксплуатация его обойдется очень дорого — много дороже элементов. Посудите сами: первичная обмотка трансформатора включалась в осветительную сеть и находилась все время замкнутой. Следовательно, ток безостановочно должен был проходить по ней день и ночь, независимо от того, работал ли звонок или нет. А значит, и *счетчик* должен был все время регистрировать расход электрической энергии.

Однако, на мои слова никто не обратил внимания. Мне показали публикацию о звонковых трансформаторах, в которой говорилось, что сила тока, необходимая для питания трансформатора, столь мала, что счетчик ее не может зарегистрировать. Это, конечно,

меняло дело. Однако, мне хотелось подсчитать, действительно ли для первичной обмотки сила тока получится такой ничтожной, если во вторичной будет возбуждаться ток силой в 4 А при э.-д. с. 6 вольт. Подсчитать это было нетрудно: если э.-д. с. в трансформаторе со 110 вольт падала до 6, т.-е. уменьшалась примерно в 18 раз, то очевидно во столько же раз (приблизительно) должна была увеличиться сила тока во вторичной обмотке. Или наоборот, сила тока в первичной обмотке должна была быть в 18 раз меньше, нежели во вторичной. Следовательно, она равнялась $\frac{4}{18}$ или около 0,2 А. Этот результат был для меня целым откровением: фирма, выпустившая эти трансформаторы, была уличена мною во лжи. С какой гордостью я сказал взрослым, что для работы трансформатора необходима сила тока в 0,2 А слышим.

— Вы думаете, — сказал я, — что такую силу тока счетчик не регистрирует? Как же он тогда отмечает горение 10 свечной экономичекой лампочки, для которой необходима меньшая сила тока?

Но пока я делал расчеты, трансформатор был уже куплен, и мне было предложено установить его вместо батареи элементов для звонков. Включить трансформатор в сеть электрического освещения было для меня делом получаса. Немедленно же я отправился к счетчику, и уставился на его вращающийся диск. Однако, диск был неподвижен. Трансформатор не был испорчен, так как прежде, чем пойти к счетчику, я убедился на звонках в его полной исправности. Это было необъяснимо и ужасно для моего самолюбия. Я ухватился за последний якорь спасения — „Может быть, трансформатор не дает 4 А?“. Амперметра у меня не было, но я включил параллельно во вторичную обмотку трансформатора вместо звонка четыре экономичекие лампочки на шесть вольт и 1 А каждая. Они все зажглись ярким светом. Очевидно, трансформатор давал во всяком случае 4 А.

Я был необыкновенно удручен тем обстоятельством, что практика не подтвердила моих теоретических соображений.

„В чем тут дело?“ — думал я. — „Где тут скрыта тайная причина?“

Может быть, вы, товарищи, поможете разгадать мне эту загадку, которая до сих пор оставалась нерешенной.

Эта загадка так, вероятно, и осталась бы навсегда загадкой для всех нас, если бы товарищ не рассказал еще об одном случае с трансформатором, который вначале окончательно сбил нас с толку.

Задача № 87.

О похитителе электрической энергии.

— После всех этих огорчений, — продолжал товарищ, — мне пришла в голову гениальная мысль. Что бы я ни думал, но в конце концов факт остается фактом: счетчик не регистрировал первичного тока трансформатора, а во вторичной обмотке индуцировался ток, достаточный для питания четырех 6-свечных лампочек. Таким образом получалась возможность использовать совершенно бесплатно электрическую энергию для питания четырех лампочек по 6 свечей каждая. Больше всего меня радовало, что все мои опыты с городским электрическим током ничего не будут стоить, если я для них буду пользоваться током от вторичной обмотки трансформатора.

Немедленно же я провел к своему столику провода от трансформатора и включил мои мало-вольтные экономичекие лампочки. Поняв мое желание, отец мне сказал:

— Ты думаешь, что наш счетчик покажет меньший расход энергии, если ты будешь жечь свои лампочки от трансформатора?

— Ничего не покажет, — с гордостью отвечал я. Представьте себе, что почувствовал я, когда, желая убедить всех в справедливости моих слов, я указал на счетчик, а его диск не только не стоял на месте, но довольно быстро вращался.

Таким образом, мой „даровой“ способ электрического освещения позорно провалился. Ни одного уатта я не похитил у электрической станции.

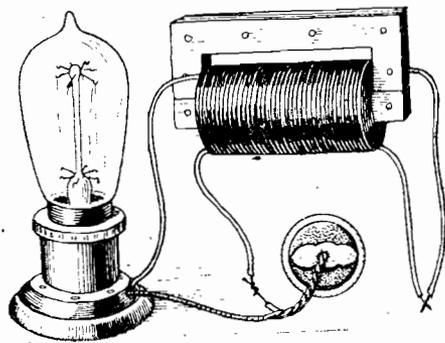
Может быть, вам все это кажется понятным, а я всю ночь не спал тогда, да так и не разрешил этого вопроса.

Эта вторая задача кое-что разъяснила нам. На основании всех тех наблюдений, о которых рассказал нам товарищ, мы могли сделать такой вывод: когда вторичная цепь трансформатора разомкнута, в первичной цепи, несмотря на то, что она имеет сравнительно *небольшое сопротивление*, циркулирует ток очень слабой силы. Когда же вторичная цепь замыкается, то в первичной, несмотря на то, что *ее сопротивление не изменилось*, сила тока возрастает до весьма значительной величины.

Вот и все, что мы могли извлечь из наблюдений рассказчика. Однако, мы решили проверить этот вывод на опыте. Мы взяли наш самодельный трансформатор и включили последовательно с его длинной обмоткой лампочку накаливания. Волосок лампочки едва накалился. Тогда мы

Рис. 46. Когда мы соединяли концы вторичной обмотки, лампочка загоралась сильнее.

соединили концы короткой обмотки, и лампочка мгновенно загорелась ярче (рис. 46). Этот опыт вполне подтвердил наше предположение. Однако, причина этого явления попрежнему оставалась нам неизвестной. Если бы не наш председатель, то мы бы ее никогда и не отыскивали.



— Я знаю, товарищи, — сказал председатель, — в чем тут дело. Знаю не потому, что я самостоятельно решил этот вопрос, а потому, что вспомнил об одном свойстве переменного тока, о котором, очевидно, вы еще не знаете. На эту тему я хочу предложить вам

Задачу № 88.

О том, как, не меняя сопротивления проволоки, можно изменить ее сопротивление.

В сеть электрического освещения я включаю лампочку накаливания на 100 свечей и последовательно с ней катушку из намотанной изолированной проволоки без сердечника. Лампочка загорается почти полным светом, так как сопротивление катушки невелико.

Моя задача заключается в следующем: как, не меняя сопротивления цепи, не трогая лампы и не перематывая катушки, ослабить силу света лампы?

Эту задачу за всех нас пришлось решать самому председателю. Он взял железный брусок и вложил его в катушку. Сила света лампы от этого моментально убавилась.

— Это производит довольно слабый эффект, — сказал председатель, — но если кроме того наложить на сердечник катушки два согнутых гвоздя или наш П-образный брусок, то свет лампочки сильно ослабевает (рис. 47). Сейчас я попытаюсь вам объяснить, почему это происходит. Когда ток пробежал по катушке, он вызвал вокруг нее магнитное поле. Силовые линии этого поля, пронизывая какой-нибудь проводник,

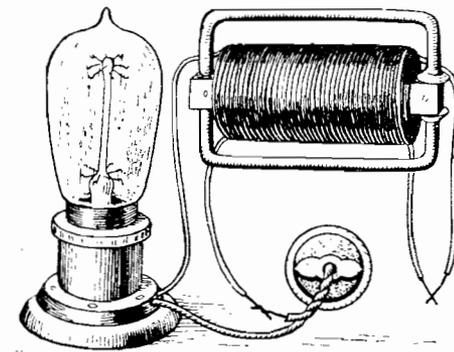


Рис. 47. Если на сердечник катушки наложить два согнутых гвоздя, то свет лампочки сильно ослабевает.

как уже не раз говорилось, возбуждают в нем ток. Однако, опыт показал, что эти индукционные токи будут обратного направления. Например, если мы будем смотреть на какой-нибудь конец катушки трансформатора и предположим, что в его первичной обмотке ток пойдет по направлению часовой стрелки, то во вторичной обмотке будет индуцироваться ток обратного направления, т.е. против часовой стрелки. Товарищи, хотя нас сейчас и не интересует вопрос о взаимодействии магнитных полей первичной и вторичной обмотки, но я остановлюсь немного на этом вопросе, так как он даст нам ответ на задачу № 80. Решая указанную задачу, мы рассматривали наш большой электромагнит и медное кольцо, как некоторый трансформатор, у которого за вторичную обмотку мы и принимали кольцо. Следовательно, в кольце все время индуцировались токи направления обратного тока в электромагните. Если мы будем смотреть сверху на электромагнит и допустим, что в его обмотке ток идет по часовой стрелке, то, очевидно, верхний конец его сердечника будет в этот момент южным полюсом. В кольце, лежащем на сердечнике, ток будет обратного направления, т.е. пойдет обратно часовой стрелке, следовательно, над кольцом получится северный полюс, а под кольцом южный. Таким образом южный полюс кольца будет обращен к южному полюсу электромагнита. Очевидно, что между ними должно возникнуть отталкивание. Когда ток в обмотке изменит свое направление, изменится полюс электромагнита, но изменится полюс и у кольца, а следовательно мы получим опять два одноименных полюса, которые также будут отталкиваться. Само собой разумеется, что подобное отталкивание существует и между первичной и вторичной обмоткой любого трансформатора.

Переходя к вопросу нашей сегодняшней задачи № 88, я должен заметить, товарищи, что трудно допустить, чтобы силовые линии, пронизывая вторичную обмотку трансформатора, могли наводить в ней токи, а в самой первичной обмотке эти же силовые линии не вызвали индукционных токов. Опыт показывает, что это действительно имеет место. Эти токи, которые возникают в самой первичной обмотке, называют экстратоками. Так как направление этих экстратоков будет *обратно* направлению первичных переменных токов, то, очевидно, они

будут действовать на них ослабляющим образом. Понятно, что для этого действия не нужно вообще никакой вторичной обмотки. Любая катушка, любой электромагнит будут в большей или меньшей степени оказывать это же влияние на первичный переменный ток. Однако, чем же можно объяснить то, что при вкладывании железного сердечника первичный ток ослабевает? Для вас, товарищи, должно быть ясно, что экстраток будет тем сильнее, чем большей мощности будет магнитное поле, возбуждавшее его, а мы уже не раз говорили, что магнитное поле очень усиливается при внесении в катушку железного сердечника и особенно в том случае, когда этот сердечник *замкнут*.

Осталось разрешить последний вопрос: почему действие экстратоков в первичной обмотке трансформатора так ослабляется когда мы замыкаем вторичную обмотку?

Это очень любопытное явление. Индукционные токи во вторичной обмотке сами в свою очередь наводят токи в первичной обмотке, и эти токи будут направления обратного экстратокам. Благодаря этому экстратоки ослабляются, а когда наведенные токи сравниваются с ними по величине, то и совсем уничтожаются*. Свойство катушки индуцировать в самой себе токи называется самоиндукцией. Самоиндукция проводников играет огромную роль в электротехнике. Без нее не было бы, например, современного радиотелеграфа. Специальные катушки с большей или меньшей самоиндукцией, так называемые *реактивные* катушки, заменяют собой реостаты в сети переменного тока. Кстати, товарищи, не решите ли вы такую

Задачу № 89.

О реактивных катушках.

Чем выгоднее пользоваться в сети переменного тока — реостатом или реактивными катушками?

Конечно, реактивными катушками. Реостат уменьшает силу тока за счет превращения части электрической энергии в те-

* Это лишь приблизительно верно.

пловую, тогда как реактивная катушка просто пропускает через себя ток лишь определенной силы. Ее действие напоминает действие клапана или водопроводного крана, прикрутив который, можно получить более слабую струйку воды. Эта струйка получила бы не за счет каких-нибудь потерь воды, а лишь благодаря торможению ее потока. Если бы пожелали уменьшить струю воды иным способом, например, высверлив дырку в водопроводной трубе так, чтобы часть воды выливалась не через кран, а через это добавочное отверстие, то этот странный способ регулирования струи воды был бы аналогичен действию реостата.

Кстати, товарищи, вы помните задачу № 28, о свойствах молнии, в которой мы отмечали замечательный факт, что иногда хороший проводник представляет для молнии непреодолимое препятствие, что хороший проводник превращается чуть ли не в изолятор. Это происходит благодаря самоиндукции проводника. Самоиндукция проводника становится тем большей, чем больше скорость колебаний тока. Тот проводник, который почти не вызывает никакого сопротивления для обычных переменных токов, может превратиться в огромное сопротивление для быстропеременных токов в сотни тысяч перемен в 1 секунду. А такие именно быстропеременные токи возникают при искровом заряде и не только тогда, когда он проявляется в виде мощных молний, но и в тех случаях, когда маленькая искорка проскакивает в ваш палец из наэлектризованного проводника.

— Товарищи, — сказал я, — ведь мы вплотную подошли с вами к принципу устройства генератора переменного тока. Мне хочется предложить вам в связи с этим

З а д а ч у № 90.

О простейшем генераторе переменного тока.

— Вот вам, товарищи, стержневой электримагнит с обмоткой из тонкой и длинной проволоки и полюсовой стальной магнит.

Как с помощью этих двух предметов можно ментально построить генератор переменного тока?

Должен признаться, что товарищи с большим подозрением отнеслись к моей задаче. Однако, на этот раз я был спокоен за себя. Когда никто не мог решить поставленного вопроса, я сам продемонстрировал работу моего генератора.

— Прежде всего, — сказал я, — построим с вами приборчик, который дал бы возможность обнаружить токи моего генератора. Для этого я вокруг оправы компаса, по оси стрелки, наматываю около 150 витков тонкой изолированной проволоки. Таким образом, у меня получился очень чувствительный гальванометр, действие которого, конечно, должно быть вам понятным. Теперь я присоединяю концы обмотки этого гальванометра к концам обмотки электромагнита. Беру в левую руку магнит, а в правую электромагнит и начинаю то быстро приближать его сердечник к полюсу магнита, то удалять от него. Взгляните на гальванометр. Его стрелка отмечает каждое мое движение, при чем приближение к магниту вызывает отклонение стрелки в одну сторону, а удаление — в другую.

Все очень враждебно отнеслись к моему доказательству, говоря, что моя установка „даже не прибор, а не то что машина“.

— Позвольте, товарищи, — возразил я, — требовалось построить источник переменного тока. Разве же он не налицо? Вы видели, что я не пользовался ни элементами, ни током городской станции и, однако, стрелка компаса отклонялась. Следовательно, по проволоке, намотанной на оправу компаса, проходил ток, источником которого, ясно, были магнит с катушкой. Итак, источник тока я вам дал. Остается доказать, что этот ток был переменным. Но это же ясно и без особых объяснений: стрелка отклонялась то вправо, то влево, а это значило, что по обмотке ток шел то в одну, то в другую сторону; следовательно, ток был переменный.

Да и как могло быть иначе? Когда я приближал электромагнит к полюсу магнита, его обмотка постепенно попадала все в более сильное магнитное поле. Следовательно, в обмотке должен был возникнуть индукционный ток определенного направления. Когда же я отодвигал сердечник электромагнита от магнита, то, очевидно, действие магнитного поля

ослабевало, что должно было также вызвать индукционные токи в обмотке электромагнита, но уже другого направления.

— И все-таки это игрушка, — сказали мои слушатели, — не имеющая никакого практического значения.

Опять мне пришлось защищаться:

— Вы знаете, как работает паровая машина? Поршень парового цилиндра движется поступательно взад и вперед. К поршню прикреплен шток (стальная палка), который также

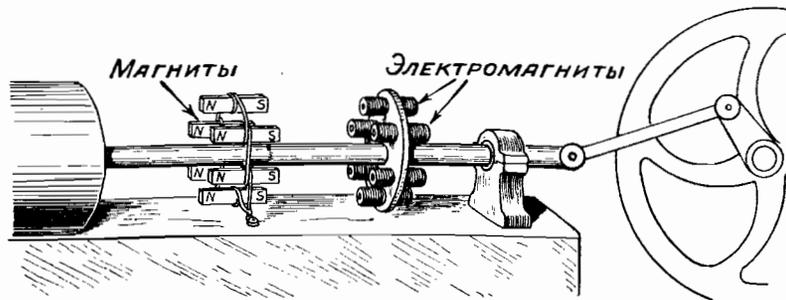


Рис. 48. Магниты прикреплены посредством толстой стальной проволоки к фундаменту, а электромагниты при помощи деревянного круга прикреплены наглухо к штоку паровой машины. Во время работы машины электромагниты то приближаются к магнитам, то удаляются от них.

движется взад и вперед. Прикрепите к этому штоку десяток электромагнитов, установите против них полосовые стальные магниты — и вы получите генератор переменного тока, который уже нельзя будет назвать игрушкой (рис. 48).

— Но все-таки, — заявили мои оппоненты, — это будет очень плохая машина.

— С этим я согласен, — сказал я. — А потому позвольте предложить вам новую

Задачу № 91.

О первой модели более совершенного генератора.

Какие бы вы предложили внести изменения и усовершенствования в конструкцию того генератора переменного тока, который я вам демонстрировал?

Эта задача встретила живой отклик со стороны всех членов нашего кружка.

— Товарищи, — сказал один из присутствующих, — мне кажется, что нам невыгодно далеко отодвигать катушку от магнита, так как чем дальше будет от него катушка, тем слабее будет магнитное поле вокруг нее. С другой стороны, сила индукционных токов зависит от резкости, от быстроты изменений магнитного поля. Следовательно, если мы собираемся двигать катушку вблизи магнита, то мы должны совершать это движение с возможно большей скоростью. Каким же способом можно добиться того, чтобы сердечник электромагнита с большой скоростью и без остановок приближался к полюсу магнита и удалялся от него, передвигаясь в очень небольших пределах? На мой взгляд, двигая электромагнит поступательно, мы не можем ему сообщить больших скоростей. Нам выгодно, чтобы, например, во время его движения к магниту скорость его не уменьшалась до того мгновения, пока он не начнет двигаться обратно. Короче говоря, мы хотим, чтобы электромагнит, приблизившись вплотную к полюсу магнита, не останавливаясь и не уменьшая своей скорости, мгновенно изменил бы ее на обратную и стал бы двигаться от магнита. Очевидно, что это совершенно невыполнимо, если электромагнит движется по прямому пути взад и вперед, но это легко выполнимо в том случае, если сообщить ему вращательное движение.

Для того, чтобы наши рассуждения были более ясными, я предлагаю вам иллюстрировать все, что мы будем говорить о генераторе, простыми моделями. Пусть вот эта полоска железа будет магнит, а эта деревянная катушка из-под ниток — электромагнит. Я высверливаю в середине катушки (поперек ее оси) сквозное отверстие и вставляю в него толстую проволоку. Эта проволока будет осью катушки, на которой она будет вращаться (рис 49). Укрепив ее около полюса магнита и вращая ее с определенной скоростью, я могу быть уверен, что каждый конец сердечника катушки приближается к полюсу магнита с той же скоростью, с какой пролетает мимо него, и, наконец, удаляется по окружности в сторону.

Вот в чем состоит мое усовершенствование.

— Товарищи, — сказал кто-то из нас, — я хочу обратить ваше внимание еще на одно улучшение в этой первой модели, на которое не указал ее автор. При прямолинейном движении электромагнита мы могли использовать для получения индукционных токов только один конец его сердечника, а при круговом движении (вращении) мы можем утилизировать оба конца. Один оборот электромагнита вызывает в нем четыре

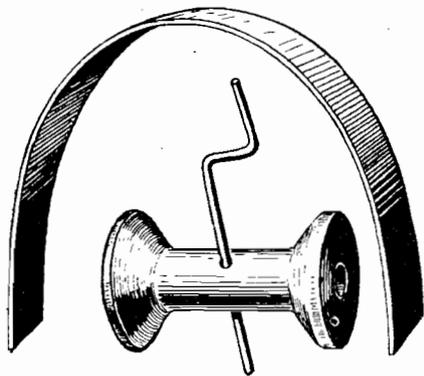


Рис. 49. Сквозь катушку мы продели изогнутую железную проволоку.

тока: два одного направления и два — противоположного. Когда один из концов катушки приближается к магниту, в катушке появляется индукционный ток одного направления до тех пор, пока этот конец не пройдет мимо полюса, и тогда возникает в катушке ток обратный, так как ее конец в это время удаляется от полюса. Когда этот конец электромагнита опишет полуокружность, то его второй

конец окажется в том самом месте, с которого начал двигаться первый конец. Следовательно, пока первый будет заканчивать полный круг, т.-е. проходить вторую половину окружности, второй приблизится к полюсу и удалится от него. Вследствие этого возникает еще два тока взаимно противоположных направлений. Таким образом, за полный оборот возникает 4 кратковременных тока.

Однако, ваша модель генератора требует еще новых усовершенствований. В чем состоят они, я расскажу вам в

Задаче № 92.

О безработном полюсе (вторая модель).

Если внимательно приглядеться к нашей модели, то сразу бросается в глаза, что мы утилизируем не всю магнитную силу нашего магнита. Один его

полюс совершенно не участвует в работе — понятно, что это не в наших интересах. Кроме того, хотя при вращении электромагнита работают оба конца его сердечника, но они работают не одновременно, а по очереди. Когда один конец проходит перед полюсом магнита, противоположный ему конец двигается в очень слабом магнитном поле и поэтому не может в свою очередь возбудить в катушке индукционные токи. Моя задача заключается в следующем: как можно изменить конструкцию нашей модели для того, чтобы 1) работали оба полюса магнита, и 2) оба конца катушки одновременно подходили и отходили от полюсов магнита?

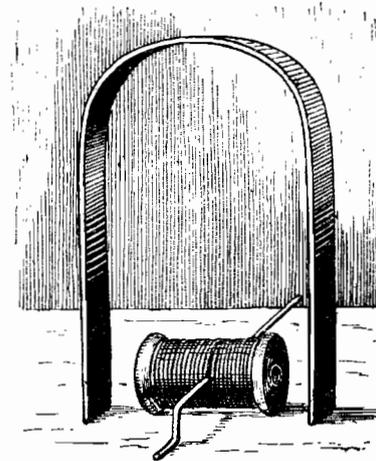


Рис. 50. Согнутая железная пластинка изображала магнит.

С этой задачей мы справились быстро. Мы согнули наш воспринимаемый магнит в дугу и поместили катушку между ее концами (рис. 50). Председатель неожиданно пристыдил нас:

— Плохо, плохо вы строите модели, — сказал он. — Как же вы не замечаете, что ни от первой, ни от второй модели вы не сможете фактически воспользоваться ни для какого прибора током, наведенным в обмотке вращающейся катушки? Представьте себе, что я соединил бы ее обмотку проволочками, ну хотя бы с гальванометром. Через десяток оборотов эти проволочки закрутились бы и оборвались. Я предлагаю вам внести еще одно усовершенствование, самое главное с моей точки зрения, которое дало бы возможность не созерцать токи в обмотке катушки, а действительно использовать их на практике. Пусть в этом и будет состоять

Задача № 93.

О третьей модели генератора.

Какое должно быть сделано приспособление для того, чтобы токи из катушки можно было отвести во внешнюю цепь?

Этот вопрос мы решили самым простым способом — заглянули в учебник физики. После его решения наша модель приняла такой вид (рис. 51).

Однако, учебник физики чуть было не разбил всех надежд, которые окрыляли нас, когда мы строили наши модели.

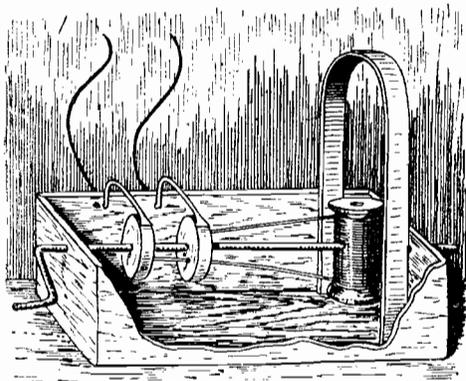


Рис. 51. Модель индуктора. Один конец обмотки катушки (якоря) соединялся с одним кольцом, а другой конец с другим кольцом. Кольца у нас были сделаны из двух пробочных кружочков. Однако мы помнили, что такие кольца делаются из меди и что они изолированы от оси индуктора. Щетки мы сделали из двух медных проволочек, концы которых расплющили.

струкции настоящего генератора переменного тока.

Мне пришлось защищаться.

— Вы не правы, товарищи. Конечно, построенная нами модель — только грубая схема генератора сильных переменных токов, но наша модель — почти точная копия так называемых

— Товарищи, — заговорил один из присутствующих, — мы поверили, что строим — и действительно выстроили — модель генератора переменного тока, употребляемого на практике, но взгляните на рисунок и на чертежи генератора переменного тока, помещенные в этой книге. В них нет ни малейшего сходства с нашей моделью кроме „щеток“, собирающих ток, и двух медных „колец“, по которым скользят эти щетки. Вся наша работа, в конце концов, ничуть не подвела нас ближе к пониманию кон-

индукторов. Эти индукторы применяются в качестве источника переменного тока для железнодорожной и прочей сигнализации, а также в телефонах с „индукторным вызовом“, т.-е. таких, в которых звонок звонит не от батарейного тока, а от тока индукторов. В обоих случаях индукторы приводят во вращение рукой.

„Магнето“, употребляющееся для воспламенения смеси во взрывных двигателях (двигателях внутреннего сгорания), — те же индукторы. Ни мотоциклет, ни автомобиль, ни мотолодка не могут двигаться без магнето.

Наконец, тот генератор тока, который питает лампочку велосипедного фонаря и о котором мы с вами уже говорили в задаче № 35, устроен так же, как наша последняя модель.

Как же можно говорить, товарищи, что мы не приблизились к пониманию конструкции генератора переменного тока, применяемого на практике?

Существенное отличие между им и индуктором заключается только в том, что у генератора вместо постоянного магнита применяют электромагнит. Получение сильного магнитного поля от постоянного магнита связано с огромным увеличением его массы, что на практике мало удобно при маломощных установках, а при больших установках и вообще не выполнимо. Электромагнит, имея очень небольшие размеры, может создать весьма мощное электромагнитное поле.

Мы уже решили оставить на время вопрос о генераторах тока, превращающих механическую энергию в электрическую, как кто-то вспомнил о *динамомашине*.

— Как же это, мы совсем забыли о „динамо“? Ведь она первая произвела переворот в электротехнике, она впервые дала возможность осуществить добычу дешевой электрической энергии. Я предлагаю ей посвятить специальную

Задачу № 94.

О динамомашине.

.....

 Автору задачи так и не пришлось ее изложить. Его перебил один из членов кружка:

— Ну, что же мы можем сказать интересного о динамомашине? Если бы мы подробно и обстоятельно останавливались на всех деталях устройства, на всех электромагнитных процессах, совершающихся в генераторе тока, если бы мы подкрепляли свои рассуждения математическими иллюстрациями, то тогда, конечно, мы могли бы многому поучиться у „динамо“. Но мы с вами работали иначе. В этом году мы совершаем первые шаги самостоятельной работы, не будем же усложнять ее — у нас впереди еще много времени.

Динамомашин! Динамомашин! — это тот же генератор *переменного тока*. Вы протестуете, вы хотите напомнить мне, что „динамо“ дает *постоянный* ток, а не переменный. Позвольте вам заметить, товарищи, что в той части „динамо“, которая выполняет роль нашей катушки и которая состоит из обмотки и железного сердечника (она называется якорь), возбуждаются при ее вращении *переменные* токи. Эти токи чисто механическим путем, непрерывным переключением, превращаются в постоянные. Генератор переменного тока, соединенный с „механическим выпрямителем“ — вот что такое динамомашин. Она сложнее и капризнее генератора переменного тока, она не пригодна для передачи энергии на большие расстояния, она вообще постепенно превращается в подсобный орган мощных силовых установок.

Товарищи, мы еще вернемся к ней, как вернемся и ко многим другим вопросам. Мы сейчас обзираем электричество с высоты птичьего полета. Мы еще опустимся очень низко и тогда воздадим должное и „динамо“ за ее огромную историческую роль соиздательницы нашей электротехники. А сейчас, товарищи, мне хочется поделиться с вами моими мыслями, которые уже несколько дней не дают мне покоя.

Последние преграды.

— Я расскажу вам о том, что меня занимает, — продолжал товарищ, — в

Задаче № 95.

О передаче энергии.

Нет сомнения, что магнитное поле, как и электрическое, простирается в бесконечность, что нет пределов ни у того, ни у другого. Ясно также, что это относится одинаково как к постоянному, так и к переменному магнитному полю. Мы с вами знаем, на основании многих опытов, что в проводнике, помещенном в такое магнитное переменное поле, будут индуцироваться переменные токи. Вы, вероятно, уже догадались, к чему я веду свою речь? Если мои соображения правильны, то, очевидно, в наших руках имеется уже возможность передавать электрическую энергию на расстояние без проводов. Колебания магнитного поля заменяют нам медные провода. Конечно, я заранее предвижу, что токи, наведенные в проводнике магнитным полем, будут слабые, если между источником поля и приемником (проводником) будет большое расстояние, но, может быть, мы сможем осуществить подобную передачу электрической энергии своими средствами, хоть в какой-нибудь степи, на практике.

В этом, товарищи, и состоит моя задача.

Нечего и говорить, конечно, с каким чувством мы встретили эту задачу. Мы невольно подумали: „Неужели же так

просто устроен и радиотелеграф?" К сожалению, нам так и не пришлось на этом собрании выяснить волновавший нас вопрос. В комнату вошел запоздавший член нашего кружка и положил перед нами какую-то маленькую черную коробочку.

— Товарищи, — сказал он, — эту коробочку я нашел в мусоре в кладовой, где работает мой отец. Это несомненно электрический прибор, так как, видите, здесь сохранилась надпись „Трест слабых токов“, но что это за прибор, я не знаю. Однако, для нас было бы позорно не суметь определить назначение этой коробочки. Я считаю, что только в крайнем случае мы можем разрешить себе вскрыть эту коробочку — ведь, вскрывая, мы рискуем испортить этот прибор.

Задача № 96.

Об удивительной коробочке.

Первое исследование.

Мы принялись рассматривать принесенную товарищем коробочку. На ней когда-то было что-то написано, но сейчас, кроме штемпеля и непонятного нам значка: „MF—2“, ничего нельзя было разобрать. Это был металлический футляр, закрытый со всех сторон, кроме верхней, которая была, по-видимому, залита мастикой, подобной той, какой заливают сухие элементы. Сквозь эту заливку проходили две латунные пластинки, — очевидно, электроды. Первое предположение было, что это — своеобразный сухой элемент. Однако, наш гальванометр, присоединенный к электродам коробочки, не показал ни малейшего отклонения стрелки. Испытывали действие коробочки даже на телефонную трубку, но и в ней не было обнаружено никакого звука. Конечно, элемент мог быть очень старым. Жидкость в нем могла совершенно высохнуть, и тогда, конечно, невозможно было бы обнаружить тока. Но нас смущало, во-первых, то, что он был весь герметически закрыт со всех сторон (таким образом, предположение о полном уничтожении влаги было сравнительно мало вероятно), и, во-вторых, то, что в заливке отсутствовало выводное отверстие для выделяющихся из элемента газов. Было решено, что

она — не сухой элемент и вообще не гальванический элемент. Мы совершенно не знали, что предпринять для дальнейших исследований, и растерянно глядели друг на друга. Товарищ, принесший коробочку, улыбнулся таинственно и сказал:

— Попробуйте-ка узнать, проводник ли эта коробочка! — Решено было выяснить этот вопрос.

Под рукой ничего не оказалось, кроме электрического звонка. Быстро соорудили жидкий реостат и включили последовательно в цепь городского тока звонок, коробочку и реостат (рис. 52). Звонок зазвонил. Отсюда был сделан следующий вывод: между контактами коробочки имеется цепь, состоящая из проводников — твердых или жидких.

Не успели мы притти к этому выводу, как электроды наспех составленного реостата скользнули и коснулись друг друга. „Короткое замыкание!“ — мелькнуло в голове. Действительно, реостат выключил сам себя. Звонок

и коробочка могли мгновенно перегореть. Все кинулись к реостату. Но спокойный голос председателя остановил нас:

— Товарищи, все благополучно. Посмотрите, в прерывателе звонка искра не увеличилась, значит, ток не усилился, а следовательно, наша коробочка сама по себе представляет большое сопротивление.

— Может быть, эта коробочка — реостат? — сказал кто-то.

— Это не противоречит нашему первому определению, только придется еще добавить, что цепь проводников между контактами коробочки имеет большое сопротивление.

Однако, на это резонно возразили другие:

— Никто не спорит, что контакты соединены проводниками, и что эти проводники имеют большое сопротивление, но что совершенно невозможно допустить, это чтобы реостат был за-

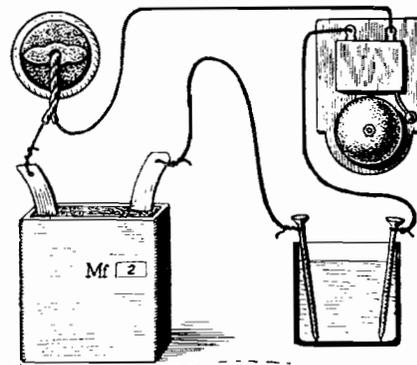


Рис. 52. Чувствительный звонок, включенный в городскую сеть последовательно с реостатом и исследуемой „коробочкой“, начинал звонить.

ключен в герметический футляр, да еще был бы залит сверху легкоплавкой мастикой. Каждый реостат нагревается, и первая забота конструкторов подобных приборов заключается именно в том, чтобы создать в нем свободную циркуляцию воздуха.

— А вы попробуйте разогреть коробочку током,—сказал смеясь нашедший ее товарищ. Но сколько мы ни щупали металлический футляр, он оставался таким же холодным, каким был все время. Мы даже рискнули включить свою удивительную коробочку непосредственно в сеть электрического освещения без жидкого реостата, но и в этом случае ни малейшего нагревания обнаружить нам не удалось.

Это было первое совершенно необъяснимое явление, так как от тока температура любой цепи с большим сопротивлением должна была бы неизбежно увеличиться. Таким образом, наше исследование дало такие результаты:

1. Не гальванический элемент и не реостат.
2. Между двумя контактами существует цепь проводников довольно большого сопротивления.
3. Эти проводники совсем не нагреваются от действия проходящего тока.

Результаты странные, если не абсурдные.

Второе исследование.

Было решено тщательно заняться выяснением этого вопроса. Для того, чтобы не подвергнуть случайной порче коробочку, большинство предложило вести дальнейшее исследование, пользуясь током от двух „чугунных элементов“, а не от городской станции. Включили последовательно коробочку, звонок и элементы. К нашему величайшему удивлению, звонок оказался работать. Звонок заменили нашим чувствительным гальванометром—стрелка его не шелохнулась. Невольно подумалось: может быть, причина заключается в том, что в первом случае пользовались током с большой э.д. с. (110 V), а во втором — лишь 3 V. Тогда включили в городскую сеть выпрямитель и пропустили через коробочку постоянный ток в 110 V, но ни звонок, ни гальванометр не отметили ни малейшего присутствия тока.

— Погодите, товарищи, да, может быть, мы просто пережгли проводники в нашей заколдованной коробочке, когда включали ее в сеть электрического освещения?

Для того, чтобы убедиться в справедливости этого предположения, мы выключили выпрямитель, так что через коробочку проходил теперь опять переменный ток. В то же мгновение звонок начал звонить. Включили вновь выпрямитель—и звонок упрямо замолчал.

Хозяин коробочки принялся смеяться над нами и предложил включить вместо звонка лампочку накаливания на 110 V. Без выпрямителя она накалялась, с выпрямителем—нет.

Вывод напрашивался сам собой:

Или—1. Коробочка пропускала через себя только переменный ток и не пропускала постоянного.

Или—2. Коробочка представляла из себя различные сопротивления для переменного и постоянного тока. Ее сравнительно небольшое сопротивление при переменном токе превращалось в сопротивление колоссальной величины при постоянном.

Кто-то сказал:

— Товарищи, может быть, эта коробочка—катушка самоиндукции? Вспомните нашу задачу № 89.

— Это совершенно нелепое предположение,—возразил хозяин коробочки.— Не говоря о том, что коробочка своей формой меньше всего походит на какую бы то ни было катушку, но если бы она и оказалась таковой, то ее действие должно было быть как раз обратно наблюдаемому: для переменного тока она должна была бы представить большее сопротивление, чем для постоянного.

Мы поняли, что наш товарищ что-то знает о коробочке, но скрывает от нас.

Что же представляла из себя эта непонятная коробочка, по своим свойствам непохожая ни на один знакомый нам прибор?

Третье исследование.

Решено было коробочку принести в жертву нашей любознательности и вскрыть ее. Вы никогда не угадали бы, чем была наполнена коробочка. В ней лежала плотно сложенная

стопка каких-то листиков. Оказалось, что все нечетные листики (1, 3, 5, 7 и т. д.) были листиками слюды, а четные (2, 4, 6 и т. д.) оловянной фольгой. Они были чрезвычайно тонки и их было большое количество. Мы моментально сообразили, что слюда проложена между фольгой в качестве изолятора. Тогда мы принялись рассматривать, как отдельные листки фольги были соединены с двумя латунными пластинками („электродами“).



Рис. 53. В действительности как толщина металлических и слюдяных пластинок, так и расстояние между ними было в десятки раз меньше.

Оказалось, что все четные листки фольги соединены с одной пластинкой, а нечетные с другой (рис. 53). Каждый четный листик оловянной фольги был изолирован слюдой от нечетного. Таким образом в коробочке не было никакого соединения между одним и другим „электродом“. Следовательно, то, что постоянный ток не мог пройти через коробочку, было не только понятно, но и неизбежно. Однако, тем загадочнее становилось явление прохождения через нее переменного тока.

— Товарищи,—сказал нашедший коробочку,—я должен признаться, что я знал и как называется эта коробочка и кое-что об ее свойствах. Эта коробочка — конденсатор.

Значок: „MF—2“ определяет его емкость в микрофарадах.

Емкость нашего конденсатора равна 2 микрофарадам. Вы конечно вспомните, что такое микрофарад?

За единицу емкости проводника принимают такую емкость, при которой потенциал проводника становится равным 1 В, если ему сообщить 1 кулон электричества.

Эту единицу емкости называют *фарадом*.

Микрофарад в миллион раз меньше фарада.

1 фарад = 10^6 микрофарадов ($1 F = 10^6 MF$).

Однако, — продолжал товарищ, — прежде чем разобраться в свойствах конденсатора, я предлагаю поставить на обсуждение.

Задачу № 97.

Об одном замечательном исключении.

Когда мы включали нашу коробочку в цепь переменного тока, она тока не размыкала. Однако, в ней, как мы только что установили, цепь разомкнута. Следовательно, мы должны констатировать, что электрический ток (переменный, во всяком случае) может существовать и в разомкнутой цепи. Чего же стоит в таком случае наше категорическое заявление, наш основной закон: „В любой цепи ток может существовать только в том случае, если она представляет собой замкнутую цепь“?

Меньше, чем когда-либо, мы могли ответить на вопрос этой задачи, и попросили хозяина конденсатора рассказать все, что он знает о его свойствах.

— Вы, может быть, вспомните, товарищи, лейденскую банку?—сказал он.—Это и есть конденсатор. Если мы захотим дать очень широкое определение для конденсатора, то его можно определить, как систему двух проводников, заряженных разноименными электричествами и разделенными изолятором. Возьмите в руку стакан и, насыпав в него дробы, сообщите ей тот или иной заряд электричества. В вашей руке будет конденсатор. Если вы сообщили дробы положительное электричество, заряжая ее, например, наэлектризованным стеклом, то благодаря индукции в вашей руке появится на ладони отрицательный, а на тыловой части руки положительный заряд. Положительный заряд уйдет через ваше тело в землю, и тогда останется на вашей руке (один проводник) отрицательное, — а в дробы (второй проводник) положительное электричество. Они будут отделены друг от друга стеклом стакана (изолятор). Мы можем с вами построить и другой конденсатор. Я беру крышку от кастрюльки и прикрепляю ее к горлышку бутылки так, чтобы она находилась в вертикальной плоскости. Так же прикрепляю вторую крышку к другой бутылке. Затем ставлю эти бутылки так, чтобы между крышками было небольшое расстояние (рис. 54). Если мы сообщим этим крышкам противо-

положные заряды, то наша установка также будет конденсатором. Два заряженных проводника (крышки) будут отделены друг от друга изолятором (воздухом). Как видите, я хорошо знаю, что такое конденсатор, но понять, почему через него может проходить переменный ток, я отказываюсь.

— Тогда заговорил председатель:

— Товарищи, я включаю выпрямитель в сеть городского тока и присоединяю положительный полюс к правой

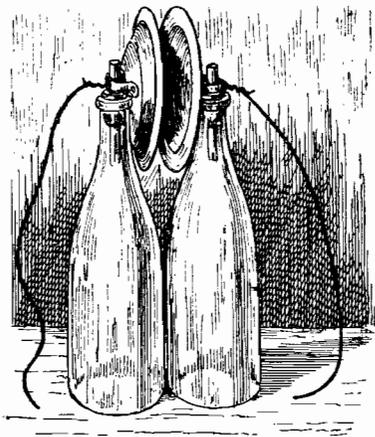


Рис. 54. Конденсатор нашей системы.

крышке нашего конденсатора, а отрицательный — к левой. Очевидно, правая крышка будет постепенно заряжаться положительным электричеством, пока ее потенциал не станет равным потенциалу положительного полюса сети. В левой крышке благодаря электростатической индукции возникнут заряды положительного и отрицательного электричества, при чем положительное будет выталкиваться из крышки в проволоку, соединенную с отрицательным полюсом. Таким образом получается

довольно любопытная картина: кажется, как-будто электрический ток проходит через воздушный промежуток между крышками. Положительное электричество вошло в правую крышку и вышло из левой. Это, очевидно, не то же самое электричество, но результат подобного явления ничем не отличается от того, какой был бы, если бы крышки были сдвинуты вплотную. Однако, этот кажущийся переход электричества через изолятор длится чрезвычайно короткое время. Как уже говорилось, когда потенциал правой крышки сравняется с потенциалом полюса сети, приток в нее положительного электричества прекратится, а следовательно в левой крышке не будут уже разлагаться новые количества электричества, и всякое движение электричества, как в правую крышку, так и из левой, прекратится. Те же соображения применимы и к (—) электричеству.

Но если мы соединим, обе наши крышки с сетью переменного тока, то движение электричества будет совершаться до тех пор, пока мы не разобьем крышек с сетью. Мы уже знаем, что переменный ток мы можем рассматривать, как ряд кратковременных постоянных токов, все время меняющих свое направление. Допустим, что в момент присоединения крышек к сети правая крышка оказалась заряженной положительно, тогда левая будет заряжена отрицательно. Следовательно, мы имеем ту самую картину, которая была при постоянном токе, а отсюда мы должны сделать вывод, что выталкивание электричества из левой крышки будет очень кратковременным. Но ведь и начальный ток весьма кратковременен. Через сотую долю секунды он меняет свое направление на обратное, и следовательно тогда уже проволока, соединенная с левой крышкой, а не с правой, будет заряжаться (+). Это положительное электричество потечет на левую крышку, так как она имеет (—) заряд, а из правой крышки выйдет (+) электричество и потечет в сеть, так как проволока, соединенная с ней, зарядилась теперь уже (—). Таким образом наш конденсатор будет все время перезаряжаться и, благодаря этому, не будет прерывать переменного тока. Ток, который сможет „пройти“ через такой конденсатор, как наш, будет настолько слабый, что ни одним из наших приборов мы не сумеем его обнаружить. Ведь сила тока определяется количеством протекающего электричества, а количество электричества, которое необходимо для того, чтобы довести потенциал крышки даже до 110 V, весьма ничтожно. Если мы возьмем крышки огромного диаметра и сблизим их до минимума — возрастет количество электричества, необходимое для их зарядки, а значит, и сила тока. Однако, пользоваться конденсатором с такими большими пластинами (их называют *обкладками*) очень неудобно, и поэтому им придают ту форму, с которой мы ознакомились в нашей коробочке. Вместо одной большой пластинки — ряд маленьких.

— Все это прекрасно, — сказал случайный хозяин коробочки, — но вы так и не дали мне ответа, как же возможно существование тока не в замкнутой цепи, если имеется определенное представление о токе, как о круговороте электричества.

— Скажи: „о круговороте электрических сил“ и тогда мы сможем дать тебе немедленно ответ, — возразили мы. — Разве между пластинками конденсатора не действуют электрические силы? Разве изолятор, находящийся между ними, не пронизывается силовыми линиями электрического поля? Разве же не благодаря этим силовым линиям и появляется индуцированный заряд на второй обкладке конденсатора? Через изолятор не проходит ток, не проходит электричество, но через него проходят силовые линии электрического поля.

— Товарищи, — прервал нас один из присутствующих, — я уже два дня жду разбора моей задачи № 95 о беспроводной передаче электрической энергии. Думаю, что пора было бы приступить к этому вопросу. Сейчас, товарищи, я могу даже предложить вам на эту тему чисто практическую

Задачу № 98.

О беспроводной передаче энергии.

— Я кладу перед вами два подковообразных электромагнита и лампочку от карманного фонаря. Как с помощью выставленных предметов можно показать на опыте передачу электрической энергии с одного места в другое без проводов?

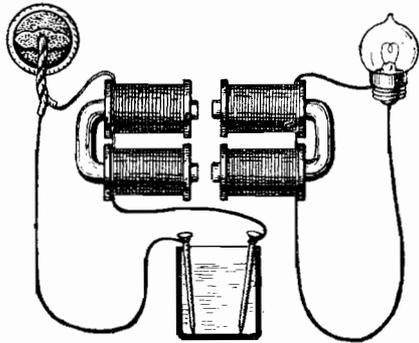


Рис. 55. Переменный ток, проходящий через левый электромагнит, возбуждает в правом индукционные токи, которые накаливают маленькую лампочку.

стол на расстоянии приблизительно 5 см один от другого, направив полюсы первого на полюсы второго (рис. 55). Лам-

почка, конечно, не сразу, но все же довольно быстро мы пришли к решению этой задачи. Один из электромагнитов мы включили через реостат в городскую сеть, другой соединили с лампочкой. Оба электромагнита мы положили на

почка накалилась. Когда мы сближали полюсы электромагнитов, то лампочка светила сильнее, когда раздвигали их — свет ее ослабевал, и на расстоянии около 8 см уже невозможно было обнаружить ни малейшего свечения нити.

Беспроволочная передача энергии была осуществлена. Однако, и не делая измерений, мы поняли, что даже на такое ничтожное расстояние, как 5 — 10 см, передается лишь незначительная доля количества электрической энергии. Тот ток, который проходил через первый электромагнит, был достаточен по меньшей мере для того, чтобы дать свет в количестве 200 свечей, а от второго электромагнита мы получили только силу света в 2 свечи. Мы хотели было произвести более точные вычисления, хотели вообще разобрать этот вопрос более серьезно, но неожиданно были остановлены одним нашим товарищем, который сказал:

— Мне кажется, что мы сейчас имеем в руках материал, который должен дать нам возможность построить передачу энергии на новом принципе.

Задача № 99.

Новый проект „радио“.

— Не сообразите ли вы, товарищи, как на основании свойств конденсатора и переменного тока можно осуществить передачу электрической энергии без проводов?

Хотя мы и попросили сутки на размышление, но и по истечении их мы ни на шаг не приблизились к решению этого вопроса. Пришлось попросить автора рассказать подробнее о своем проекте.

— Товарищи, — начал он, — мне странно, что вы не догадались. Да ведь все опыты с нашими крышками от кастрюль — это же и были опыты беспроводной передачи энергии. Представьте себе, что я поставил бы одну бутылку с крышкой у одного края стола, а другую — у другого. Силовые линии по-прежнему связывали бы крышки и по-прежнему одна крышка вызывала бы заряд в другой.

— Какая же это была бы беспроводная передача, если и та и другая крышки должны были быть соединены проводами с одним и тем же генератором переменного тока? Скажем, что ты хотел бы передать энергию с правой стороны стола на левую. Тогда генератор стоял бы с правой стороны, и один его полюс соединялся бы с правой крышкой. От него, действительно, не нужно было бы вести провод на левый конец стола. Но ведь второй полюс генератора необходимо было бы

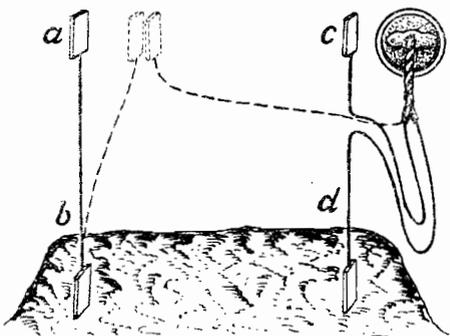


Рис. 56. Между *a* и *c* возникало переменное электромагнитное поле, между *b* и *d* — переменный ток. Пунктиром показаны сближенные пластинки *a* и *c*, которые дают привычную картину конденсатора.

соединить с левой крышкой, а для этого пришлось бы неизбежно протянуть проволоку через стол от правого его конца к левому. Следовательно, „станция отправления“ должна быть соединена проволокой с „приемной станцией“. Конечно, и это уже выгода: вместо двух проводов — один, и если бы мы могли рассчитывать таким путем передавать большие количества энергии, то эта выгода оказалась бы и весьма существенной. Однако, совершенно ясно, что мы можем надеяться в лучшем случае передавать те или иные сигналы — и только. А передача сигналов, передача слабых токов давно уже совершается по одному проводу, так как в качестве второго употребляется земля.

— Напрасно вы не дали мне досказать, — обратился к нам автор проекта, — я сам понимаю, что в том виде, в каком я успел изложить вам свой проект, он не разрешает вопроса. Но вы же сами указали, товарищи, что один провод можно всегда заменить землей. Кто же мешает вам проделать эту замену и в отношении того провода, который соединяет наши станции: отправительную и приемную? Взгляните на этот рисунок, который я набросал для вас на бумаге (рис. 56). Он кажется так непохожим на ту установку, кото-

рая была у нас. Первое впечатление упорно складывается не в пользу этого проекта. Я сам не могу отделаться от мысли: каким же образом в этом вертикальном проводе (*ab*) — не сообщаемом с генератором, могут возникнуть электрические токи? Однако, приблизьте мысленно *a* к *c* — и вы увидите знакомую нам картину передачи энергии через конденсатор.

— Товарищи, — сказал председатель, — я действительно не вижу ни одной ошибки в этих рассуждениях. Мне хотелось бы только напомнить вам подробности тех явлений, которые происходят в воздухе (изоляторе) между пластинками *a* и *c*. Электрические силовые линии, пронизывающие воздух при переменном токе, — а только о таком у нас и идет речь, — все время меняются как по своей силе, так и по направлению. На этом мы останавливались не раз в последних задачах. Естественно было бы предположить, что эти колебания электрических сил вызывают вокруг себя магнитное поле и при том не постоянное, а переменное. Таким образом в пространстве между *a* и *c* возникают колебания силовых линий электрического и магнитного поля. Эти-то колебания и получили название *электромагнитных волн*.

— Но хотя я и не могу сделать автору разбираемого нами чертежа никаких возражений, я все же должен заметить, что его проект страдает очень большими недостатками. Его передатчик очень несовершенен, а приемника, собственно говоря, у него и вообще нет. Было бы обидно, товарищи, если бы мы не смогли построить такую модель, которая дала бы возможность передать на опыте сигнал хотя бы на расстояние нескольких метров. Поэтому я предлагаю вам практическую

Задачу № 100.

О постройке вибратора.

Мы уже говорили, что индукционные токи становятся тем более мощными, чем больше перемен в секунду совершает основной ток. Это значит, что мощность электромагнитного поля — электромагнитных волн — зависит от частоты перемен основного тока.

Это соображение огромной важности. Легко послать в пространство более мощные электромагнитные волны за счет увеличения мощности генератора. Этим мы не повысили бы нисколько полезную отдачу нашей установки. Наши стремления должны быть направлены к тому, чтобы, не повышая энергии источника электромагнитных волн, добиться их большей мощности. Мы уже знаем, как это сделать,—остается выполнить это на практике и построить генератор электромагнитных волн, или, как его называют, *вибратор*.

Мы решили использовать для этого электрическую искру. Однако для ее получения необходима была довольно большая разность потенциалов в несколько тысяч вольт. Проще всего подобный потенциал можно было получить от какого-нибудь тела, наэлектризованного трением. После длительных обсуждений было, наконец, решено построить для этой цели *электрофор*.

Мы вырезали круг из картона приблизительно 30 см диаметром и затем налили на его поверхность тонкий ровный слой сплавленной канифоли с парафином*. Это была „нижняя“ пластина электрофора. „Верхнюю“ мы также вырезали из картона и обклеили ее оловянной фольгой (можно свинцовой). Диаметр ее был немного, сантиметра на 3, меньше, чем у нижней. Ручку для „верхней“ пластины мы приготовили из того же сплава канифоли с парафином, налив жидкую массу в бумажную форму (полый цилиндр). Наконец, эту ручку мы приклеили при помощи той же массы к середине „верхней“ пластины электрофора. Натерев „нижнюю“ пластину мехом (можно сукном), мы наложили на нее „верхнюю“. Так как „верхняя“ пластина лишь очень небольшим числом точек своей поверхности касается „нижней“, то в ней, благодаря индукции, возбуждаются (+) и (—) электричества. „Нижняя“ пластина от трения наэлектризовывается отрицательно, следовательно, из „верхней“ пластины мы могли бы легко удалить отрицатель-

* Две части канифоли расплавляются на умеренном огне и после расплавления нагреваются еще около часу для удаления воды. Затем в канифоль прибавляется одна часть парафина, и масса хорошо перемешивается.

ное электричество, коснувшись, например, ее пальцем и отведя таким образом (—) заряд в землю. Тогда на ней остался бы только (+) заряд. Сняв „верхнюю“ пластину с „нижней“, мы имели бы в своем распоряжении достаточный заряд электричества для того, чтобы, подведя к ней хотя бы палец, получить искру. Эта-то искра и должна была дать нам быстропеременные токи. Теперь нам надо было окончательно построить „станцию отправления“ согласно схеме нашего товарища. К потолочному крюку мы привязали кусок резины, а к ней прикрепили конец медной проволоки. Ее второй конец мы присоединили к „верхней“ пластине электрофора. Мы решили (и оказались правы) на верхнем конце проволоки совсем не делать пластинки, соответствующей пластинке с на рис. 56. Для нас было ясно, что действие нашей вертикальной проволоки аналогично действию пластинки. Заземления мы не делали вовсе. Колебательные движения электричества между пластиной электрофора и пальцем, по нашему мнению, и так должны были достигнуть земли через тело человека (рис. 57).



Рис. 57. Вибратор из электрофора, и прикрепленная к нему проволока—антенна.

Так мы разрешили вопрос о вибраторе, но вопрос о приемнике электромагнитных волн мы не смогли разрешить самостоятельно и главным образом, вероятно, потому, что все без исключения слишком хорошо знали устройство *когерера*. Однако, нашими скромными средствами мы не могли сделать этот замечательный приборчик, этот глаз для электрических лучей, впервые уловивший электромагнитные волны на многокилометровом расстоянии от их источника. Мы знали, в чем заключается принцип устройства когерера. Если замкнуть цепь постоянного тока тонким слоем порошка какого-нибудь металла, например, железными опилками, то в такой цепи

ток будет весьма слабый, так как даже сравнительно тонкий слой опилок представляет большое сопротивление. Но если через железные опилки пройдет самый кратковременный ток высокого потенциала, то сопротивление опилок сильно и резко уменьшается, и, следовательно, основной ток быстро возрастает в своей величине. Указанное явление происходит вследствие того, что между отдельными частицами опилок проскакивают маленькие искорки, однако, достаточные для того, чтобы произвести легкое „спекание“ (спаивание) этих частиц. Понятно, что сотрясение опилок вновь приведет их в первоначальное состояние, отделяя их друг от друга.

Наша задача заключалась в том, чтобы построить когерер возможно более простыми средствами. Один из присутствующих сказал, что он предлагает нам решить

Задачу № 101.

О когерере из стакана и двух гвоздей.

— Постройте „когерер“, — сказал он, — из стакана, двух гвоздей и железных опилок.

Наших знаний было вполне достаточно для того, чтобы моментально соорудить этот своеобразный когерер. Мы насыпали в стакан немного опилок и опустили в них два гвоздя. К каждому гвоздю мы прикрепили по проволочке и включили весь наш прибор последовательно с гальванометром, сделанным из компаса (см. зад. 90), в цепь из двух „чугунных“ элементов. Сдвигая и раздвигая кончики гвоздей в опилках, мы, наконец, добились такого сопротивления когерера, при котором стрелка гальванометра заметно не отклонялась. К обоим гвоздям мы привязали еще по одной проволочке. Одну из них мы просто спустили вниз так, чтобы она своим концом касалась пола, а другую протянули вертикально к потолку, прикрепив ее к нему, так же как и проволочку „передаточной станции“. Все это было установлено на противоположном от электрофора конце стола (рис. 58). Оставалось послать первый сигнал через стол. Мы натерли нижнюю электрофорную пластинку

мехом, затем положили на нее вторую пластинку, обклеенную фольгой, коснулись ее пальцем и быстро подняли ее вверх за изолированную ручку. После этого, поднеся палец, мы получили искру. В тот же момент сопротивление нашего „когерера“ сильно упало, и стрелка гальванометра немедленно отклонилась. Так мы послали первую электромагнитную волну. Ударив слегка карандашом по „когереру“ (по краю стакана, наполненного опилками), мы привели его в прежнее состояние. Послали новую волну, опять встряхнули стакан и т. д. Впоследствии мы включали вместо чугунных элементов карманную батарейку (рис. 59), но действие когерера от этого не улучшалось.

— А ну-ка, товарищи, — сказал кто-то из присутствующих, — расскажите, как же действует наш „радиотелеграф“.

— Мы же говорили о принципе его действия, — отвечали мы.

— А все-таки еще раз объясните, — приставал к нам товарищ.

— Когда искра проскакивает между пальцем и пластиной электрофора, быстро-переменные токи проходят через тело в землю. Из земли они входят в проволочку, спущенную на пол и соединенную с одним контактом когерера (гвоздя), проходят через опилки и входят в антенну (вертикальную проволочку, соединенную со вторым гвоздем). От антенны приемника идет электромагнитная волна к антенне отправительной станции, т. е. к вертикальной проволочке, соединенной с пластиной электрофора. Таким образом у нас осуществляется круговорот электрических сил, и наши аппараты будут работать.

— Из ваших слов вытекает, сказал товарищ, — что наш „радио“ будет работать только в том случае, если обе станции будут соединены с землей. Если я, например, приподниму

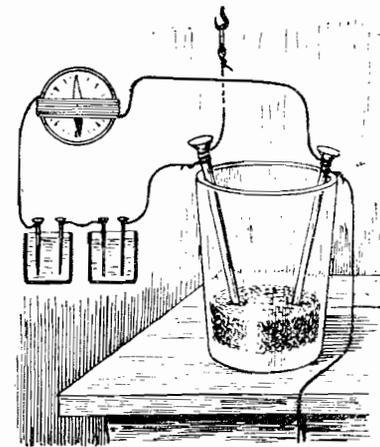


Рис. 58. Наш когерер. Чугунные элементы обозначены на рисунке схематически: гвозди изображают электроды.

конец проволоки, касающейся пола у приемной станции, то тогда будет работать ваша установка, или нет?

— Конечно нет, — отвечали мы.

— В таком случае я могу предложить вам

Задачу № 102.

О новом круговороте электрических сил.

— Я отгибаю нижний конец проволоки, идущей к полу от когерера, вверх так, что теперь она пола не касается. В том месте, где она касалась края стола, я подкладываю под нее стеариновую свечу. Таким образом, я совершенно отъединил эту проволоку от земли. Теперь пусть кто-нибудь пошлет электромагнитную волну. Вы видите, что когерер отзывается на нее ничуть не хуже, чем раньше. И однако, теперешнюю цепь мы уже никак не можем назвать замкнутой.

И однако, круговорот сил был и тут налицо. Мы очень удивились тому, что эта мысль не пришла нам в голову раньше. Если мы говорим, что между нашими антеннами возникает электромагнитное поле, то спрашивается, как же оно может не возникнуть и между проводниками, идущими не вверх, а вниз? Действительно, чем отличается проволока, идущая от когерера вверх, от проволоки, идущей вниз? Разве не той же антенной будет тело экспериментатора, извлекающего искру? И разве между ним и нижний проволокой когерера не пробежит электромагнитная волна в момент появления искры? Приблизьте нижнюю проволоку, идущую от гвоздя стакана к экспериментатору, и вы получите привычную картину конденсатора. Заключите цепь нашей схемы (рис. 59) вместо земли конденсатором, и тогда вы получите новую картину беспроволочной передачи энергии, в которой будет вместо одного конденсатора два.

— Мне было с самого начала непонятно, — сказал нам товарищ, — как вы могли подумать, что кончик проволоки, едва касающейся сухого крашеного пола может создать более или менее надежный контакт с землей.

Книжки разъяснили нам, что если соединить обе станции с землей, например, через водопровод, то мощность передачи усилится. Мы поняли также, что передача будет существовать и в том случае, если мы выполним установку без антенн. Ведь сам по себе каждый гвоздь нашего когерера или пластина электрофора уже будет выполнять роль антенны. Эти антенны

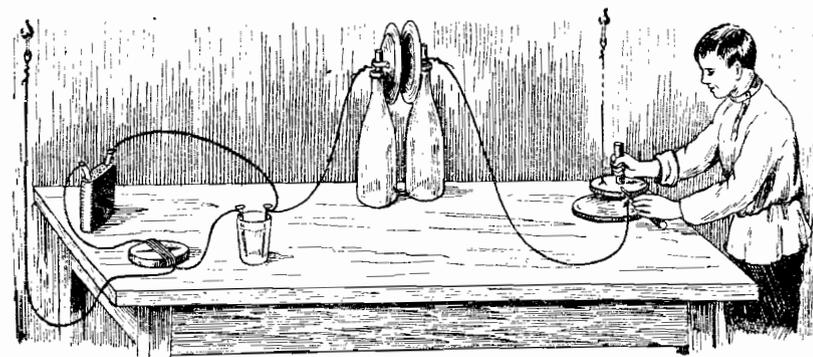


Рис. 59. Мы посылаем электромагнитную волну между крышками от кастрюль. Если убрать крышки и проволоки, соединяющие одну из них с гвоздем когерера, а другую — с рукой экспериментатора, то и в этом случае можно осуществить радио-передачу.

будут очень короткие, и потому передача может быть осуществлена на очень небольших расстояниях, но все-таки она будет. В этом мы убедились на опыте.

— И все-таки, товарищи, в наших основных рассуждениях есть какая-то ошибка, — сказал я.

Задача № 103.

Об электрических лучах.

В книжке, которую мы с вами сейчас просматривали, да и в журналах, которые нам приходилось читать, указывается на то, что электромагнитные волны расходятся от антенны, как лучи света от ламп, во все стороны. Недаром же эти волны называют электрическими лучами. Говорят о том, что в каком бы месте вокруг станции отправления мы ни установили

приемник электромагнитных волн, нам везде удастся обнаружить их присутствие. Это не вяжется с нашими объяснениями. Мы все время говорили о том, что электромагнитные волны могут возникнуть лишь между двумя антеннами, что для их существования нужна не только антенна отправительной станции, но и антенна приемной. Как же примирить эти две точки зрения?

— Мы уже не раз говорили, — сказал на это председатель, — что в этом году мы ведем все наши работы, проводим все наши наблюдения, не углубляясь в их сущность. Нам предстоит еще много вопросов разрешить в связи с электромагнитной передачей энергии. Я надеюсь, что в будущем году мы с вами построим и радио-телефон, но сейчас я только обращаю ваше внимание на одно обстоятельство: где бы мы ни захотели обнаружить присутствие электромагнитных волн, нам неизбежно придется воспользоваться антенной, т.-е. проводником в той или иной форме. Представьте себе, что мы перенесем наш приемный аппарат со стола в другое место. Понятно, что он будет работать, как и раньше, так как вся обстановка, все условия остались прежние. Попрежнему будет круговорот электрических сил. Допустим, у нас возникла мысль о том, что электромагнитные волны идут сейчас не только к приемнику, но и в то место, где он раньше стоял. Как мы можем убедиться в этом? Мы построим новый приемник и поместим его в том месте стола, откуда мы убрали старый. Конечно, никто из нас ни минуты не сомневается, что этот новый приемник также работает одновременно со старым. Но разве это разбивает наши рассуждения? Разве и между этим новым приемником и отправителем не создаются явления замкнутой цепи? Мы получим пример ответвления электромагнитных волн, аналогичный ответвлению токов. Таким образом, формально мы во всяком случае правы. Обнаружить электромагнитные волны мы можем только между двумя антеннами, замкнуть переменный ток мы можем только двумя пластинами конденсатора.

— Ну что ж, товарищи, — сказал один из членов кружка, — удовлетворимся пока объяснением председателя, тем более,

что у нас есть другие причины быть недовольными вообще всей нашей работой. Мы проделали массу любопытнейших опытов, коснулись многих законов и явлений электричества, и, несмотря на это, я могу сейчас заявить от имени большинства членов нашего кружка, что они и я остались неудовлетворенными нашей работой. Вначале мы этого не замечали, потом почувствовали, но не могли понять причины. Сейчас же, мне кажется, я могу точно указать на нее. Возьмем для примера хотя бы устройство электромагнита. Мы с вами соорудили прекрасный электромагнит из деревянной катушки. Я у себя дома сделал такой же электромагнит, и он оказался никуда негодным, повидимому только потому, что я намотал на катушку проволоку иного диаметра, чем была у нас. Я могу привести много таких неудач, постигших того или иного нашего товарища. Два товарища строили катушку для отталкивания медного кольца, и у них ничего не вышло. Некоторые пытались повторить у себя дома опыт с трансформатором — и также неудачно: 110-вольтовая лампочка даже не накаливалась от двух карманных батарей. Сегодня мне жаловался один, что его когерер, сделанный из стакана с опилками, работал прекрасно два дня, а вчера перестал принимать сигналы, и он не мог отыскать причины этого, как ни старался. Все эти неудачи определенно говорят о том, что мы слишком поверхностно изучали электричество. Мы совершили с вами очень интересную прогулку в область электричества, но не серьезную экспедицию. Мне кажется, что сейчас настал момент исправить этот недостаток, уточнить наши знания, добиться более отчетливого и строгого понимания явлений интересующей нас области.

Мы были вполне согласны с нашим товарищем, но председатель дал неожиданно иное направление нашим мыслям.

— Товарищи, — сказал он, — я не собираюсь возражать, я хочу только высказать одно соображение: уверен, что то чувство, которое заставляет вас искать более серьезной работы, родилось только потому, что работа этого года не была засушена бесконечными деталями, формулами, измерениями и вычислениями. Уверен в том, что если бы наш кружок принял иное направление в своей работе, нам не пришлось бы сегодня праздновать рождение 103-ей задачи. Наша работа преврати-

лась бы в ту самую „учебу“, от которой мы старались убежать. Товарищ прав, говоря, что мы не совершали „научной экспедиции“, но не забывайте, что не было бы вообще ни одного интересного научного путешествия, если бы у человека не существовало любви просто к путешествиям. Разве могли бы заинтересовать нас исследованные и неисследованные области электричества, если бы мы предварительно не совершили прогулку по его окрестностям? Нет, товарищи, я очень доволен нашей кружковой работой, и больше всего радует меня та жажда дальнейшего исследования, о которой сейчас говорил наш товарищ. Но выполнить это желание в этом году мы не сможем. Через недели две мы разъедемся с вами в разные стороны на лето, и наша дальнейшая работа все равно сама собой должна будет прекратиться. Однако, разве вы не собираетесь возобновить наши работы в будущем году? Разве члены нашего кружка „любителей физики“ разлюбили ее? Товарищи, мы успеем еще коснуться всех интересующих нас вопросов, а сейчас я предлагаю иную работу, которая достойно завершила бы все сделанное нами. У нас и сейчас имеется большой материал, однако, мы везде исходили из опыта: наблюдение отодвинуло на второй план теорию.

Товарищи, я предлагаю вам и самому себе выполнить последний долг исследователя — решить

Задачу № 104,

В которой мы попытаемся обнять необъятное.

Пусть каждый из нас прочтет какую-нибудь книгу, статью, заметку о современном взгляде на электричество, и наше последнее заседание посвятим беседе на эту тему.

Мы с радостью приветствовали это предложение. Однако, мы не нашли одной какой-нибудь теории, могущей дать объяснение всем тем явлениям, с которыми нам пришлось встретиться. Тогда мы решили выбрать из своей среды двух товарищей, обязать их ознакомиться с существующими теориями

и сообщить нам свой взгляд — свою комбинированную теорию, которая дала бы объяснение знакомым нам явлениям. Председатель был выбран докладчиком, а один из наших товарищей — содокладчиком.

Наступил, наконец, день последнего нашего собрания. Председатель начал:

— Товарищи, все, что я буду говорить, — лишь приблизительно соответствует принятым в науке теориям, которые требуют математических вычислений для своего развития. Я не хотел бы заканчивать нашу работу в ином плане, чем она шла до сегодняшнего дня. Поэтому я дам лишь схематическую картину, лишь набросок современного взгляда на сущность электрических явлений.

Речь докладчика.

Мельчайшая частичка материи — атом — содержит в себе положительное и отрицательное электричество. Ядро атома, в котором и заключена вся его масса, оказывается всегда заряженным положительно. Электроны окружают ядро и двигаются вокруг него так же, как земля и планеты двигаются вокруг солнца. Масса электрона почти в 2000 раз меньше массы ядра атома водорода, который имеет наименьшую из всех известных нам масс. Для того, чтобы получить отрицательный заряд в одну электростатическую единицу, необходимо сообщить проводнику около 2 миллиардов электронов. В нейтральном атоме положительный заряд всегда равен отрицательному. Отрицательное электричество (электроны) мы можем в настоящее время отделять от материи (опыты с электрической лампочкой, зад. № 31), положительное — не отделимо от нее.

В каждом атоме электроны двигаются с огромными скоростями. Сами атомы принимают участие в беспорядочном тепловом движении. Естественно допустить, что частые столкновения между ними легко могут выбивать электрон из одного атома, вбивать его в другой и, наконец, выбрасывать электрон с поверхности тела в пространство. Ядра также не неподвижны, но, благодаря их большей массе, а также благодаря тому, что

они расположены внутри электронов, они в значительно меньшем количестве могут выбиваться из тела.

Какой же можно сделать из этого вывод? Каждое тело постепенно теряет электроны, следовательно, в конце концов, положительного электричества в нем будет больше, чем отрицательного. Тело самопроизвольно будет заряжаться положительным электричеством. Не нужно ни трения, ни какой бы то ни было химической реакции для того, чтобы тело получило заряд, и притом заряд положительный. Будет ли так на самом деле?

Первый же электрон, отделившийся от тела, вызовет его положительную электризацию. Уже второму электрону придется при отделении от тела преодолевать силу электрического притяжения, которая образуется между телом (+) и электроном (—). Очевидно, что очень быстро должно наступить такое положение, при котором, взамен вылетевшего электрона, тело притянет один из ранее удалившихся из него. Таким образом, если подобная электризация и будет существовать, то неизмеримо слабая. Однако, если мы каким-нибудь способом участвуем столкновения атомов, повысим скорость их движения, то очевидно, мы вправе ожидать усиления процесса выбрасывания телом электронов. Проще всего это выполнить повышением температуры тела. Опыт подтверждает это соображение. Мы уже говорили о том, что из раскаленного тела электроны вылетают в окружающее пространство.

Так будет обстоять дело в том случае, если тело помещено в пустоту, т.-е. его поверхности не касается никакое другое тело; в противном случае явление изменится. Представьте себе, товарищи, что мы взяли медную пластинку и приложили вплотную к ее поверхности вторую медную пластинку. Очевидно, что электроны [будут выбрасываться с поверхности первой пластинки, но они встретят на своем пути вторую пластинку, а не пустоту. Наэлектризуются ли такие две пластинки? Опыт убеждает нас, что нет. Они сделаны из одного и того же вещества. Масса атома, его скорость и прочие свойства у них одинаковые. Сколько бы электронов из одной пластинки ни вылетало и ни сообщалось другой, равное им количество будет вылетать из второй пластинки и сообщаться первой. В ре-

зультате в обеих пластинках будет прежнее количество электронов, т.-е. то, при котором пластинки были нейтральными. Приложим, теперь, товарищи, к медной пластинке пластинку иного металла, например, цинковую. Произойдет ли теперь электризация? Несомненно. И опыт подтверждает это. Теперь у этих двух пластинок будет все разное: масса атомов, количество электронов, входящих в нейтральный атом, скорость их движения. Можно ли при этих условиях допустить, что один квадратный сантиметр поверхности медной и цинковой пластинки выделяет одинаковое количество электронов? Опыт показывает, что нет. Мало того: количество отделяющихся электронов при соприкосновении двух разнородных пластинок будет большее, нежели в пустоте. Движение электронов одной пластинки, не совпадающее с движением другой, столкновение атомов, разных масс и проч. должны способствовать усиленному отделению электронов с той пластинки, в которой они менее прочно связаны с ядром.

Мы взяли для примера два металла, но ведь, очевидно, те же рассуждения, если только они правильны, будут относиться к любым двум телам. Если я кусок кожи плотно прижму к поверхности стекла, то и кожа и стекло должны наэлектризоваться, и наэлектризоваться разноименными электричествами. Опыт говорит, что это справедливо, что для электризации стекла совершенно не нужно *натирать* его, что трение в данном случае является просто *длительным прикосновением* и только. Конечно, поскольку трение вызывает нагревание, это последнее может по разным причинам усилить электризацию. Сейчас должно стать понятным, почему электризация тел происходит не только тогда, когда они из разного вещества, но и тогда, когда у них разнородные поверхности. Матовое стекло электризуется при трении о полированное стекло, несмотря на то, что и массы атомов, и число и скорость электронов у них одинаковые, только потому, что их поверхности разные. На один квадратный сантиметр поверхности того и другого стекла придется неодинаковое количество атомов. Нам должны быть теперь понятны все случаи электризации двух *однородных* тел (зад. № 10), из которых одно сжато или нагрето сильнее другого.

Как легко, например, понять, почему электрический заряд распространяется только по поверхности проводника! Представьте себе, что мы каким-либо образом сообщили середине медного шара некоторое количество электронов. Они будут отталкиваться друг от друга, и, следовательно, разойдутся на возможно большее расстояние, т.е. отойдут на поверхность шара. Дальше электроны двигаться не смогут, так как воздух не проводник. Кстати, проводимость тела зависит от большей или меньшей свободы движений электронов, а эта последняя зависит от плотности тела, массы атомов, числа электронов вокруг ядра, и главное—от степени легкости их отделения от атома. У металлов свобода передвижения электронов огромная, у изоляторов—весьма слабая. Когда электроны двигаются—текут по проволоке, они сталкиваются с частицами металла, в результате чего появляется теплота. Так проводники нагреваются током.

Очевидно, что при нагревании проводника, его сопротивление должно возрасти, так как от этого увеличивается скорость беспорядочных движений частиц металла, препятствующая движению электронов. Наоборот, понижение температуры должно уменьшать сопротивление. При абсолютном нуле (-273° Ц.), когда частицы тела перестают двигаться, любой металл должен стать идеальным проводником. Так, например, если катушку из свинцовой проволоки замкнуть самое на себя, и поместив в сосуд, охладить жидким гелием до $1,8^{\circ}$ абсолютной температуры ($-271,2^{\circ}$ Ц.), то при действии переменного магнитного поля на эту катушку в ней появляется ток. Подобное поле может существовать одно мгновение, а индуцированный ток в катушке *продолжается*, несмотря на то, что магнитного поля уже нет. Подобный опыт имел действительно место: наблюдение показало, что ток в катушке не изменялся в течение двух с половиной часов; этот срок обуславливался единственно необходимостью возобновить порцию охлаждающего гелия.

Если мы опустим металлическую пластинку в раствор поваренной соли, то, очевидно, соприкосновение этих двух разнородных тел вызовет их электризацию. Чем большее количество электронов будет входить в металлическую пластинку, тем

больше будет повышаться ее потенциал. Однако, это будет продолжаться лишь до определенного момента. Чем больший заряд получит пластинка, тем с большей силой электроны будут стремиться вновь соединиться с положительным электричеством раствора и, наконец, наступит момент равновесия, при котором заряд пластинки, а следовательно, и ее потенциал не будет увеличиваться. Этим и объясняется постоянство разности потенциалов на электродах гальванического элемента. На самом деле теория усматривает значительно более сложные процессы при работе гальванического элемента. Выделение электронов происходит уже в самом растворе без какого бы то ни было погружения в него металла. Ведь каждый раствор это уже есть соприкосновение двух разнородных тел. В нашем случае этими телами будут соль и вода. Частицы хлористого натрия сами расщепляются на хлор и натрий, при чем оказывается, что разделившиеся атомы хлора и натрия наэлектризованы—первые отрицательно, а вторые—положительно. Эти-то заряженные атомы, или как их называют—ионы, играют главную роль во всех электрохимических процессах.

Каждый движущийся электрон создает вокруг себя магнитное поле. Для создания его совершенно не нужно *электрического тока*. Искра машины с трением, искра электрофора также вызывает магнитное поле. В этом можно убедиться, поднеся к сильной искре очень чувствительную магнитную стрелку. Наконец, если просто привести в быстрое движение заряженный проводник, то и он явится источником магнитного поля. Например, если круглую медную пластинку зарядить положительным или отрицательным электричеством и привести в быстрое вращение, то установленная над ней магнитная стрелка будет отклоняться, согласно правилу Ампера, так, как-будто бы под ней был не движущийся электрический заряд, а соответствующего направления круговой ток (рис. 60).

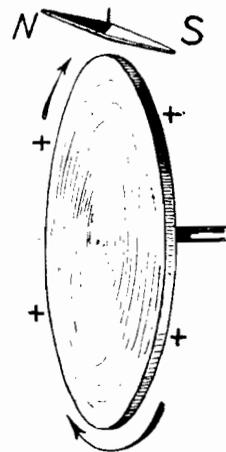


Рис. 60. Заряженный медный круг, вращающийся под магнитной стрелочкой, оказывает на нее то же действие, как и соответствующего направления ток.

Однако, если мы говорим, что движущийся электрон создает вокруг себя магнитное поле, то мы вынуждены сделать отсюда заключение, что атом каждого тела представляет из себя элементарный магнетик, так как и в нем существует движение электронов. Отсюда напрашивается вывод, что и каждое тело должно проявлять магнитные свойства. Это так и есть, на все тела *сильный* магнит оказывает влияние. Намагниченная сталь от ненамагниченной стали отличается только тем, что в первой электроны вращаются в атомах приблизительно все в параллельных друг другу плоскостях и почти все в одном направлении, а во второй — в самых разнообразных направлениях, вследствие чего их действия взаимно уничтожаются. Двигающийся равномерно электрон создает вокруг себя постоянное магнитное поле, двигающийся неравномерно — переменное магнитное поле. Это переменное магнитное поле вызывает, в свою очередь, движение электронов в любом проводнике, помещенном в этом поле. Это и есть индукционный ток.

Наконец, товарищи, мы сейчас можем ответить на тот вопрос, которого мы с вами не раз касались в частной беседе. Этот вопрос я хочу предложить вам, как

Задачу № 105,

Последнюю и прощальную.

Почему происходит такая странная вещь, что электрический заряд распространяется только на поверхности проводника, а ток идет через все сечение, через всю его массу? Почему два неподвижных электрона отталкивают друг друга и из середины проводника расходятся к его поверхности, а два движущихся — не отталкиваются и остаются вблизи друг друга?

Вместо перерыва между докладами председателя и его содокладчика, нам пришлось решать эту новую задачу. Однако, она так остро и так давно интересовала нас, что более приятного отдыха, чем ее решение, мы и не желали.

Движущийся электрон создает вокруг себя такое же магнитное поле, как и ток соответствующего направления. Иначе и быть не может: ведь с точки зрения теории, развиваемой докладчиком, электрический ток есть ничто иное, как поток электронов, двигающихся с огромной скоростью по проводнику. В задаче № 88 мы уже выяснили вопрос о том, что токи одного направления притягиваются друг к другу, а противоположных направлений отталкиваются. Очевидно, что то же самое мы должны будем сказать и о двух движущихся параллельно друг другу электронах: два электрона, движущиеся в одном направлении, притягиваются друг к другу. Следовательно, электроны, несущиеся в проволоке при электрическом токе, будут взаимно притягиваться друг к другу, в результате чего они должны были бы собраться в узкий пучок, который не охватывал бы всего сечения проволоки, а проходил лишь по ее средней части.

Для нас стали очевидными два положения:

1. Если бы между движущимися электронами существовало только *электрическое поле*, — они двигались бы по поверхности проволоки.

2. Если бы между ними существовало только *магнитное поле*, — они двигались бы по оси проволоки.

Эти два положения и ответили, наконец, на наш вопрос: так как между движущимися в одном направлении электронами возникают одновременно и электрическое и магнитное поле, то сила их электрического отталкивания может оказаться равной силе магнитного притяжения, и тогда они будут двигаться по всей массе проводника, не отталкиваясь и не притягиваясь между собой.

Вычисления показывают, что при скорости электрического тока сила взаимодействия магнитных полей равна силе отталкивания электронов.

На этом закончился наш перерыв.

Речь содокладчика.

— Товарищи, многое в докладе нашего председателя осталось для меня малопонятным, а иное и совсем неясным. Думаю, это произошло потому, что весь материал невозможно было уложить в такое коротенькое сообщение.

Но одно я понял совершенно твердо и определенно: электричество всюду, электричество вездесуще. Каждый атом солнца, так же, как и мельчайшая частица земли, содержит электроны. Они двигаются в моей руке и проходят свои орбиты в невидимой пылинке. В этих маленьких электронных мирах происходят свои катастрофы, как происходят они и в нашей вселенной. Электроны переходят с одной орбиты на другую, покидают навсегда свою систему, вступают в члены соседней системы, а человек даже не подозревает об этой сложной жизни атомов.

Но разве в нашей природе не получают такие количества электричества, которые человек должен был бы заметить? Не будем говорить о том, что дождь, снег, град всегда наэлектризованы, что наэлектризована пена водопада, волны морского прибоя, что, наконец, ветер всегда несет воздух, заряженный электричеством. Скажем, что эти заряды и их потенциалы не воспринимаются человеком. Но ведь сама атмосфера наэлектризована. В самых неблагоприятных условиях при подъеме вверх всего на один метр потенциал увеличивается приблизительно на 150 вольт, а при сухом воздухе разность потенциалов в среднем составляет 1300 вольт на каждый метр поднятия над поверхностью земли. И что же? Разве мы чувствуем, разве замечаем это?

За сотни тысяч лет своего бытия человечество даже не подозревало о существовании электричества. Свет, теплота, звук и тяготение замыкали горизонт старого мира.

Это вполне понятно: у человека нет „электрического глаза“, нет специального органа, который бы давал нам возможность ощущать электрические силы, чувствовать электрическое поле. Человек слеп. Для него так же недоступны пейзажи электрического мира, как недоступен слепому или глухому от рождения мир красок и мир звуков. Таким создала его природа, но человек создал себе искусственные „органы“ — свои аппараты, — и с каждым годом он все глубже и глубже проникает в толщу неведомого. И сейчас жизнь любой культурной страны немыслима без завоеваний, сделанных наукой об электричестве. Всего 125 лет прошло с момента изобретения первого элемента — открытия электрического тока, а человек успел весь земной шар окутать сетью проводов и послать

по ним послушные электрические токи. Круглые сутки по поверхности нашей планеты разносятся радио-волны. То в одном, то в другом конце земного шара гудят мощные радио-станции, и в отдаленнейших уголках поют громкоговорители. А ведь не прошло и сорока лет с того дня, когда из рук Герца вырвалась первая электромагнитная волна. Ничто так резко не изменило жизнь человечества, как электрическая энергия, внедрившаяся в его обиход. Пусть бы по моей прихоти с этой минуты на всей земле прекратился электрический ток. Культурные центры погрузились бы во мрак: остановился бы ряд заводов, упали бы на землю аэропланы, застыли бы мотоциклы и автомобили, так как их магнето перестали бы давать вспышки в моторе. Страны, города, отдельные лица потеряли бы связь друг с другом: телеграф и телефон замолчали бы. Замер бы трамвай, погас бы кинематограф. Медицина лишилась бы лучей Рентгена; металлургия потеряла бы возможность производить добычу многих металлов: алюминий, „электро-сталь“ и многое другое исчезло бы с лица земли.

Заколебались бы устои экономической жизни, и человечество отступило бы на сотни лет назад.

Вся эта катастрофа приняла бы такие размеры главным образом потому, что применение электрического тока бесконечно. От него работает пылесос и лифт, он же покрывает никелем самовар или гравировает стереотипы для газет и журналов. Он нагревает электрические кастрюли и плиты, от него двигаются электрические часы, и взрываются мины.

Мы сейчас живем в искусственном мире. Этот мир мало похож на тот, из которого вышел первобытный человек. Первое место в этом новом мире принадлежит электричеству.

И наша с вами работа в этой области не прошла бесследно: пусть она не удовлетворила нас, но одно несомненно — сейчас мы еще сильнее хотим знать, сейчас запросов у нас еще больше, чем было раньше, а это — залог успешной работы в дальнейшем.

До будущего года, товарищи!

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	Стр. 3
От автора	7

ПЕРВЫЕ ШАГИ

Задача № 1. О свечке и кусочках газеты	11
„ № 2. Все о той же свечке	12
„ № 3. Загадка старика	13
„ № 4. О двух деревьях	14
„ № 5. О неэлектризуемом суше	16
„ № 6. Электрическая мухоловка	17
„ № 7. О кусочках бумаги, подрывающих законы электричества	18
„ № 8. Опять о свечке	19
„ № 9. О ламповом стекле	—
„ № 10. Как французский ученый сошел с ума	21
„ № 11. О задаче десятой	23
„ № 12. О непонятной пропорциональности	25
„ № 13. О действии заряда на наэлектризованное тело	26
„ № 14. О стеклянной и медной палке	27
„ № 15. О новом способе заряжения электроскопа	31
„ № 16. Еще об одном способе заряжения электроскопа	32
„ № 17. О необычайном поведении листочков электроскопа	—
„ № 18. Загадка листьев дерева	34
„ № 19. Об острие	36
„ № 20. О древесных громоотводах	37
„ № 21. Улучившая нас в небрежности	39
„ № 22. О стоячем и сидячем человеке	40
„ № 23. О тепловой энергии	42
„ № 24. Об арбузе и яблоке	44
„ № 25. Об уничтожении силы притяжения земли	47
„ № 26. О непрерывном увеличении потенциала земли	48
„ № 27. О свойствах наэлектризованной земли	50

ОТ ПОКОЯ К ДВИЖЕНИЮ

„ № 28. О чем говорят наши учебники	52
„ № 29. О движущемся свинце	53

Задача № 30. Первая загадка калильной лампочки	Стр. 56
„ № 31. О второй загадке калильной лампочки	58
„ № 32. О третьей загадке калильной лампы	59
„ № 33. О последней загадке	61
„ № 34. О разных электрических токах	62
„ № 35. Без особого названия	64
„ № 36. О земляном проводе	65
„ № 37. О головных шпильках и о „Немецком море“ в банке	67
„ № 38. О своенравном винограде	70
„ № 39. О „возмездии“ за убитую лягушку	71
„ № 40. О немецком заграждении	73
„ № 41. О точке в „Немецком море“	76
„ № 42. О слабом токе, который сильнее сильного	77
„ № 43. О „глупой“ силе тока	79

НА ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКОМ ПУТИ

„ № 44. О старческом изменении сопротивления	81
„ № 45. Как два ножа вскипятили стакан чаю	83
„ № 46. О даровом получении теплоты	84
„ № 47. Пытающаяся подорвать доверие к зак. Джоуля-Ленца	85
„ № 48. О „неведомом“ хлоре	88
„ № 49. О бесследном исчезновении вещества	89
„ № 50. О конце переменного тока	92
„ № 51. Об ошибке профессора	94
„ № 52. О дедушкином элементе	96
„ № 53. О чугунном элементе	99
„ № 54. О непатентованном аккумуляторе	100
„ № 55. О том, как практика идет в разрез с теорией	102
„ № 56. Об элементе с двумя электродами из угля	105
„ № 57. О первом недоумении товарища	107
„ № 58. О втором недоумении товарища	108
„ № 59. Об электрокультуре без генератора тока	110
„ № 60. Приведшая нас к совершенно непонятному результату	112
„ № 61. Об ошибке в наших измерениях	114

ИЗ ЛАБОРАТОРИИ В ЖИЗНЬ

„ № 62. О новом кипяильнике	116
„ № 63. Разъяснившая нам три вопроса	117
„ № 64. О новом превращении электрической энергии	119
„ № 65. О воздушном путешествии коробки из-под консервов	120
„ № 66. Первый проект	121
„ № 67. Второй проект	—

	Стр.
Задача № 68. Конспективного характера	124
„ № 69. О двух гвоздях и магните	125
„ № 70. Об одном гвозде и магните	126
„ № 71. О непослушном пере	127
„ № 72. О странном свойстве переменного тока	128
„ № 73. О секретном затворе	130
„ № 74. О парадоксе электромагнита	131
„ № 75. Об одном, который сильнее двух	132
„ № 76. О новом капризе электромагнита	134
„ № 77. О новом электрическом затворе	136

ЧЕГО МНОГИЕ НЕ ЗНАЮТ

„ № 78. О загадочном возникновении тепла	139
„ № 79. Об электрической праше	140
„ № 80. О том, как 7 ампер превращаются в 350	142
„ № 81. О паразитных токах	143
„ № 82. О проводнике в роли изолятора	144
„ № 83. О постройке трансформатора	147
„ № 84. Для чего может пригодиться напильник	148
„ № 85. Как кусок железа усиливает свет электрической лампы	149
„ № 86. Об удивительном свойстве звонкового трансформатора	151
„ № 87. О похитителе электрической энергии	153
„ № 88. О том, как, не меняя сопротивления проволоки, можно изменить ее сопротивление	155
„ № 89. О реактивных катушках	157
„ № 90. О простейшем генераторе переменного тока	158
„ № 91. О первой модели более совершенного генератора	160
„ № 92. О безработном полюсе (вторая модель)	162
„ № 93. О третьей модели генератора	164
„ № 94. О динамомашине	165

ПОСЛЕДНИЕ ПРЕГРАДЫ

„ № 95. О передаче энергии	167
„ № 96. Об удивительной коробочке	168
„ № 97. Об одном замечательном исключении	173
„ № 98. О беспроволочной передаче энергии	176
„ № 99. Новый проект „радио“	177
„ № 100. О стойке вибратора	179
„ № 101. О когерере из стакана и двух гвоздей	182
„ № 102. О новом круговороте электрических сил	184
„ № 103. Об электрических лучах	185
„ № 104. В которой мы пытаемся обнять необъятное	188
„ № 105. Последняя и прощальная	194