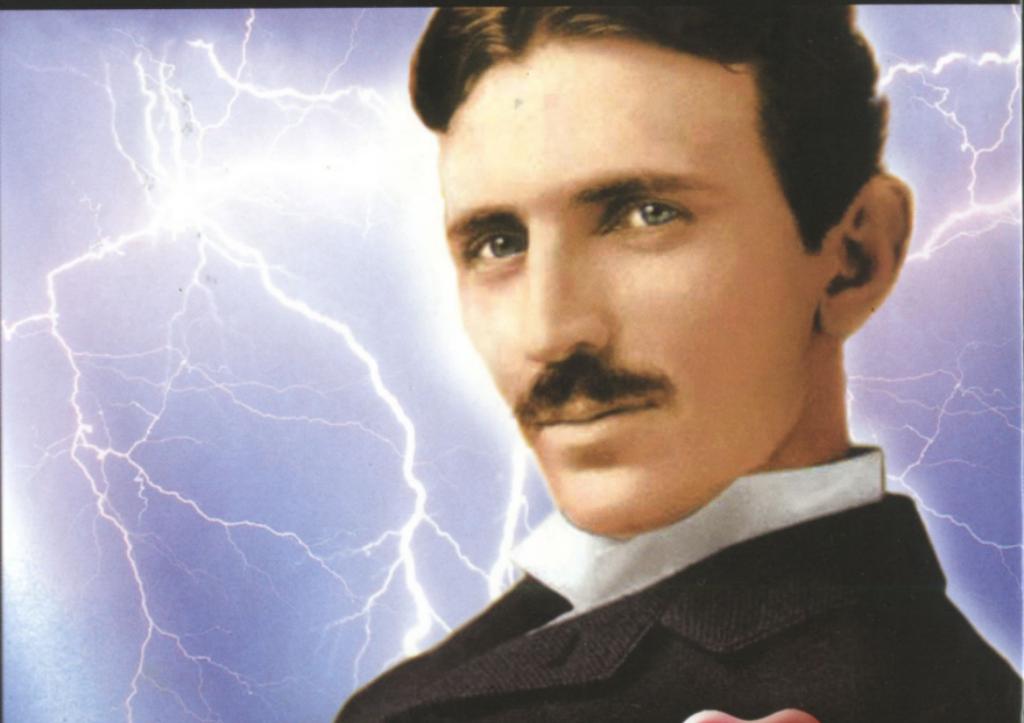


Тесла

И ЕГО ПОДЛИННЫЕ ВЗГЛЯДЫ





Nikola Tesla

Тесла

И ЕГО ПОДЛИННЫЕ ВЗГЛЯДЫ



ЛУЧШИЕ РАБОТЫ РАЗНЫХ ЛЕТ

ЭКСМО

МОСКВА 2010

УДК 001
ББК г(3)
Т36

Оформление серии *B. Терещенко*

Тесла Н.

Т 36 Тесла и его подлинные взгляды. Лучшие работы разных лет / Никола Тесла ; [пер. с англ. Э. Мельник]. — М. Эксмо, 2010. — 320 с. — (Раскрытие тайны).

ISBN 978-5-699-41529-8

Новая книга о Николе Тесле — самом загадочном и гениальном ученом всех времен! И написал ее... сам Тесла!

Эта книга содержит поистине уникальные избранные работы Николы Теслы, написанные им в разные годы. Из них вы узнаете о том, что же сам Тесла думал о своих изобретениях и фундаментальных законах материи и энергии, об эпохе, в которую он жил, и о себе.

УДК 001
ББК г(3)

Все права защищены. Никакая часть этой книги, за исключением отдельных цитат, не может быть использована в каком-либо виде, включая размещение в сети Интернет, без письменного разрешения издателя.

© Мельник Э.И., перевод на русский язык, 2010
© Издание на русском языке, оформление.
© ООО «Издательство «Эксмо», 2010

ISBN 978-5-699-41529-8

СОДЕРЖАНИЕ

НОВАЯ СИСТЕМА ДВИГАТЕЛЕЙ И ТРАНСФОРМАТОРОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.	6
ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЙ ИНДУКЦИОННЫЙ АППАРАТ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.	26
ЭКСПЕРИМЕНТЫ С ПЕРЕМЕННЫМИ ТОКАМИ ОЧЕНЬ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ИСКУССТВЕННОМ ОСВЕЩЕНИИ	29
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАЗРЯД В ВАКУУМНЫХ ТРУБКАХ	91
ЗАМЕТКИ ОБ УНИПОЛЯРНОМ ДИНАМО	98
ЭКСПЕРИМЕНТЫ С ПЕРЕМЕННЫМИ ТОКАМИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ.	104
О СВЕТЕ И ДРУГИХ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ФЕНОМЕНАХ.	228
<i>Вступление. Мысли о зрении.</i>	228
<i>Об устройствах и способах преобразования.</i>	239
<i>О явлениях, вызываемых электростатической силой</i>	253
<i>О токе или феноменах динамического электричества.</i>	265
<i>Феномены сопротивления</i>	275
<i>Об электрическом резонансе.</i>	276
<i>О световых феноменах, вызванных токами высокой частоты или высокого напряжения. Общие замечания, касающиеся данного предмета.</i>	287

НОВАЯ СИСТЕМА ДВИГАТЕЛЕЙ И ТРАНСФОРМАТОРОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

*Лекция в Американском институте
инженеров-электриков, мой 1888 г.*

Я хочу выразить свою признательность профессору Энтони за помошь, оказанную мне в этой работе. Я также хотел бы поблагодарить за содействие гг. Поупа и Мартина. Времени у меня было немного, и я не смог проработать вопрос, о котором пойдет речь, так всесторонне, как мне того хотелось бы, поскольку здоровье мое в настоящее время оставляет желать лучшего. Прошу вашего снисхождения и буду крайне благодарен, если окажется, что то немногое, что мне удалось сделать, заслуживает одобрения. Поскольку существует различие во мнениях относительно сравнительных преимуществ систем **постоянного** и **переменного тока**, огромное значение приобретает вопрос о том, может ли переменный ток быть успешно использован в работе двигателей. Трансформаторы с их многочисленными достоинствами обеспечили нас относительно совершенной системой распределения, и хотя, как и во всех отраслях техники, желательны были бы еще многие улучшения, все же в этом конкретном направлении осталось сделать не так уж много. Передача же энергии, напротив, почти полностью ограничена применением постоянного тока, и, несмотря на то что было сделано множество попыток приспособить для этой цели переменный ток, попытки эти на данный момент — по крайней мере, насколько известно — не достигли желаемого результата. Среди раз[^]нообразных двигателей, адаптированных к работе с переменным током, упоминаются следующие:

1. Двигатель последовательного возбуждения с разделенным возбуждающим полем.

2. Генератор переменного тока, поле которого возбуждается постоянным током.

3. Двигатель Элиу Томсона.

4. Комбинированный двигатель постоянного и переменного тока.

Мне вспомнились еще два двигателя этого рода:

1. Двигатель, один из контуров которого последовательно соединен с трансформатором, а второй — со вторичным контуром трансформатора.

2. Двигатель, якорь которого соединен с генератором, а обмотка возбуждения замкнута на себя.

Об этих последних я, впрочем, упомянул лишь к слову.

Предмет, который я ныне имею удовольствие представить вашему вниманию, — это **новая система электрического распределения и передачи электрической энергии посредством переменных токов**. Это система, которая обеспечивает любопытные преимущества, в особенности применительно к двигателям. Система, которая, и я в этом уверен, сразу же упрочит репутацию переменных токов как идеально подходящего средства для передачи энергии и покажет, что многие результаты, доселе недостижимые, могут быть достигнуты при их помощи — результаты, чрезвычайно желательные в практическом применении таких систем и невозможные при посредстве токов постоянных.

Прежде чем перейти к детальному описанию этой системы, думаю, необходимо сделать несколько замечаний относительно определенных условий, присутствующих в генераторах и двигателях постоянного тока, которые, хотя они и общеизвестны, часто оставляют без внимания.

В наших динамо-машинах, как хорошо известно, мы производим переменные токи, которые выпрямляем посредством коллектора, сложного устройства и, как можно справедливо заметить, источника большинства проблем, с которыми мы сталкиваемся в работе этих машин. Выпрямленные таким образом токи нельзя использовать в двигателе; они должны — опять-таки посредством сход-

ного ненадежного устройства — быть преобразованы в свое первоначальное состояние переменных токов. Функция коллектора исключительно внешняя и никоим образом не влияет на внутреннюю работу машин. **Таким образом, на самом деле все машины являются машинами переменного тока; как постоянный, ток выступает только во внешнем контуре во время передачи его от генератора к двигателю.** Если учесть один только этот факт, переменный ток видится как более прямое приложение электрической энергии, и применение постоянного тока могло бы быть оправданно, лишь если бы мы имели динамо-машины, которые изначально вырабатывали бы постоянный ток, и двигатели, которые непосредственно им приводились бы в действие.

Но действие коллектора по отношению к двигателю двояко: во-первых, он реверсирует токи, идущие через двигатель, а во-вторых, автоматически вызывает последовательную смену полюсов на одной из его магнитных составляющих. Допустив, следовательно, что обе эти бесполезные операции в системе, то есть выпрямление переменных токов генератора и реверсирование постоянных токов к двигателю, могут быть упразднены, мы по-прежнему будем иметь дело с необходимостью вызывать последовательное смещение полюсов на одном из элементов двигателя, чтобы заставить его вращаться. И тут возникает вопрос: как выполнять эту операцию непосредственным действием переменного тока? Перехожу к демонстрации способа, которым можно достичь этого результата.

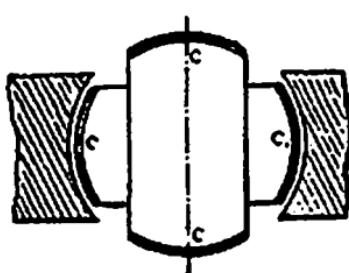


Рис. 1

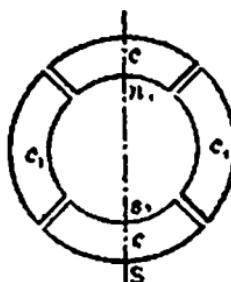


Рис. 1 а

В первом эксперименте барабанный якорь был снабжен двумя катушками, расположенными под прямым углом друг к другу, и концы их обмоток были соединены с двумя парами изолированных контактных колец, как обычно и делается. Затем было изготовлено кольцо из тонких изолированных пластин листового железа и снабжено четырьмя обмотками; каждая пара противоположных обмоток была соединена, чтобы образовать свободные полюса на диаметрально противоположных сторонах кольца. Оставшиеся свободными концы обмоток были затем соединены с контактными кольцами якоря генератора, чтобы сформировать два независимых контура, как показано на рис. 9. Теперь можно посмотреть, какие результаты были обеспечены при такой комбинации, и с этой целью я обращусь к рисункам с 1-го по 8-й а. Когда поле генератора независимо возбуждается, вращение якоря порождает токи в обмотках С и C_1 , которые различаются по силе и направлению, как хорошо известно. В положении, показанном на рис. 1, ток в обмотке С равен нулю, в то время как в обмотке C_1 движется максимальный ток, и соединения таковы, что кольцо намагничивается обмотками c_1c_1 как показано буквами NS на рисунке 1а, причем намагничивающий эффект обмоток С равен нулю, поскольку эти обмотки включены в контур катушки С.

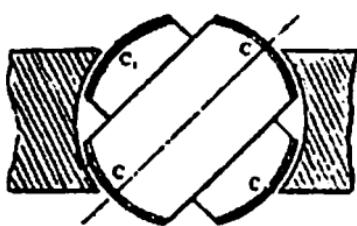


Рис. 2

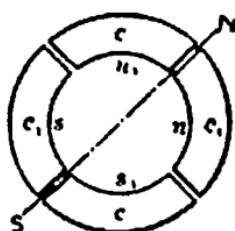


Рис. 2 а

На рис. 2 катушки якоря показаны в более продвинутой позиции, когда пройдена одна восьмая оборота. Рис. 2а иллюстрирует соответствующее магнитное состо-

жение кольца. В этот момент обмотка C_1 вырабатывает ток того же направления, как и прежде, но слабее, образуя на кольце полюса $n_1 s_1$ обмотка C также вырабатывает ток того же направления, и соединение таково, что обмотки C образуют полюса ns , как показано на рис. 2а. Результирующая полярность обозначена буквами NS , и можно заметить, что полюса кольца сместились на одну восьмую его окружности.

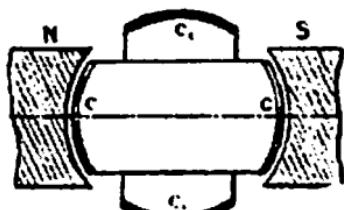


Рис. 3

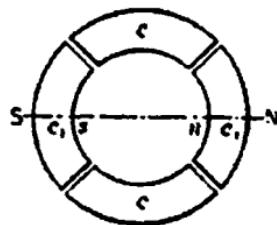


Рис. 3а

На рис. 3 якорь завершил одну четверть оборота. На этой стадии ток в катушке C максимальен и имеет такое направление, что создает полюса NS на рис. 3а, в то время как ток в катушке C_1 равен нулю, поскольку эта катушка находится в нейтральной позиции. Полюса TS на рис. 3а, таким образом, сместились на одну четверть окружности кольца.

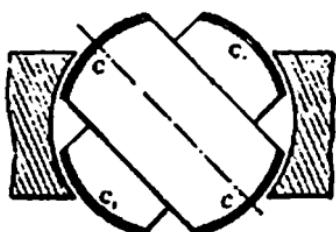


Рис. 4

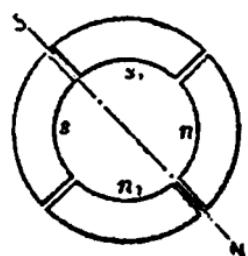


Рис. 4а

Рис. 4 показывает катушки CC в еще более продвинутой позиции, когда якорь завершил три четверти одного оборота. В данный момент катушка C по-прежнему вы-

рабатывает ток того же направления, что и раньше, но меньшей силы, образуя сравнительно более слабые полюса ns на рис. 4а. Ток в катушке C_1 обладает той же силой, но противоположен по направлению. Его действие, таким образом, образует на кольце полюса n_1s_1 как показано на рисунке, и полярность NS , поскольку полюса теперь сместились на три четверти периферии кольца.

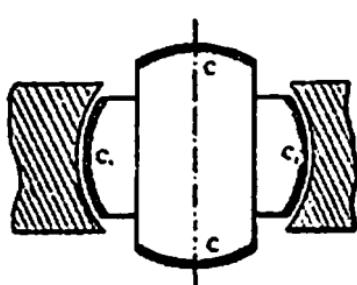


Рис.5

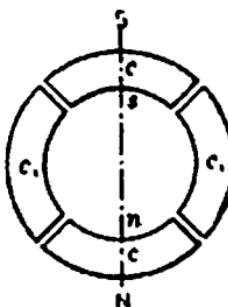


Рис. 5а

На рис. 5 завершена половина оборота якоря, и результатирующее магнитное состояние кольца показано на рис. 5а. Теперь ток в катушке C равен нулю, в то время как через катушку C_1 проходит максимальный ток, имеющий то же направление, что и прежде. Магнетизирующий эффект, таким образом, вызывается только катушками C_1C_1 и, обращаясь к рис. 5а, можно увидеть, что полюса NS сместились на половину окружности кольца. Во время последующей половины оборота все операции повторяются, как показано на рис. с 6-го по 8-й а.

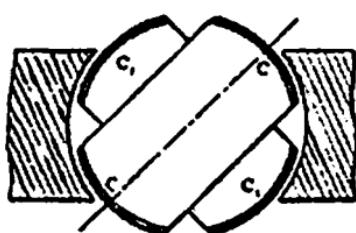


Рис.6

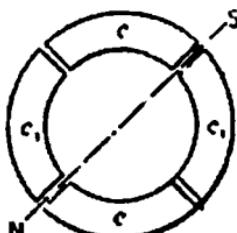


Рис. 6а

При обращении к рисункам становится ясно, что во время одного оборота якоря полюса кольца смещаются вдоль его окружности, и каждый оборот производит такие же эффекты. Результатом этого является быстрое вращение полюсов, согласованное с вращением якоря. Если соединение какого-либо из контуров кольца реверсировать, то смещение полюсов будет происходить в обратном порядке, но действие будет совершенно тем же самым. Вместо использования четырех проводов с тем же результатом можно использовать три, причем один из них будет выступать как общий обратный для обоих контуров.

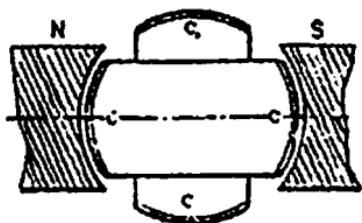


Рис. 7

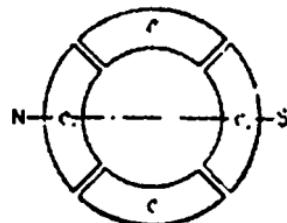


Рис. 7а

Это вращение или смещение полюсов проявляется себя в ряде любопытных феноменов. Если свободно насаженный на ось диск из стали или другого магнитного металла поднести к кольцу, он начнет быстро вращаться, причем направление вращения будет зависеть от положения диска. Например, если мы отметим направление движения снаружи кольца, то окажется, что внутри кольца диск вращается в противоположном направлении, в то время как в положении, симметричном кольцу, он не будет испытывать никакого воздействия. Каждый раз, приближаясь, один из полюсов формирует противоположный полюс в ближайшей к нему точке диска, и на эту точку действует сила притяжения; благодаря этому по мере того как полюс смещается дальше от диска, тот притягивается по касательной, и поскольку данное действие постоянно повторяется, следует более или менее быстрое вращение диска. Поскольку притяжение испытывает в основном тот участок диска,

который ближе к кольцу, то вращение снаружи и внутри, или вправо и влево соответственно, происходит в разных направлениях, как на рис. 9. Когда диск размешен симметрично кольцу, притяжение на обеих сторонах диска одинаково и вращения не происходит. Этот процесс основан на магнитной инерции железа; по этой причине диск из твердой стали испытывает гораздо большее воздействие, чем диск из мягкого железа, ибо последний способен к очень быстрым вариациям магнетизма. Такой диск проявил себя как очень полезный инструмент во всех подобных исследованиях, поскольку давал мне возможность определять любое отклонение в процессе. Любопытное действие также оказывается на железные опилки. Поместив немного опилок на бумагу и держа их снаружи довольно близко к кольцу, можно сообщить им колебательные движения, причем они остаются на одном месте, если двигать бумагу вперед и назад. Но если приподнять бумагу на определенную высоту, которая зависит, судя по всему, от интенсивности полюсов и скорости вращения, опилки отбрасываются прочь в направлении, всегда противоположном предполагаемому движению полюсов. Если бумагу с опилками положить плашмя на кольцо и внезапно включить ток, можно с легкостью наблюдать наличие магнитного завихрения.

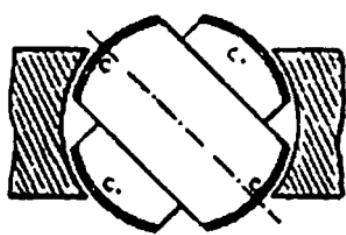


Рис. 8

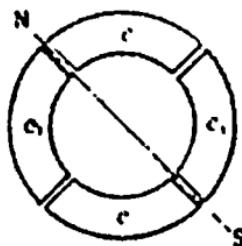


Рис. 8а

Чтобы продемонстрировать полную аналогию между кольцом и вращающимся магнитом, я механическим способом вращал сильно заряженный электромагнит и наблюдал феномены, до последней детали идентичные вышеупомянутым.

Очевидно, вращение полюсов оказывает соответствующий индуктивный эффект и может быть использовано для выработки токов в закрытом проводнике, помещенном в область воздействия полюсов. Для этой цели удобно обернуть кольцо двумя наборами наложенных друг на друга обмоток, формирующих соответственно первичный и вторичный контур, как показано на рис. 10. С целью обеспечить наиболее экономически выгодные результаты магнитная цепь должна быть полностью замкнута; для этого конструкция может быть изменена по желанию экспериментатора. Индуктивный эффект, оказываемый на вторичные обмотки, в основном будет результатом движения или смещения магнитного воздействия; но помимо этого в обмотках могут возникнуть токи, являющиеся следствием вариаций в интенсивности полюсов. Однако должным образом сконструировав генератор и рассчитав магнетизирующий эффект первичных обмоток, этот элемент можно исключить. Если поддерживать интенсивность полюсов постоянной, то действие аппарата будет идеальным, и будет достигнут тот же результат, как если бы смещение было спровоцировано посредством коллектора с бесконечным числом щеток. В таком случае теоретическое отношение между возбуждающим действием каждого из наборов первичных обмоток и их результирующим магнитным эффектом может быть выражено через уподобление кругу, центр которого совпадает с центром прямоугольной системы осей, где радиус представляет равнодействующую, а координаты — обе ее составляющие. Они являются соответственно синусом и косинусом угла α между радиусом и одной из осей (OX). Обратившись к рис. 11, мы получим $r^2 = x^2 + y^2$, где $x = r \cos \alpha$, а $y = r \sin \alpha$.

Допустим, что магнитный эффект каждого из наборов обмоток трансформатора пропорционален силе тока, что можно допустить для слабых степеней намагничивания; тогда $x = Kc$, а $y = Kc_1$, где K — константа, а c и c_1 — сила тока в каждом из наборов обмоток соответственно. Предположив далее, что поле генератора постоянно, мы имеем для постоянной скорости $c_1 = K_1 \sin \alpha$, а $c = K_1 \sin (90^\circ + \alpha)$,

где K_1 — константа (см. рис. 12). Поэтому $x = Kc = KK_1 \cos a$; $y = Kc_1 = KK_1 \sin a$; а $KK_1 = r$.

То есть для однородного поля расположение двух катушек перпендикулярно друг другу обеспечивает теоретически рассчитанный результат, и интенсивность смещающихся полюсов будет постоянной. Но из $r^2 = x^2 + y^2$ следует, что для $y = 0$ $r = x$, следовательно, объединенный намагничивающий эффект обоих наборов обмоток должен быть равным эффекту одной обмотки при ее максимальном действии. В трансформаторах и в двигателях определенного класса **флуктуации полюсов** не имеют большого значения, но для другого класса двигателей получение этого теоретического результата весьма желательно.

Применяя этот принцип к конструкции двигателей, можно разработать два их типа. Первый имеет сравнительно небольшой пусковой врачающий момент, но сохраняет совершенно одинаковую скорость при любой нагрузке; этот двигатель можно назвать синхронным. Второй обладает большим пусковым врачающим моментом, но скорость его зависит от нагрузки.

Эти двигатели могут приводиться в действие тремя различными способами:

1. Переменными токами только от источника.
2. Комбинированным действием токов от источника и индуцированных токов.
3. Объединенным действием переменных и постоянных токов.

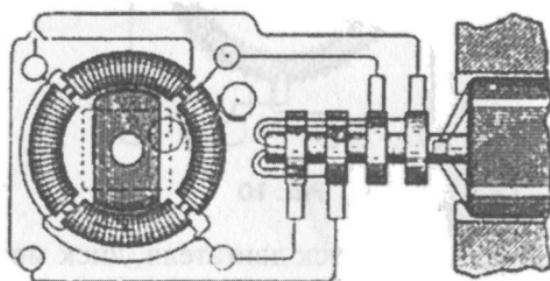


Рис.9

Простейшая форма синхронного двигателя получается путем наматывания на пластинчатое кольцо, снабженное полюсными выступами, четырех обмоток и соединения их указанным выше образом. Железный диск с вырезанным сегментом на каждой из сторон может быть использован как якорь. Такой двигатель показан на рис. 9. При установке диска таким образом, чтобы он свободно вращался внутри кольца в непосредственной близости к полюсным выступам, очевидно, что, поскольку полюса смещаются, он будет благодаря тенденции занимать такое положение, чтобы охватывать наибольшее число силовых линий, неотступно следовать за движением полюсов, и его движения будут синхронны с движениями якоря генератора, то есть это будет так в особенном расположении, показанном на рис. 9, при котором якорь за один оборот выдает два импульса тока в каждом из контуров. Очевидно, что если за один оборот якоря будет произведено большее число импульсов, скорость двигателя соответственно возрастет. Если принять во внимание, что сила притяжения, действующая на диск, будет больше всего, когда он находится вблизи полюсов, то из этого следует, что такой двигатель будет сохранять в точности одну и ту же скорость при всех нагрузках в пределах своей мощности.

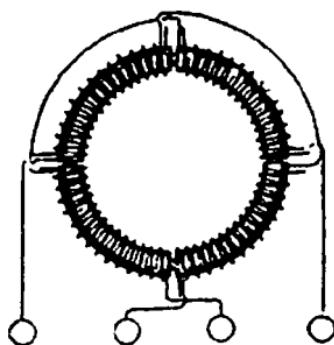


Рис. 10

Чтобы облегчить запуск двигателя, диск можно снабдить обмоткой, замкнутой на себя. Преимущество, предоставляемое такой обмоткой, очевидно. При запуске токи,

возникающие в обмотке, сильно возбуждают диск и увеличивают притяжение, оказываемое на него кольцом, и поскольку в обмотке вырабатываются токи, пока скорость якоря меньше скорости смещения полюсов, такой двигатель может выполнить значительную работу, даже если скорость ниже обычной. Когда напряженность полюсов постоянна и двигатель вращается со своей нормальной скоростью, никакие токи в обмотке не образуются.

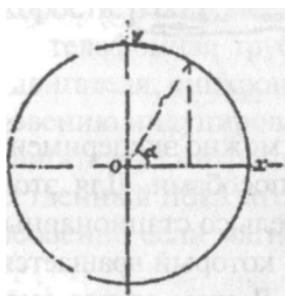


Рис. 11

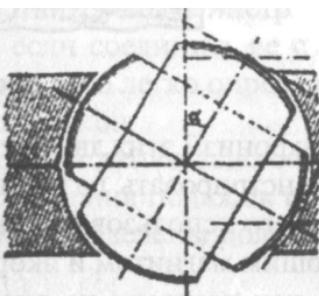


Рис. 12

Вместо того чтобы замыкать обмотку на себя, ее концы можно соединить с двумя изолированными скользящими кольцами и подать постоянный ток от соответствующего генератора. Правильный способ запустить такой двигатель — замкнуть обмотку на себя до тех пор, пока не будет достигнута или почти достигнута нормальная скорость, а затем подать постоянный ток. Если диск будет очень сильно возбужден постоянным током, двигатель может не завестись, но если он будет заряжен слабо или вообще так, что магнитное воздействие кольца будет преобладать, он заведется и достигнет нормальной скорости. Такой двигатель будет сохранять одну и ту же скорость при любых нагрузках. Было также обнаружено, что если движущая сила генератора не чрезмерна, то при ограничении скорости двигателя скорость генератора уменьшается в согласии со скоростью двигателя. Для этого вида двигателя характерно, что его нельзя реверсировать, реверсировав постоянный ток в обмотке.

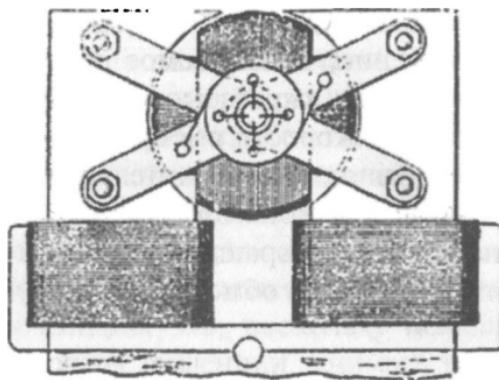


Рис. 13

Синхронизм этих двигателей можно экспериментально продемонстрировать разными способами. Для этой цели лучше всего использовать двигатель со стационарным возбуждающим магнитом и якорем, который вращается внутри его, как показано на рис 13. В этом случае смещение полюсов якоря вызывает его вращение в противоположном направлении. Отсюда следует, что, когда достигнута нормальная скорость, полюса якоря занимают фиксированное положение относительно стационарного магнита и он намагничивается путем индукции, демонстрируя отчетливое наличие полюса на каждом из полюсных выступов. Если кусок мягкого железа приблизить к стационарному магниту, он вначале будет притягиваться с быстрым колебательным движением, вызванным реверсивностью полюсов магнита, но, по мере того как скорость якоря возрастает, вибрации становятся все менее частыми и, наконец, полностью прекращаются. После этого железо слабо, но постоянно притягивается, показывая тем самым, что синхронизм достигнут и стационарный магнит возбужден индукцией.

Для этого опыта можно также использовать диск. Если держать его достаточно близко к якорю, он будет вращаться до тех пор, пока скорость вращения полюсов превышает скорость якоря, но когда достигнута или почти достигнута нормальная скорость, он прекращает вращение и испытывает постоянное притяжение.

Примитивный, но показательный эксперимент можно провести с лампой накаливания. Включив лампу в цепь с генератором постоянного тока и последовательно соединив с магнитной обмоткой, можно наблюдать быстрые флюктуации свечения — это следствие индуцированных токов, возникающих в обмотке при запуске двигателя. По мере того как повышается скорость, флюктуации проявляются с большими временными интервалами, пока не исчезают полностью, указывая, что двигатель развил нормальную скорость. Наиболее чувствительным инструментом является телефонная трубка: если соединить ее с любой цепью двигателя, синхронизм можно легко определить по исчезновению индуцированных токов.

В двигателях синхронного типа желательно сохранять количественный показатель смещения полюсов постоянным, особенно если магниты не разделены должным образом.

Получение вращающего момента в таких двигателях явилось предметом долгих раздумий. Для обеспечения этого результата было необходимо создать такую конструкцию, чтобы, когда полюса одного элемента двигателя смещались под действием переменного тока от источника, полюса, образованные на другом элементе, всегда поддерживались в должном соотношении с первыми, независимо от скорости двигателя. Такие условия существуют в двигателе постоянного тока, но в синхронном двигателе, подобном описанному, это условие выполняется только при нормальной скорости.

Этой цели удалось достичь, поместив в кольцо подобающим образом разделенный цилиндрический железный сердечник с несколькими независимыми обмотками, замкнутыми на себя. Двух обмоток под прямым углом, как показано на рис. 14, достаточно, но применение большего количества дает дополнительные преимущества. В результате такого расположения, когда полюса кольца смещаются, в замкнутых якорных обмотках формируются токи. Они наиболее сильны в точках наибольшей плотности силовых линий или proximity от них, и их действие образует

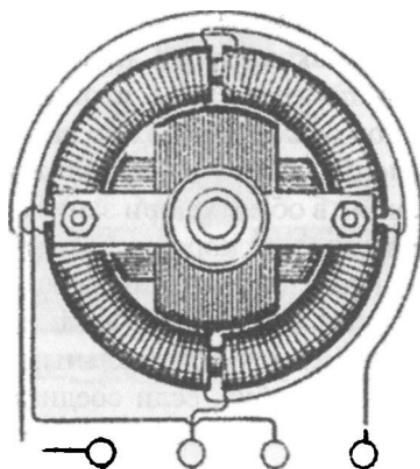


Рис. 14

полюса на якоре перпендикулярно к полюсам кольца, по крайней мере, в теории это так. Поскольку это воздействие совершенно не зависит от скорости, то есть насколько это касается расположения полюсов, на периферию якоря оказывается постоянное притяжение. Во многих отношениях эти двигатели схожи с двигателями постоянного тока. При нагрузке скорость, как и сопротивление двигателя, уменьшается, и сквозь возбуждающие обмотки проходит больше токов, что увеличивает усилие. При снятии нагрузки противоэлектродвижущая сила возрастает, и сквозь первичные обмотки возбуждения проходит меньший ток. Без всякой нагрузки скорость практически равна скорости смещения полюсов стационарного магнита.

Как будет видно из дальнейшего, врачающий момент в таких двигателях полностью равен врачающему моменту двигателей постоянного тока. Усилие бывает наибольшим, когда и якорь, и стационарный магнит не имеют никаких выступов; но поскольку при таком расположении поле не может быть очень концентрированным, возможно, наилучшие результаты будут получены, если оставить полярные выступы только на одном из элементов. Вообще можно сказать, что выступы уменьшают врачающий момент и образуют тенденцию к синхронизму.

Характерная черта двигателей такого типа — их способность к быстрому реверсированию. Это — следствие своеобразной работы двигателя. Допустим, что якорь вращается и направление вращения полюсов реверсируется. Тогда весь аппарат представляет собой динамо-машину; силой, приводящей машину в движение, является импульс, аккумулированный в якоре, а ее скорость является суммой скоростей якоря и полюсов.

Если мы теперь примем во внимание, что движущая сила этой машины будет примерно пропорциональна кубу скорости, то по одной только этой причине якорь должен быстро реверсировать. Но одновременно с реверсом вступает в силу другой фактор, а именно — когда движение полюсов по отношению к якорю становится обратным, двигатель начинает действовать как трансформатор, в котором сопротивление вторичного контура аномально уменьшено образованием в этой цепи дополнительной электродвижущей силы. По этим причинам реверс происходит мгновенно.

Если желательно обеспечить постоянную скорость и в то же время сохранить определенное усилие при запуске, этого результата можно легко достичь разнообразными способами. Например, можно укрепить на одной оси два якоря — один для врачающего момента, а другой для синхронизма — и обеспечить любому из них преимущество. Еще можно сделать обмотку якоря так, чтобы вызывать вращательное усилие, но более или менее выраженная тенденция к синхронизму возникнет у него при правильной конструкции железного сердечника. Есть и много других путей.

В качестве средства получения желаемой фазы токов в обеих цепях расположение двух обмоток перпендикулярно друг к другу является простейшим из возможных и обеспечивает наиболее равномерную работу. Но этой фазы можно достичь и многими другими методами, различимися в зависимости от применяемой машины. Любая из динамо-машин, в настоящее время находящихся в употреблении, может быть легко приспособлена для этой

цели путем образования соединений с нужными точками генерирующих ток обмоток. При применении якорей с замкнутыми обмотками, какие используются в системах постоянного тока, лучше всего сделать четыре ответвления от равноудаленных точек или пластин коммутатора и соединить их с четырьмя изолированными скользящими кольцами на валу. В этом случае каждая из цепей двигателя соединена с двумя противоположными пластинами коммутатора. При таком расположении двигатель может также работать при половинном потенциале и по трехпроводной схеме благодаря соединению обмоток двигателя в должном порядке с тремя из контактных колец.

В многополярных динамо-машинах, таких, какие используются в конвертерных системах, эта фаза легко может быть достигнута путем снабжения якоря двумя наборами обмоток таким образом, что, когда обмотки одного набора или последовательности производят максимальный ток, обмотки другого набора находятся в нейтральной позиции или почти в ней. Таким образом, оба набора обмоток могут одновременно или последовательно подвергаться индуктивному воздействию стационарных магнитов.

Как правило, контуры двигателя будут иметь похожее расположение, и для того, чтобы удовлетворять требованиям, могут быть сделаны различные конструкции. Но простейшим и наиболее практическим способом является расположение первичных контуров на неподвижных частях двигателя, что позволяет избежать — по крайней мере, в некоторых модификациях — применения скользящих контактов. В этом случае магнитные обмотки включены в оба контура попарно, то есть 1, 3, 5... в одну цепь, а 2, 4, 6... — в другую, и все обмотки каждого набора или последовательности могут быть соединены тем же способом или попарно в оппозиции. В последнем случае получится двигатель с половинным числом полюсов, и его действие соответственно изменится.

Применение **многополярных двигателей** обеспечивает в этой системе весьма желательное преимущество, которое недостижимо в системах постоянного тока, а именно —

двигатель можно заставить работать с заранее определенной скоростью, независимо от несовершенств конструкции, нагрузки и (в определенных пределах) от электродвижущей силы и силы тока.

В обычной распределительной системе такого рода должна применяться следующая схема. На центральной станции подачи энергии должен быть установлен генератор, имеющий значительное число полюсов. Двигатели, получающие питание от этого генератора, должны быть синхронного типа, но обладать при этом существенным вращающим моментом, чтобы обеспечить запуск. Что касается правил, применяемых к конструкции, можно допустить, что скорость каждого двигателя будет в некоторой обратной пропорции к его размеру, и количество полюсов следует выбирать с этим учетом. И все же наличие исключительных требований может изменять это правило. Учитывая это, хорошо бы снабдить каждый двигатель большим числом полюсных выступов или обмоток — предпочтительно кратным двум и трем. Благодаря этому при простом изменении соединений между обмотками двигатель может быть приспособлен к любым возможным требованиям.

Если число полюсов четное, его работа будет гармоничной, и мы получим нужный результат; если это не так, то лучшим вариантом будет собрать двигатель с двойным числом полюсов и соединить их в ранее описанной манере, чтобы в результате получилось половинное число полюсов. Предположим, например, что генератор имеет двенадцать полюсов, и желательно достигнуть скорости, равной $\frac{1}{7}$ скорости генератора. Это потребует применения двигателя с семью полюсными выступами или магнитами, а такой двигатель нельзя правильно подключить к контурам, если не снабдить его четырнадцатью обмотками якоря, что сделает необходимым применение скользящих контактов. Чтобы избежать этого, двигатель следует снабдить четырнадцатью магнитами и соединить их так, чтобы в каждой цепи получилось по семь магнитов, при-

чем магниты, включенные в каждую цепь, должны между собой чередоваться. Якорь должен иметь четырнадцать замкнутых обмоток. Действие двигателя не будет таким совершенным, как при наличии четного числа полюсов, но это не слишком серьезный недостаток.

Кстати, недостатки, происходящие от асимметричной формы, можно уменьшить в той же пропорции, в какой увеличено количество полюсов.

Если генератор имеет, скажем, p полюсов, а двигатель — n_1 , то скорость двигателя будет равна скорости генератора, умноженной на n/p_1 .

Скорость двигателя в принципе зависит от числа полюсов, но из этого правила бывают исключения. Скорость может меняться в зависимости от фазы тока в обмотках, или характера импульсов тока, или от величины интервалов между импульсами или группами импульсов.

Таким способом можно добиться любой желательной скорости — по крайней мере в пределах практических нужд. Таким преимуществом, в числе прочих, эта система обладает в результате своей простоты. **При полной нагрузке двигатели демонстрируют такую же эффективность, как и двигатели постоянного тока.** Трансформаторы дают дополнительное преимущество своей способностью участвовать в работе двигателей. Они позволяют вносить похожие изменения в свою конструкцию, что облегчает соединение с двигателями и их приспособление под практические нужды. Их эффективность должна быть выше, чем эффективность современных трансформаторов. Моя убежденность в этом основывается на следующих моментах.

В трансформаторе той конструкции, которая используется сейчас, мы производим токи во вторичной цепи, варьируя силу первичных, или возбуждающих, токов. Если допустить существование пропорциональности по отношению к железному сердечнику, то индуктивный эффект, оказываемый на вторичную обмотку, будет пропорционален числовой сумме вариаций в силе возбуждающего тока за единицу времени. Отсюда следует, что при

заданной вариации любое продление действия первичного тока приведет к пропорциональным потерям. С целью получить быстрые вариации в силе тока, важные для эффективной индукции, используется большое число ондуляций. Результатом этого становятся многие недостатки. В их числе возросшая стоимость и уменьшающаяся эффективность генератора, большая потеря энергии при нагреве сердечников, а также уменьшенная производительность трансформатора, поскольку сердечники используются неправильно из-за чересчур быстрых реверсов. На определенных фазах также очень мал индуктивный эффект, как можно видеть из графического изображения, и могут присутствовать периоды бездействия, если есть интервалы между последовательными импульсами или волнами тока. **При смещении же полюсов в трансформаторе и таким образом индуцированных токах индукция будет носить идеальный характер, поскольку станет всегда поддерживаться в состоянии пиковой активности. Также вполне разумно предположить, что при смене полюсов потеря энергии будет меньшей, чем при реверсах.**

ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЙ ИНДУКЦИОННЫЙ АППАРАТ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Статья в журнале «The Electrical Engineer»,
Нью-Йорк, 6 мая 1891 г.

Около полутора лет назад, когда я занимался изучением **переменных токов короткого периода**, мне пришло в голову, что такие токи могут быть получены **путем вращения заряженных поверхностей в непосредственной близости к проводникам**. Поэтому я создал несколько форм экспериментальных аппаратов, два из которых показаны на сопроводительных иллюстрациях.

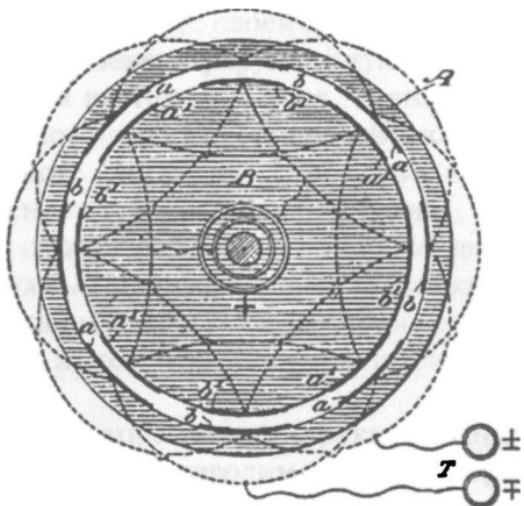


Рис. 1

В аппарате, показанном на рис. 1, буквой *A* обозначено кольцо из сухого твердого дерева, обработанного шеллаком, снабженное изнутри двумя наборами накладок из

оловянной фольги — *a* и *b* соответственно. Все накладки *a* и все накладки *b* соединены между собой соответственно, но независимо друг от друга. Эти два набора накладок подключены к двум контактам *T*. Ради наглядности на рисунке показаны лишь некоторые из накладок. Внутри кольца *A* и вблизи него помещен вращающийся цилиндр *B*, также изготовленный из сухого, покрытого шеллаком твердого дерева, снабженный двумя такими же наборами накладок *a₁* и *b₁*. Все накладки *a*, соединены с одним кольцом, а все накладки *b₁* — с другим; кольца помечены знаками «+» и «—». Эти два набора *a₁* и *b₁* заряжены до высокого потенциала с помощью машины Хольтца или Вимшурста и могут быть соединены с [лейденской] банкой определенной емкости. Внутренняя часть кольца *A* покрыта слюдой с целью усилить индукцию и позволить использование более высоких потенциалов.

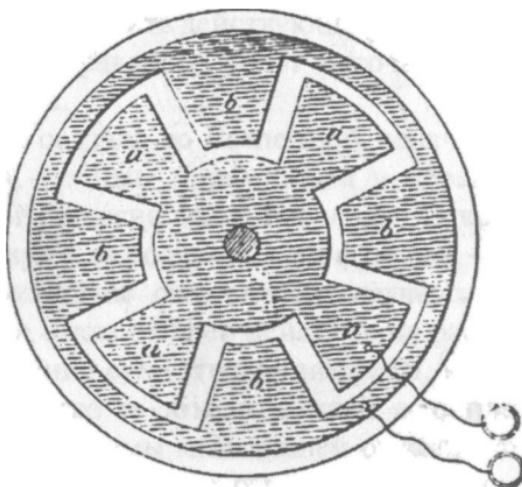


Рис.2

Когда цилиндр *B* с заряженными накладками начинает вращаться, через цепь, соединенную с контактом *T*, проходит переменный ток.

Другая форма аппарата показана на рис. 2. В этом аппарате два набора накладок из фольги наклеены на пластину

Никола ТЕСЛА

из эбонита, при этом есть вторая такая же вращающаяся пластина, накладки которой заряжены, как на рис. 1.

Производительность такого прибора весьма мала, но с его помощью можно наблюдать некоторые из эффектов, свойственных переменным токам короткого периода. Эти эффекты, однако, несравнимы с теми, которые можно получить от индукционной катушки, работающей от генератора переменного тока высокой частоты, и которые были описаны мною совсем недавно.

ЭКСПЕРИМЕНТЫ С ПЕРЕМЕННЫМИ ТОКАМИ ОЧЕНЬ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В ИСКУССТВЕННОМ ОСВЕЩЕНИИ

*Лекция в Американском институте
инженеров-электриков в Колумбийском
университете, 20 мая 1891 г.*

Нет предмета более захватывающего, более достойного изучения, чем природа. Понять ее величественный механизм, обнаружить действующие в нем силы и рычаги, которые ими управляют, — вот высочайшая цель человеческого разума.

Природа создала во Вселенной неисчерпаемые запасы энергии. Вечным приемником и передатчиком этой бесконечной энергии является эфир. **Открытие существования эфира и выполняемых им функций — один из важнейших результатов современных научных исследований.** Один только отказ от идеи действия на расстоянии, одно лишь допущение существования среды, пронизывающей все пространство и объединяющей всю плотную материю, освободили умы мыслителей от когда-либо существовавших сомнений и, открывая новые горизонты, новые и непредвиденные возможности, вызвали новый интерес к феноменам, издавна нам знакомым. Это был огромный шаг к пониманию сил природы и их многообразных проявлений, доступных нашим органам чувств. Для просвещенного исследователя физики это было то же, что для варвара — постижение механизма действия огнестрельного оружия или паровой машины. Феномены, на которые

мы взирали как на чудеса, не поддающиеся объяснению, теперь предстали перед нами в новом свете. Искра индукционной катушки, сияние лампы накаливания, проявления механической силы токов и магнитов более не являются недоступными нам феноменами. Вместо прежнего недоумения при наблюдении за ними в нашем сознании возникает схема простого механизма, и хотя о его истинной природе мы пока лишь строим предположения, тем не менее понимаем, что уже недолго истине оставаться скрытой, и чувствуем, что прозрение уже брезжит перед нами. Мы по-прежнему восхищаемся этими прекрасными феноменами, этими странными силами, но мы более не беспомощны: мы можем их до некоторой степени объяснить, рассчитывать на них, и надеемся наконец преуспеть в рассеянии тайны, которой они окружены.

Насколько далеко мы способны продвинуться в постижении окружающего нас мира — вот главная мысль, посещающая каждого, кто изучает природу. Несовершенство наших органов чувств не дает нам распознать невидимую структуру материи. Даже астрономия, эта величайшая и наиболее точная из естественных наук, может дать нам представление лишь о том, что происходит, так сказать, в непосредственном соседстве с нами: о более отдаленных районах бескрайней Вселенной с ее бесчисленными планетами и солнцами мы не знаем ничего. Но дух способен вести нас далеко за пределы восприятия наших чувств, поэтому мы вправе питать надежду, что эти неведомые миры — бесконечно малые и бесконечно великие — могут стать нам до некоторой степени известны. И все же, даже приди к нам это знание, пытливый разум тотчас обнаружит препятствие, возможно, вовеки непреодолимое, на пути к истинному пониманию того, что лишь *кажется* существующим, чистая *видимость* чего составляет единственный и шаткий фундамент всей нашей философии.

Из всех форм неизмеримой всепроникающей природной энергии, что вечно движется и меняется, являясь живой душой инертной Вселенной, электричество и магнетизм, возможно, самые восхитительные ее виды. Эф-

фекты гравитации, тепла и света мы наблюдаем каждый день и вскоре привыкаем к ним, вскоре они теряют в наших глазах черты чуда и волшебства. Но электричество и магнетизм, с их единственной в своем роде взаимосвязью, с их явно дуалистическим характером, уникальным для природных сил, с их феноменами притяжения, отталкивания и вращения, со странными проявлениями таинственных движущих сил, стимулируют и побуждают разум к размышлению и исследованиям. Что есть электричество и что есть магнетизм? Этими вопросами мы задаемся снова и снова. Самые недюжинные умы непрерывно бьются над этой проблемой, и все же этот вопрос до сих пор не получил полного ответа. Но пусть мы не можем сегодня сказать, что собой представляют эти уникальные силы, мы все же значительно продвинулись в направлении решения проблемы. **Теперь мы уверены, что электрические и магнитные феномены — неотъемлемое свойство эфира, и, возможно, имеем основания говорить, что эффекты статического электричества — это эффекты эфира, находящегося под давлением, а эффекты динамического электричества и электромагнетизма — это эффекты эфира, пребывающего в движении. Но вопрос, что такое электричество и магнетизм, по-прежнему остается без ответа.**

Прежде всего спросим: что такое электричество и есть ли вообще такая вещь, как электричество? При истолковании электрических феноменов мы можем говорить об электричестве или об электрических условиях, о состоянии или воздействии. Говоря об электрических воздействиях, мы должны различать два из них, противоположные по характеру и нейтрализующие друг друга, поскольку наблюдения показывают, что два таких противодействующих эффекта существуют. Это неизбежно, поскольку в среде, обладающей свойствами эфира, мы никак не можем создать напряжение или вызвать перемещение или движение любого рода, не породив в окружающей среде эквивалентного и противоположного действия. Но если мы говорим об электричестве, подразумевая при этом нечто материальное, то мы должны, полагаю, отказаться

от идеи о двух электричествах, поскольку существование двух таких материальных сущностей крайне маловероятно. Ибо как же мы можем вообразить две вещи, эквивалентные по количественным показателям, одинаковые по свойствам, но при этом противоположного характера, причем чтобы обе были неразрывно связаны с материей и обе притягивали и полностью нейтрализовали друг друга? Такое допущение, хотя оно и навязывается наблюдением за многими феноменами, хотя оно и наиболее удобно для их объяснения, мало чем оправдано. Если уж *существует* такая вещь, как электричество, то тогда может существовать лишь *одна* такая вещь, и еще, возможно, ее избыток и недостаток; но вероятнее, что именно ее состояние определяет негативный и позитивный характер. В конце концов, старая теория Франклина, хотя и не всеобъемлюща в некоторых отношениях, с определенной точки зрения наиболее правдоподобна. И все же, несмотря на это, теория о двух электричествах является общепринятой, поскольку, по-видимому, объясняет электрические феномены наиболее удовлетворительно. Но теория, которая лучше других объясняет факты, *не обязательно* является истинной. Искушенные умы изобретут любые теории, подходящие под сделанные наблюдения, и почти каждый независимый мыслитель имеет собственную точку зрения по любому вопросу.

Не с целью навязать свое мнение, но из желания лучше ознакомить вас с некоторыми полученными результатами, которые я сегодня опишу; из желания показать вам пути, которыми я следовал, и отправные точки, от которых отталкивался, решаясь я выразить в нескольких словах взгляды и убеждения, которые привели меня к этим результатам.

Я придерживаюсь представления о том, что существует явление, которое мы привыкли называть электричеством. Вопрос таков: что это за явление? Или что именно из всего множества явлений, о существовании которых мы осведомлены, имеет наиболее веские основания называться электричеством? Мы знаем, что оно ведет себя как неожи-

маемая жидкость; что в природе должно присутствовать неизменное его количество; что оно не может быть ни сотворено, ни уничтожено; и, что более важно, электромагнитная теория света и все наблюдаемые факты учат нас тому, что феномены электричества и эфира идентичны. Немедленно поэтому возникает мысль, что электричество можно называть эфиром. На самом деле, в некотором смысле подобный взгляд был выдвинут доктором Лоджем. Его интереснейшую работу читали все, и многих убедили его аргументы. Выдающийся талант автора и занимательность самого предмета очаровывают читателя. Но когда первое впечатление бледнеет, то читатель осознает, что ему приходится иметь дело лишь с изобретательными объяснениями. Я должен признаться, что не могу поверить в существование двух электричеств, а еще меньше — в двойственную сущность эфира. Загадочное поведение эфира как твердого вещества на пути световых и тепловых волн и как жидкости при движении сквозь него твердых тел самым естественным и удовлетворительным образом объясняется допущением, что он пребывает в движении, как предположил сэр Уильям Томсон. Но если оставить это допущение в стороне, то не существует ничего, что могло бы дать нам возможность заключить с уверенностью, что в то время как жидкость неспособна передавать поперечные колебания с частотой в несколько сотен или тысяч раз в секунду, она так же неспособна передавать такие колебания с диапазоном в сотни миллионов раз в секунду. Также никто не может доказать, что существуют поперечные эфирные волны, испускаемые генератором переменного тока, дающие небольшое количество колебаний в секунду: по отношению к таким медленным возмущениям эфир, находясь в покое, может вести себя как настоящая жидкость.

Возвращаясь к теме и не выпуская из виду, что существование двух электричеств, мягко говоря, крайне маловероятно, мы должны помнить, что у нас нет никаких свидетельств существования электричества, да мы и не можем надеяться их получить, если нет в наличии плотной мате-

рии. Электричество, следовательно, не может называться эфиром в широком смысле слова; но ничто, кажется, не мешает нам называть **электричество эфиром, связанным с материей или связанным с эфиром**, или, другими словами, говорить, что так называемый статический заряд молекулы есть эфир, каким-то образом связанный с этой молекулой. Приняв такую точку зрения на этот предмет, мы имели бы право сказать, что электричество задействовано во всех молекулярных процессах.

В настоящее время о том, что представляет собой эфир, окружающий крошечные молекулы, и чем он конкретно отличается от эфира вообще, можно лишь строить предположения. Он не может отличаться по плотности, поскольку эфир несжимаем; тогда он должен находиться под каким-то напряжением или пребывать в движении, и последнее наиболее вероятно. Чтобы понять его функции, было бы необходимо иметь точные понятия о физической структуре материи, о которой мы, конечно, можем пока составить только мысленное представление.

Но из всех взглядов на природу тот единственный, который допускает существование лишь одной материи и одной энергии и совершенного единообразия во всем и вся, является наиболее научным и, по всей вероятности, наиболее истинным. Бесконечно малый мир с его молекулами и их атомами, вращающимися и движущимися по орбитам таким же образом, как и небесные тела, несущими с собой и, возможно, вращающимися вместе с собой эфир, а другими словами, несущими с собой электростатические заряды, кажется мне наиболее вероятным взглядом, который правдоподобно объясняет все наблюдаемые феномены. Вращение молекул и их эфира создает эфирные напряжения или электростатические деформации, уравнивание эфирных напряжений создает эфирные движения или электрические токи, а орбитальные движения создают эффекты электромагнетизма и постоянного магнетизма.

Около пятнадцати лет назад профессор Роуленд продемонстрировал очень интересный и важный факт,

а именно — **что движущийся статический заряд создает эффекты электрического тока.** Оставляя в стороне рассмотрение точной природы этого механизма, который вызывает притяжение и отталкивание токов, и представив себе электростатически заряженные молекулы в движении, мы с помощью этого факта получаем ясное представление о магнетизме. Мы можем представить себе линии или трубы силы физически существующими, сформированными из рядов направленно движущихся молекул; мы видим, что эти линии должны быть замкнутыми, что они должны стремиться сокращаться и растягиваться и т.д. Это также дает разумное объяснение самому загадочному феномену из всех существующих — **постоянному магнетизму** и в целом обладает всеми красотами амперовской теории, не страдая в то же время важнейшим дефектом последней, а именно — **допущением о существовании молекулярных токов.** Не распространяясь далее об этом предмете, скажу лишь, что я смотрю на все электростатические, магнитные и связанные с током явления как на вызванные электростатическими молекулярными силами.

Предыдущие замечания я счел необходимыми для полного понимания предмета, каким он мне представляется.

Из всех этих феноменов наиболее важными для изучения являются феномены токов — по причине уже обширного и постоянно растущего их применения в промышленных целях. Прошло уже столетие с тех пор, как был создан первый практический источник тока, и с тех самых пор феномены, которые сопровождают движение токов, тщательно изучаются. Благодаря неустанным усилиям деятелей науки были открыты простые законы, ими управляемые. Но эти законы, оказывается, действуют только тогда, когда токи носят постоянный характер. Когда же токи быстро варьируются по силе, возникают совершенно иные феномены, зачастую неожиданные, и вступают в силу иные законы, которые даже сейчас еще не определены с такой полнотой, как хотелось бы, хотя благодаря трудам ученых, в основном англичан, мы получили достаточно знаний в этой области, чтобы иметь возможность

трактовать простые случаи, ныне встречающиеся в повседневной практике.

Феномены, характерные для переменного характера токов, значительно усиливается, когда увеличивается скорость изменений, поэтому изучение этих токов существенно облегчается применением должным образом сконструированных аппаратов. Имея в виду эту и другие цели, я сконструировал **машины переменного тока, способные выдавать более двух миллионов обращений тока в минуту**. В основном благодаря этому обстоятельству я могу представить вашему вниманию некоторые достигнутые на данный момент результаты, которые, как я надеюсь, окажутся еще одним шагом вперед, учитывая их прямое отношение к одной из наиболее важных проблем, а именно — **производству практического и эффективного источника света**.

Изучение таких быстропеременных токов — интереснейшее занятие. Почти каждый эксперимент открывает нечто новое. Разумеется, некоторые результаты можно предсказать заранее, зато многие другие оказываются неожиданными. Экспериментатор имеет возможность сделать массу интересных наблюдений. Например, возьмем кусок железа и поднесем его к магниту. Начиная с низкой частоты колебаний и поднимая ее выше и выше, мы ощущаем, что импульсы следуют друг за другом все быстрее и быстрее, становятся все слабее и слабее и, наконец, исчезают. После этого мы наблюдаем постоянное притяжение; это притяжение, конечно, на самом деле постоянным не является — оно только кажется нам таким, ибо наше осязание несовершенно.

Далее, мы можем зажечь дугу между электродами и наблюдать по мере увеличения частоты, как звук, сопровождающий переменные электрические дуги, становится все пронзительнее, потом постепенно слабеет и, наконец, замирает. Вибрации воздуха, разумеется, продолжаются, но они слишком слабы для восприятия, ибо нас подводит [несовершенный] слух.

Мы наблюдаем мелкие физиологические эффекты, быстрый нагрев железных сердечников и проводников,

любопытные индуктивные воздействия, интересные феномены конденсатора и еще более интересные световые явления при применении индукционной катушки высокого напряжения. Все эти эксперименты и наблюдения представляют величайший интерес для исследователя, но их описание уело бы меня слишком далеко от главной темы. Частично по этой причине, а частично по причине гораздо большей важности самой темы, я ограничусь описанием **световых эффектов, производимых переменными токами.**

В проводимых с этой целью экспериментах используется индукционная катушка или эквивалентный ей аппарат для преобразования токов сравнительно низкого напряжения в токи высокого напряжения.

Если вас по-настоящему заинтересуют результаты, я опишу вам подходы к экспериментальному изучению этого предмета; если вы убедитесь в истинности выдвинутых мною аргументов, то вашей целью станет производство высоких частот и высоких напряжений, иными словами, мощных электростатических эффектов. На этом пути вы столкнетесь со многими трудностями, и если их полностью одолеть, то это позволит добиться поистине удивительных результатов.

Вначале нас ожидает трудность, связанная с получением желаемых частот посредством механического аппарата, а если стараться получить их иным путем, то возникают препятствия другого рода. Далее, окажется, что трудно обеспечить необходимую изоляцию, не увеличивая существенно размеры аппарата, ибо требуемые потенциалы высоки, а благодаря быстроте колебаний изоляция представляет особые трудности. Так, например, в присутствии газа разряд может пробиться, действуя с помощью молекулярной бомбардировки газа и сопутствующего нагрева, через целый дюйм лучшего плотного изолирующего материала, такого как стекло, твердая резина, фарфор, сургуч и т.д., на самом деле, сквозь любое известное изолирующее вещество. Главное требование

к изоляции аппарата таким образом — исключить всякое присутствие газообразных веществ.

В целом мой опыт показывает, что тела, обладающие наибольшей специфической диэлектрической проницаемостью, такие как стекло, дают довольно посредственную изоляцию по сравнению с теми, которые, будучи хорошими изоляторами, обладают гораздо меньшей диэлектрической проницаемостью, как, например, масла: диэлектрические потери в первых, несомненно, больше. Трудности с изоляцией, конечно, существуют только тогда, когда потенциалы чрезвычайно высоки, поскольку при потенциалах в несколько тысяч вольт нет особых затруднений в передаче тока на значительные расстояния от машины, выдающей, скажем, 20000 колебаний в секунду. Такое число колебаний, однако, чересчур мало для многих практических целей. К счастью, эти сложности с изоляцией не являются фатальным недостатком; в основном они влияют на размеры аппарата, поскольку при использовании крайне высоких потенциалов дающие свет устройства располагались бы недалеко от аппаратов, а часто и в непосредственной близости от них. Поскольку воздушная бомбардировка изолированного провода зависит от действия конденсатора, потери можно уменьшить до незначительных, используя очень тонкие провода с толстой изоляцией.

Еще с одной трудностью предстоит столкнуться в виде емкости и самоиндукции, которыми по необходимости обладает катушка. Если катушка большая, то есть если она содержит значительный [по длине] отрезок провода, она, как правило, не годится для крайне высоких частот. Если она маленькая, то ее легко приспособить к таким частотам, но потенциал тогда может оказаться не настолько высоким, как хотелось бы. Хороший изолятор, и предпочтительно такой, который обладает малой специфической диэлектрической проницаемостью, обеспечил бы нам двоякое преимущество. Во-первых, он дал бы нам возможность сконструировать очень маленькую катушку, способную выдерживать огромную разность потенциалов; а во-вторых, такая маленькая катушка по причине сво-

их меньших емкости и самоиндукции была бы способна к более быстрым и интенсивным колебаниям. Поэтому проблему создания катушки или индукционного аппарата любого рода, обладающего требуемыми качествами, я рассматриваю как весьма немаловажную, и она занимает меня уже значительное время.

Исследователь, желающий воспроизвести эксперименты с генератором переменного тока, способным вырабатывать токи желаемой частоты, и индукционной катушкой, которые я буду описывать, поступит правильно, если вынет первичную обмотку и установит вторичную таким образом, чтобы можно было смотреть сквозь трубку, на которую накручена вторичная обмотка. Тогда он получит возможность наблюдать потоки, движущиеся от первичной обмотки к изолирующей трубке, и по их интенсивности сможет определить, до какого предела можно усиливать напряжение в катушке. Не приняв этой меры предосторожности, можно почти наверняка повредить изоляцию. Такое расположение позволяет, кстати, легко заменять первичные обмотки, что в таких экспериментах весьма желательно. Выбор типа машины, наилучшим образом подходящей для такой цели, должен оставаться за экспериментатором. Здесь показаны три различных типа машин, которые, помимо прочих, я использовал в собственных экспериментах.

Рис. 1 представляет машину, которой я пользуюсь в экспериментах, представляемых в этом институте. Стационарный магнит представляет собой кольцо из кованого железа с 384 полюсными наконечниками. Якорь состоит из стального диска, к которому прикреплен тонкий, тщательно обработанный сваркой обод из кованого железа. На обод намотаны несколько слоев качественной, хорошо отожженной железной проволоки, которую при намотке пропускают через шеллак. Провода якоря намотаны вокруг латунных штырьков, обернутых шелковой нитью. Диаметр якорного провода в том типе машины не должен превышать $\frac{1}{8}$ от толщины полюсных наконечников, иначе локальное воздействие будет значительным.

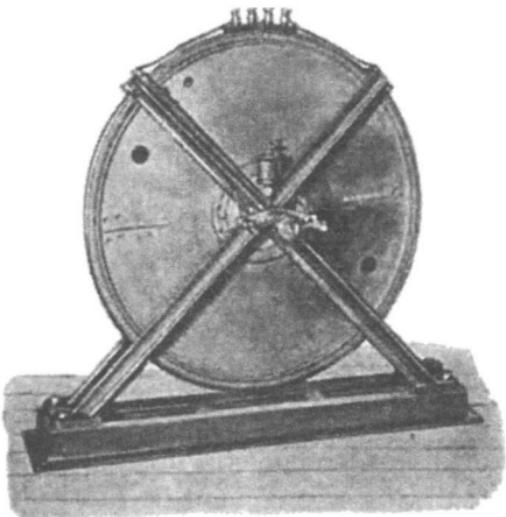


Рис. 1. Генератор переменного тока высокой частоты с барабанным якорем

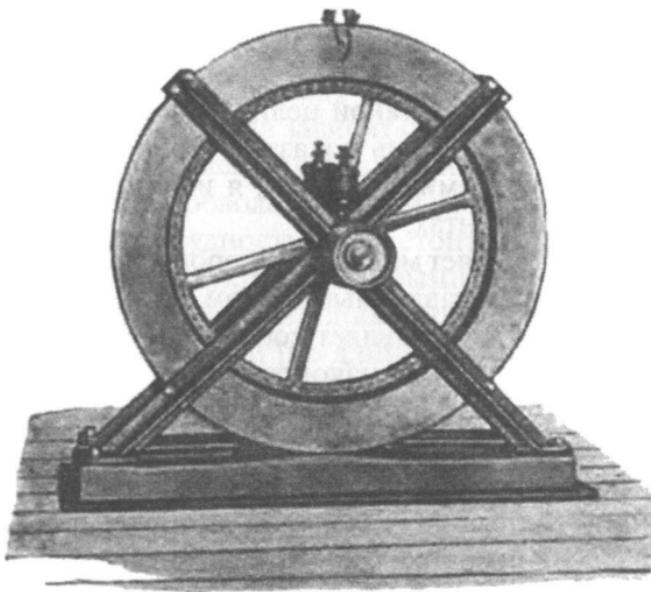


Рис. 2. Генератор переменного тока высокой частоты с вращающимся дисковым якорем

Рис. 2 представляет большую по размерам машину другого типа. Возбуждающий магнит этого аппарата состоит из двух одинаковых частей, каждая из которых либо замыкает возбуждающую обмотку, либо намотана независимо. Каждая часть имеет 480 полюсных наконечников, причем наконечники одной из них расположены напротив наконечников другой. Якорь состоит из колеса из твердой бронзы, несущего проводники, которые врачаются между наконечниками магнита. Для намотки проводников якоря я нашел наиболее удобным следующий способ. Я изготовил кольцо из твердой бронзы нужного размера. Это кольцо и обод колеса снабжены необходимым числом штырьков, и оба они закреплены на пластине. После того как намотаны проводники якоря, штырьки срезаются, и концы проводников закрепляются с помощью двух колец, которые прикручены к бронзовому кольцу и ободу колеса соответственно. Проводники в машине такого типа должны быть из листовой меди, толщина которой, разумеется, зависит от толщины полюсных наконечников, или можно еще использовать скрученную тонкую проволоку.

Рис. 3 представляет машину поменьше, во многих отношениях сходную с первой, только здесь проводники якоря и возбуждающая обмотка закреплены неподвижно и вращается лишь блок из кованого железа.

Дальнейшее пояснение деталей этих машин лишь бесполезно удлинило бы описание. Кроме того, они были несколько более подробно описаны в номере «The Electrical Engineer» от 18 марта 1891 года.

Однако я считаю, что нелишне обратить внимание исследователя на два момента, значение которых, хотя оно и самоочевидно, вполне можно недооценить, а именно — локальное воздействие проводников, которого следует тщательным образом избегать, и зазор, который должен быть небольшим. Могу добавить, что ввиду желательности использования очень высоких окружных скоростей якорь должен быть очень большого диаметра, чтобы избежать ненужно высоких скоростей приводного ремня. Из нескольких типов сконструированных мною машин такого

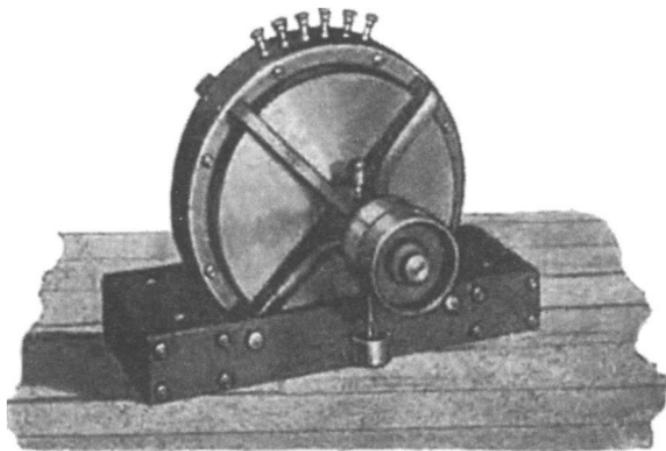


Рис. 3. Генератор переменного тока высокой частоты
со стационарным дисковым якорем
и стационарной катушкой возбуждения

рода та, что изображена на рис. 1, причинила мне меньше всего хлопот при сборке, так же как и в эксплуатации, и в целом проявила себя как хорошая экспериментальная машина.

При работе с индукционной катушкой, дающей переменные токи очень высокой частоты, среди первых отмеченных световых феноменов были, естественно, те, которые вызваны высоковольтными разрядами. По мере того как число колебаний в секунду увеличивается или при очень высокой частоте ток в первичной обмотке возрастает, внешние проявления разряда постепенно изменяются. Было бы затруднительно описать [все] возникающие мелкие изменения и условия, которые их вызывают, но можно отметить пять различных форм разряда.

Сначала наблюдается слабый чувствительный разряд в форме тонкой слaboокрашенной нити. Она всегда появляется, когда при большом числе колебаний в секунду сила тока в первичной обмотке очень мала. Несмотря на чрезвычайно слабый ток, число колебаний велико, и поэтому разность потенциалов на клеммах вторичной обмотки значительна, так что дуга устанавливается на большом

расстоянии. Но количество «электричества», участвующего в процессе, незначительно — едва достаточно для поддержания тонкой нитеподобной дуги. Она чрезвычайно чувствительна, и чувствительность эту можно довести до такой степени, что на нее будет влиять даже дыхание вблизи катушки, и, если только ее не защитить полностью от потоков воздуха, она будет постоянно извиваться. Тем не менее в этой форме дуга весьма устойчива, и когда клеммы сближаются до, скажем, одной трети разрядного промежутка, ее можно сдувать лишь при значительном усилии. Эта исключительная устойчивость дуги, если она коротка, — результат ее чрезвычайной тонкости: потоку воздуха подставлена очень маленькая поверхность. Чувствительность дуги, когда она очень длинная, возможно, происходит от движения частиц пыли, взвешенных в воздухе.

Когда сила тока в первичной обмотке возрастает, разряд становится шире и сильнее, и эффект емкости катушки приобретает видимое выражение, пока наконец при должных условиях не образуется **белая пламеная дуга, часто толщиною в палец и тянущаяся через всю катушку**. Она выделяет большое количество тепла, и еще одна ее характерная черта — отсутствие пронзительного звука, сопровождающего менее мощные разряды. Получить удар током от катушки при таких условиях весьма нежелательно, хотя в других условиях, даже при гораздо более высоком потенциале, удар тока от катушки может обойтись без последствий. Чтобы добиться появления такого разряда, число колебаний в секунду не должно быть чрезмерным для [конкретной] используемой катушки; и, вообще говоря, следует соблюдать определенные соотношения между емкостью, самоиндукцией и частотой.

Важность этих элементов в цепи переменного тока теперь хорошо известна, и при обычных условиях применимы обычные правила. Но в индукционной катушке преобладают исключительные условия. Во-первых, самоиндукция не имеет особого значения, пока не установилась дуга — тогда-то она заявляет свои права. Но, возможно, это никогда не бывает заметно столь отчетливо, как

в обычных цепях переменного тока, поскольку емкость распределена по всей катушке, а также в силу того факта, что катушка обычно разряжается при очень большом сопротивлении, поэтому сила тока чрезвычайно мала. Во-вторых, емкость постоянно возрастает по мере увеличения потенциала, как следствие поглощения, которое проявляется довольно значительно. Благодаря этому не существует никакой критической взаимосвязи между этими свойствами, и обычные правила здесь, похоже, неприменимы. По мере того как растет потенциал — как следствие либо увеличивающейся частоты, либо растущей силы тока в первичной обмотке, количество запасаемой энергии становится все больше, и емкость приобретает все большее значение. До определенного момента емкость приносит полезные плоды, но когда этот момент пройден, становится огромным недостатком. Это следует из того факта, что каждая обмотка дает наилучший результат при заданной частоте и заданном первичном токе. Очень большая катушка, питаемая токами очень высокой частоты, может не дать искру и на $\frac{1}{8}$ дюйма. Добавив емкость на клеммах, условия можно улучшить, но что действительно требуется катушке — это более низкая частота.

Когда появляется пламенный разряд, то явно возникают такие условия, при которых по цепи идет наиболее сильный ток. Этих условий можно добиться, варьируя частоту в широких пределах, но наивысшая частота, при которой еще может возникать пылающая дуга, определяет при заданном первичном токе максимальный разрядный промежуток катушки. При пламенном разряде эффект *e'clat* неразличим; скорость, с какой запасается энергия, тогда равняется скорости, с которой она может быть разряжена через цепь. Этот тип разряда — самое жесткое испытание на прочность для катушки: если происходит пробой, то он бывает такого же рода, как в перегруженной лейденской банке. Чтобы дать приблизительное представление об этом, я бы сказал, что при использовании обычной катушки с сопротивлением порядка 10000 Ом наиболее мощная дуга возникнет при 12000 колебаний в секунду.

Когда частота выходит за эти пределы, потенциал, разумеется, возрастает, но разрядный промежуток тем не менее сокращается, хотя это и может показаться парадоксальным. По мере повышения потенциала катушка все более и более обретает свойства статического генератора, и наконец можно наблюдать прекрасный феномен струйного разряда [или стримера], который возникает по всей длине катушки. На этой стадии из всех выступов и наконечников начинают свободно струиться разрядные потоки. Прохождение этих потоков также будет в изобилии наблюдаться в пространстве между первичной обмоткой и изолирующей трубкой. Они всегда возникают, когда потенциал крайне высок, даже если при этом частота мала и даже если первичная обмотка покрыта целым дюймом воска, твердой резины, стекла или любого другого изолирующего вещества. Это сильно ограничивает выходную мощность, но позже я покажу, как мне до известной степени удалось преодолеть этот недостаток обычной катушки.

Помимо потенциала, интенсивность потоков зависит от частоты, но если катушка достаточно велика, они все равно возникают, несмотря на то, насколько низка используемая частота. Например, при очень большой катушке сопротивлением в 67000 Ом, собранной мною некоторое время назад, они появляются при частоте всего в 100 колебаний в секунду и ниже, при толщине изоляции из эbonита в $\frac{3}{4}$ дюйма. Когда они очень сильны, то издают звук, похожий на тот, который производят при зарядке машина Хольтца, но гораздо мощнее, и испускают сильный запах озона. Чем ниже частота, тем больше вероятность, что они внезапно повредят катушку. При чрезвычайно высоких частотах они способны проходить свободно, не производя никакого особого эффекта, кроме медленного и равномерного нагрева изоляции.

Существование этих потоков демонстрирует важность создания дорогостоящей катушки, которая позволяет смотреть сквозь трубку, окружающую первичную обмотку, причем последнюю должно быть легко заменить; ина-

че пространство между первичной и вторичной обмотками должно быть полностью заполнено изолирующим материалом, чтобы совершенно исключить присутствие воздуха. Несоблюдение этого простого правила при изготовлении промышленных катушек является причиной повреждения многих дорогих аппаратов.

На той стадии, когда возникает струйный разряд, или при несколько более высоких частотах можно, достаточно приблизившись к клемме и как следует отрегулировав эффект емкости, вызвать **настоящий фонтан маленьких серебристо-белых искорок или пучок крайне тонких серебряных нитей среди мощного кистевого разряда**. Каждая искра или нить, по-видимому, соответствует одному колебанию. Это, наверное, самый красивый из разрядов, если он вызван при надлежащих условиях, и когда на него направляется сильная струя воздуха, он представляет собой уникальное зрелище. Фонтан искр при соприкосновении с телом причиняет некоторые болезненные ощущения, в то время как если разряд просто струится, то, скорее всего, вы ничего не почувствуете, если будете держать в руках проводники большого размера, чтобы защитить кожу от получения небольших ожогов.

Если частоту увеличить еще больше, то катушка отказывается выдавать какие-либо искры, если только не на сравнительно маленьких расстояниях, и тогда наблюдается пятая типичная форма разряда. Тенденция к истечению и рассеиванию тогда столь сильна, что когда кистевой разряд образуется на одной из клемм, то искрения не происходит, даже если, как я неоднократно пробовал, держать руку или любой другой проводящий предмет внутри потока. Но что еще более необычно — это что световой поток совсем не просто отклонить в сторону при приближении проводника.

На этой стадии потоки с видимой легкостью проходят сквозь значительный по толщине слой изолятора, и тогда особенно интересно изучать их поведение. Для этой цели удобно соединить с клеммами катушки два металлических шара, которые могут быть размещены на любом желаемом

расстоянии. Шары предпочтительнее пластин, так как разряд тогда проще рассмотреть. При введении между шарами диэлектриков можно наблюдать красивейшие разрядные феномены. Если шары находятся рядом и между ними играет искра, то при введении между шарами тонкой пластиинки из эбонита искра моментально гаснет; и разряд превращается в интенсивно светящийся круг нескольких дюймов в диаметре, если шары достаточно для этого велики. Прохождение разряда нагревает, а через некоторое время и размягчает резину настолько, что две пластины могут таким образом склеиться между собой. Если шары расположить настолько далеко друг от друга, что искра не проскакивает, и даже если это расстояние гораздо больше разрядного промежутка, то введение толстой пластины из стекла сразу же возбуждает прохождение разряда от шаров к стеклу в форме световых потоков. Выглядит это, как будто потоки проходят сквозь диэлектрик. На самом деле это не так, поскольку эти потоки обязаны своим существованием молекулам воздуха, которые подвергаются сильному возбуждению в пространстве между противоположно заряженными поверхностями шаров. Когда нет другого диэлектрика, кроме воздуха, бомбардировка продолжается, но она слишком слаба, чтобы ее можно было увидеть. При введении диэлектрика индуктивный эффект многократно усиливается, кроме того, отброшенные молекулы воздуха сталкиваются с препятствием, и бомбардировка становится настолько интенсивной, что потоки начинают светиться. Если бы какими-нибудь механическими средствами мы могли добиться столь яростного возбуждения молекул, то сумели бы вызвать тот же феномен. Струя воздуха, вырывающаяся сквозь маленькую дырочку под огромным давлением и ударяющаяся об изолирующее вещество, могла бы светиться в темноте, и, вероятно, так можно было бы вызвать фосфоресценцию стекла или другого изолятора.

Чем больше специфическая диэлектрическая проницаемость введенного диэлектрика, тем больше мощь произведенного эффекта. Благодаря этому потоки обнаруживаются при чрезвычайно высоких потенциалах, даже если

стекло будет толщиной от полудюйма до двух дюймов. Но помимо нагрева, происходящего в результате бомбардировки, несомненно, некоторый нагрев происходит и в самом диэлектрике, будучи явно интенсивнее при использовании стекла, чем эbonита. Я отношу это на счет большей диэлектрической проницаемости стекла, вследствие которой при той же разности потенциалов оно вбирает больше энергии, чем резина. Это так бывает, если соединить с батареей медный и латунный провода одинаковых размеров. Медный провод, хотя и является более совершенным проводником, нагреется больше, поскольку через него идет больший ток. Таким образом, то, что обычно рассматривается как достоинство стекла, здесь является недостатком. Стекло, как правило, не выдерживает раньше, чем эbonит; когда оно нагревается до определенной температуры, разряд внезапно пробивает его в одной точке, принимая затем обычную форму дуги.

Нагревательный эффект, вызываемый бомбардировкой диэлектрика, конечно, уменьшался бы при увеличении давления воздуха и при огромных давлениях был бы несуществен, если только не увеличивать соответственно и частоту.

В этих экспериментах часто можно заметить, что, когда шары находятся друг от друга дальше, чем на расстоянии разрядного промежутка, приближение, например, стеклянной пластины может заставить проскочить между шарами искру. Это случается, когда емкость шаров несколько ниже критического значения, дающего самую большую разность потенциалов на клеммах катушки. При приближении диэлектрика диэлектрическая проницаемость пространства между шарами возрастает, производя тот же эффект, как если бы емкость шаров увеличилась. Потенциал на клеммах может тогда возрасти настолько, что воздушное пространство пробивается. Этот эксперимент лучше всего проводить с плотным стеклом или слюдой.

Еще одно интересное наблюдение состоит в том, что пластина из изолирующего материала, когда сквозь нее проходит разряд, сильно притягивается одним из шаров,

а именно ближайшим из них. Это, очевидно, результат меньшего механического воздействия бомбардировки с этой стороны, а возможно, также и большей электризации.

Из поведения диэлектриков в этих экспериментах мы можем сделать вывод, что наилучшим изолятором при таких переменных токах высокой частоты был бы тот изолятор, который обладает наименьшей диэлектрической проницаемостью и в то же время способен противостоять наибольшей разности потенциалов. Таким образом, вырисовываются два диаметрально противоположных способа обеспечения требуемой изоляции, а именно — использование либо совершенного вакуума, либо газа под большим давлением, но предпочтительнее первое. К несчастью, ни один из этих двух способов не так-то легко осуществить на практике.

Особенно интересно обратить внимание на поведение в таких экспериментах чрезвычайно высокого вакуума. Если экспериментальную трубку, снабженную внешними электродами и с максимально откачанным воздухом, соединить с клеммами катушки, то электроды трубы мгновенно нагреются до высокой температуры и стекло на обоих ее концах начнет ярко фосфоресцировать, но середина при этом будет сравнительно темной и на некоторое время останется холодной.

Когда частота настолько высока, что наблюдается разряд, показанный на рис. 8, в катушке, несомненно, происходит значительная утечка энергии. Тем не менее с ней можно работать долгое время, поскольку нагрев происходит постепенно.

Несмотря на то что разность потенциалов может быть огромной, когда такой разряд проходит сквозь человеческое тело, почти ничего не чувствуется, если только защитить руки. Это до некоторой степени является следствием более высокой частоты, но в основном результатом того, что, когда разность потенциалов достигает огромного значения, наружу поступает меньшее количество энергии. Это происходит благодаря тому обстоятельству, что

с подъемом потенциала поглощенная катушкой энергия возрастает пропорционально квадрату потенциала. До определенного момента количество поступающей наружу энергии растет параллельно росту потенциала, затем начинает быстро уменьшаться. Так, при применении обычной индукционной катушки высокого напряжения существует любопытный парадокс: в то время как при заданной силе тока в первичной обмотке удар может нести роковые последствия, при во много раз большей силе тока удар может быть совершенно безвредным, даже если частота будет той же. При высоких частотах и крайне высоких потенциалах, когда клеммы не соединены с предметами определенного размера, практически вся энергия, поступающая в первичную обмотку, поглощается катушкой. Нет ни пробоя, ни местных повреждений, но весь материал катушки, изолирующий и проводящий, равномерно нагревается.

Чтобы избежать недопонимания в отношении физиологического воздействия переменных токов очень высокой частоты, думаю, необходимо сказать следующее: в то время как непреложным фактом является их относительная безобидность по сравнению с токами низкой частоты, все же не следует думать, что они совершенно безвредны. То, что было только что сказано, относится лишь к токам, получаемым от обычной индукционной катушки высокого напряжения, сила тока в которой по необходимости очень мала. Если получать их непосредственно от генератора или от вторичной обмотки низкого сопротивления, то они оказывают более или менее сильное воздействие и могут нанести серьезные травмы, особенно если используются в соединении с конденсаторами.

Струйный разряд индукционной катушки высокого напряжения во многих отношениях отличается от такого же разряда, полученного от мощного статического генератора. Он не обладает ни сиреневым цветом положительного разряда, ни яркостью отрицательного, но представляет собой нечто среднее, будучи, разумеется, попеременно положительным и отрицательным. Но поскольку поток мощнее, когда клемма или наконечник заряжены полу-

жительно, чем при отрицательном заряде, то в результате вершина кисти больше напоминает положительный, а ее основание — отрицательный разряд. Когда разряд очень мощный, то в темноте основание может выглядеть почти белым. Движение воздуха, образуемое исходящими потоками, хотя и может быть очень сильным — часто до такой степени, что ощущается на значительном расстоянии от катушки, тем не менее, учитывая количественный показатель разряда, будет слабее, чем воздушный поток, порождаемый положительным разрядом статического генератора, и действует на пламя разряда гораздо менее интенсивно. Из природы этого феномена мы можем сделать вывод, что чем выше частота, тем меньше, разумеется, должно быть движение воздуха, вызванное потоками, и при достаточно высоких частотах и нормальном атмосферном давлении вообще никакого движения воздуха не будет происходить. При частотах, получаемых при посредстве генератора, механическое воздействие вполне достаточно для того, чтобы вращать со значительной скоростью большие цевочные колеса, что в темноте представляет красивейшее зрелище благодаря обилию потоков.

В целом большинство экспериментов, обычно проводимых со статической машиной, можно проводить и с индукционной катушкой, питающейся переменными токами очень высокой частоты. Производимые эффекты, однако, гораздо более поразительны, поскольку они несравнимо мощнее. Когда небольшой отрезок обычного изолированного хлопком провода прикреплен к клемме катушки, то потоки, струящиеся из всех точек провода, могут быть настолько сильны, что создают значительный световой эффект. Когда потенциалы и частоты очень высоки, провод, изолированный гуттаперчей или резиной и прикрепленный к одной из клемм, кажется покрытым светящейся пленкой. Очень тонкий оголенный провод, если его прикрепить к клемме, испускает мощные потоки и непрерывно вибрирует или вращается по кругу, производя единственный в своем роде эффект. Некоторые из этих

экспериментов описаны мною в журнале «The Electrical World» от 21 февраля 1891 года.

Еще одна характерная черта высокочастотного разряда индукционной катушки — это его совершенно различное поведение по отношению к заостренным и скругленным поверхностям.

Если толстый провод с шариком на одном конце и острым наконечником на другом соединить с положительной клеммой статической машины, практически весь заряд будет уходить через острие по причине гораздо большего напряжения, зависящего от радиуса кривизны. Но если такой провод соединить с клеммой индукционной катушки, то можно заметить, что при очень высоких частотах потоки исходят из шарика почти в том же количестве, что и из острия.

Вряд ли можно себе представить, что мы сумели бы воспроизвести точно такие же условия при использовании статической машины, по той простой причине, что напряжение возрастает пропорционально квадрату плотности [заряда], которая, в свою очередь, пропорциональна радиусу кривизны. Отсюда следует, что при стабильном потенциале требовался бы огромный заряд, чтобы заставить потоки струиться из полированного шарика, когда тот соединен с острым наконечником. Но с индукционной катушкой, разряд которой вибрирует с огромной частотой, дела обстоят по-другому: здесь нам приходится столкнуться с двумя разными тенденциями. Во-первых, это тенденция к утечке, которая присутствует в состоянии покоя и зависит от радиуса кривизны. Во-вторых, это тенденция к рассеянию в окружающем воздухе благодаря действию конденсатора, которое зависит от площади его поверхности. Когда одна из этих тенденций действует максимально, вторая пребывает на минимуме. На остром наконечнике световые потоки в основном обязаны своим существованием молекулам воздуха, вступающим в физический контакт с острием: они притягиваются и отталкиваются, заряжаются и разряжаются и, поскольку их атомные заряды таким образом испытывают возмущения, вибриру-

ют и испускают световые волны. На шарике, напротив, этот эффект, конечно же, происходит вследствие индукции, и молекулы воздуха совсем необязательно должны вступать в контакт с шариком, хотя они, несомненно, так и делают. Чтобы убедиться в этом, нам нужно всего лишь усилить действие конденсатора, к примеру, обернув шарик, находящийся на некотором расстоянии, лучшим проводником, чем окружающая среда, причем проводник должен быть, разумеется, изолирован, или окружив его лучшим диэлектриком, и поднести к нему изолированный проводник. В обоих случаях истечение потоков будет более обильным. Также, чем больше размер шарика при заданной частоте или чем выше частота, тем больше у шарика будет преимуществ по сравнению с острием. Но поскольку требуется определенная интенсивность воздействия, чтобы сделать потоки видимыми, очевидно, что для описанного эксперимента не следует брать шар слишком большого размера.

Вследствие этой двойкой тенденции можно добиться с помощью заостренных наконечников того же эффекта, который вызван емкостью. Так, например, если прикрепить к одной из клемм катушки небольшой отрезок витого провода, имеющего много окончаний и чрезвычайно облегчающего истечение потоков, то потенциал катушки можно увеличить до того же значения, как при прикреплении к клемме полированного шарика с площадью поверхности во много раз большей, чем площадь поверхности этого провода. Интересный эксперимент, демонстрирующий эффект острия, можно провести следующим путем. Присоедините к одной из клемм катушки изолированный хлопком провод длиной около двух футов и отрегулируйте условия таким образом, чтобы потоки исходили из провода. В этом опыте предпочтительно разместить первичную обмотку так, чтобы она только наполовину находилась внутри вторичной. Теперь коснитесь свободной клеммы вторичной обмотки проводящим предметом, зажатым в руке, или соедините ее с изолированным предметом определенного размера. Таким образом потенциал на проводе невероятно возрастет.

Следствием этого будет либо возрастание, либо уменьшение потоков: если они возрастают, то взят провод слишком короткий, если уменьшаются — то слишком длинный. При регулировании длины провода найдите точку, в которой прикосновение к другой клемме вообще не будет влиять на потоки. В этом случае возрастание потенциала на проводе полностью компенсируется его падением в катушке. Можно заметить, что небольшие отрезки провода вызывают значительные различия в мощности и светимости потоков. Первичную обмотку помещают сбоку по двум причинам: во-первых, чтобы повысить потенциал на проводе, а во-вторых, чтобы увеличить его спад в катушке. Чувствительность вследствие этого возрастает.

Существует еще одна — и гораздо более поразительная — характерная особенность кистевого разряда, вызванного быстропеременными токами. Чтобы наблюдать ее, лучше всего заменить обычные клеммы катушки двумя металлическими стержнями, изолированными толстым слоем эbonита. Также рекомендуется закрыть все впадинки и трещины воском, чтобы кисть не могла сформироваться нигде, кроме как на вершинах стержней. Если условия тщательно отрегулированы (что, конечно, зависит от навыков экспериментатора), так, чтобы потенциал возрастил до огромного значения, то можно добиться **возникновения двух мощных кистевых разрядов нескольких дюймов в высоту, почти белых у основания, которые в темноте поразительно похожи на два газовых факела под давлением.** Но они не только напоминают пламя — они им и являются, поскольку эти разряды горячие. Разумеется, они не настолько горячие, как газовая горелка, но *такими бы они и были, будь частота и потенциал достаточно для этого высоки.* Тепловой эффект, вызванный при частоте, скажем, в 20000 колебаний в секунду, легко ощутим, даже если потенциал не особенно велик. Разумеется, выделяемое тепло — результат столкновений молекул воздуха со стержнями и друг с другом. Поскольку при обычном давлении средний свободный пробег чрезвычайно мал, возможно, что, несмотря на огромную начальную скорость,

сообщенную каждой молекуле при контакте со стержнем, ее продвижение — вследствие столкновений с другими молекулами — замедляется до такой степени, что она не слишком удаляется от стержня, но может последовательно ударяться о него много раз. Чем выше частота, тем меньше у молекулы возможностей отлететь прочь, и это тем более так, поскольку при данном эффекте требуется меньший потенциал. И возможно представить себе — а может быть, даже и получить — частоту, при которой о стержень будут [постоянно] ударяться одни и те же молекулы. При таких условиях обмен молекул происходит очень медленно, и выделение тепла на стержне или возле него будет весьма значительным. Но если частота будет постоянно возрастать, то вызванный нагрев станет уменьшаться по очевидным причинам. В положительном кистевом разряде статической машины обмен молекул происходит очень быстро, поток постоянно движется в одном направлении и столкновений меньше, поэтому тепловой эффект должен быть очень мал. Все, что затрудняет обмен, увеличивает местное выделение тепла. Так, если держать над стержнем катушки колбу, чтобы она окружала кисть, содержащийся в колбе воздух быстро нагреется до высокой температуры. Если держать над кистью стеклянную трубку так, чтобы восходящий поток воздуха удерживал кисть вертикально, то из конца трубки выходит обжигающее горячий воздух. Любой предмет, удерживаемый внутри кисти, конечно, быстро нагревается, и существует возможность использовать такой тепловой эффект для некоторых целей.

Размышляя об этом своеобразном эффекте горячего кистевого разряда, мы не можем не убедиться в том, что похожий процесс должен иметь место в обычном пламени, и кажется странным, что, после стольких столетий близкого знакомства с огнем, сейчас, в эру электрического освещения и отопления, мы вынуждены осознать, что с незапамятных времен, оказывается, имели в своем распоряжении «электрический свет и тепло». Также немалый интерес представляет мысль о том, что у нас есть возможный способ производства настоящего пламени иным пу-

тем, чем химический, который будет давать свет и тепло без поглощения какой-либо материи, без всякого химического процесса, и, сверх того, нам надо для этого лишь усовершенствовать методы получения огромных частот и потенциалов. Я не сомневаюсь, что если бы можно было заставить потенциал колебаться с достаточной скоростью и силой, формируемая на конце провода кисть утратила бы свои электрические характеристики и стала бы подобна пламени. Пламя должно быть следствием электростатического молекулярного воздействия.

Этот феномен теперь позволяет дать едва ли подлежащее сомнению объяснение частым происшествиям, случающимся во время бурь. Хорошо известно, что нередко предметы загораются без всякого удара молнии. Теперь мы можем понять, как это происходит. На выступающем из крыши гвозде, например, или на выступе любого рода, более или менее обладающем свойствами проводника или ставшего проводящим в результате влажности, может возникнуть мощный кистевой разряд. Если молния ударяет где-нибудь по соседству, она может заставить огромный потенциал вибрировать или колебаться с частотой, возможно, во много миллионов раз в секунду. Молекулы воздуха интенсивно притягиваются и отталкиваются, и благодаря их столкновениям образуется такой мощный тепловой эффект, что начинается пожар. Можно представить себе, что таким образом корабль в море может заняться огнем во многих местах сразу. Если мы задумаемся о том, что даже при сравнительно низких частотах, получаемых от динамо-машины, и при потенциалах не более чем в две тысячи вольт тепловые эффекты довольно значительны, то можно себе представить, насколько мощнее они должны быть при частотах и потенциалах во много раз больших, и вышеизложенное объяснение выглядит по меньшей мере весьма вероятным. Возможно, такие предположения уже высказывались, но мне неизвестно о том, чтобы на данный момент тепловые эффекты кистевого разряда, производимые быстропеременным потенциалом,

где-либо экспериментально демонстрировались, по крайней мере не в столь заметной степени.

При полном предотвращении обмена молекул воздуха местный тепловой эффект может быть настолько усилен, чтобы предмет раскалился добела. Так, например, если небольшую головку или, что предпочтительно, очень тонкую проволоку или нить накаливания поместить в колбу с неоткаченным воздухом и соединить с клеммой катушки, она может раскалиться. Этот феномен становится еще интереснее из-за быстрого кругового вращения верхушка проволоки, которое придает ей вид светящейся воронки (рис. 5), расширяющейся по мере роста потенциала. Когда потенциал невелик, конец нити может совершать хаотические движения, внезапно отклоняясь в ту или иную сторону, или описывать эллипс. Но когда потенциал очень высок, нить всегда описывает круг, и так же обычно ведет себя тонкий прямой провод, прикрепленный к клемме катушки. Эти движения, разумеется, являются следствием столкновения молекул и неравномерности в распределении потенциала, которая имеет место по причине неровности и асимметрии провода или нити. При наличии совершенно симметричного и отполированного провода такие движения, вероятно, не возникли бы. То, что это движение вряд ли происходит по другим причинам, очевидно из того факта, что оно не имеет определенного направления, а в колбе с высоким вакуумом вообще прекращается. Возможность сильно раскалить предмет в вакуумной или даже вообще не запаянной колбе, похоже, могла бы обеспечить вероятный путь для получения световых эффектов, которые при усовершенствовании методов выработки быстропеременных потенциалов можно было бы приспособить для полезных целей.

При работе с промышленной катушкой производство очень мощных кистевых эффектов сопряжено со значительными трудностями, поскольку, когда используются высокие частоты и потенциалы, даже лучшая изоляция может не выдержать. Обычно катушка достаточно хорошо изолирована, чтобы противостоять нагрузке между витками, потому что изолированные двойной шелковой пропаррафинен-

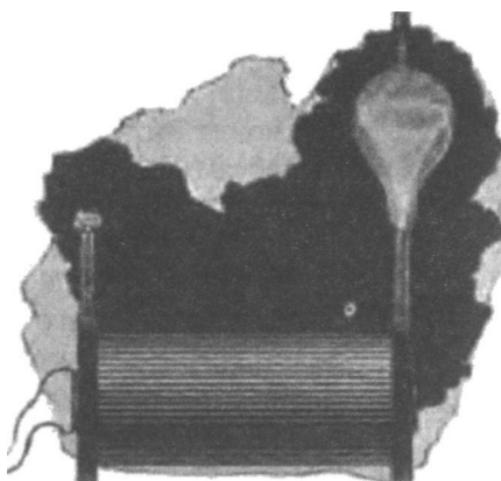


Рис. 5. Раскаленная проволока или нить, вращающаяся в колбе с неоткаченным воздухом

ной оплеткой провода выдержат нагрузку в несколько тысяч вольт. Трудность в основном состоит в предотвращении пробоя из вторичной обмотки на первичную, который сильно облегчают исходящие из последней разрядные потоки. В самой катушке, разумеется, наибольшая нагрузка приходится на промежутки между секциями, но обычно в очень больших катушках секций настолько много, что опасность внезапного пробоя не столь велика. В этом направлении обычно не встречается особых трудностей и, кроме того, возможность внутренних повреждений катушки сильно снижается тем, что самый вероятный эффект — это просто постепенный нагрев, который, если он зайдет слишком далеко, нельзя не заметить. **Так что принципиальной необходимостью является предотвращение потоков между первичной обмоткой и изолирующей трубкой — не только из учета нагрева и возможного повреждения, но также потому, что потоки могут весьма значительно уменьшить получаемую на клеммах разность потенциалов.** Возможно, несколько наводящих замечаний о том, как этого можно достигнуть, окажутся полезными для большинства таких экспериментов с обычной индукционной катушкой.

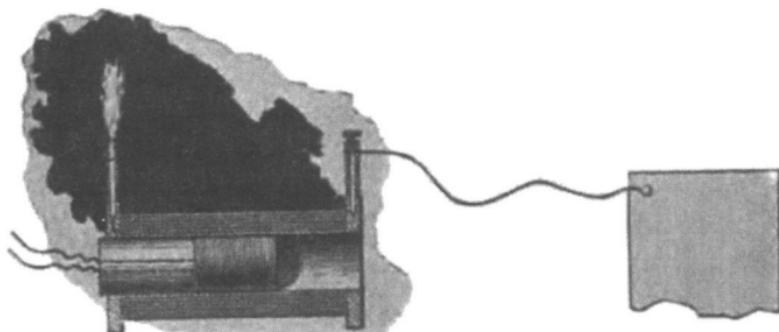


Рис. 6а. Катушка, подготовленная для получения мощных кистевых эффектов

Один из способов — намотать короткую первичную обмотку (рис. 6а) так, чтобы разность потенциалов при этой длине не была достаточно велика для обеспечения пробоя потоков сквозь изолирующую трубку. Длина первичной обмотки должна быть определена экспериментально. Оба контакта обмотки должны быть выведены на одном конце через пробку из изолирующего материала, вставленную в трубку, как показано на рисунке. При такой конструкции одна из клемм вторичной обмотки соединена с предметом, площадь поверхности которого вычислена с величайшим тщанием, чтобы обеспечить максимальный подъем потенциала. На другой клемме возникает мощный кистевой разряд, с которым можно экспериментировать.

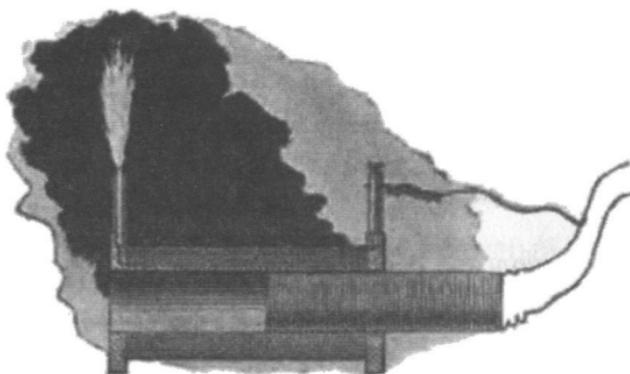


Рис. 6б. Катушка, подготовленная для получения мощных кистевых эффектов. Горячий огонь св. Эльма

Никола ТЕСЛА

При изложенной выше схеме необходимо применение первичной обмотки сравнительно небольшого размера, а она склонна нагреваться, когда мощные эффекты надо удерживать довольно долгое время. В таком случае лучше использовать большую обмотку (рис. 6б) и вводить ее с одной стороны трубы, пока не начинают возникать потоки. Тогда ближайшую клемму вторичной обмотки можно соединить с первичной или заземлить, что практически одно и то же, если первичная обмотка напрямую соединена с генератором. В случае заземления неплохо бы опытным путем определить частоту, которая лучше всего подходит под условия данного эксперимента. Другой способ более или менее избежать потоков — разделить первичную обмотку на секции и питать их от отдельных, хорошо изолированных источников.

Во многих подобных экспериментах, когда мощные кистевые эффекты требуются на короткое время, можно выгодно использовать с первичными обмотками железные сердечники. В таком случае можно сделать очень большую первичную обмотку, поместить ее рядом с вторичной и, соединив ближайшую клемму последней с первичной обмоткой, ввести пластинчатый железный сердечник сквозь первичную во вторичную настолько, насколько позволят потоки. При таких условиях можно заставить появиться на другой клемме вторичной обмотки чрезвычайно мощную кисть нескольких дюймов в длину, которую можно заслуженно назвать «горячим огнем св. Эльма» и которая вызывает к жизни поразительные эффекты. Она — очень мощный озонатор, настолько мощный, что всего нескольких минут достаточно, чтобы наполнить все помещение запахом озона, и, несомненно, обладает свойством возбуждать химические соединения.

Для производства озона переменные токи высокой частоты — средство в высшей степени подходящее не только по причине обеспечиваемых ими преимуществ в области преобразования, но также потому, что озонирующее действие разряда зависит от частоты, так же как и от потенциала, и это, несомненно, подтверждается наблюдениями.

Если в этих экспериментах используется железный сердечник, за ним нужно внимательно наблюдать, поскольку он склонен чрезвычайно сильно нагреваться за невероятно короткое время. Чтобы дать представление о скорости нагрева, скажу, что при прохождении мощного тока сквозь многовитковую обмотку достаточно введения внутрь ее тонкой железной проволоки не более чем на одну секунду, чтобы нагреть проволоку до температуры около 100°С.

Но столь быстрый нагрев не должен отвращать нас от применения железных сердечников в сочетании с быстropеременными токами. Я уже давно убежден, что в промышленной передаче тока посредством трансформаторов может быть вполне осуществим примерно такой план. Мы можем использовать сравнительно маленький секционированный или даже, возможно, несекционированный железный сердечник. Мы можем окружить этот сердечник значительным слоем огнеупорного материала, который плохо проводит тепло, а поверх него разместить первичную и вторичную обмотки. Используя либо высокие частоты, либо большие магнитные силы, мы можем с помощью запаздывания фаз и вихревых токов нагреть железный сердечник почти до максимальной проницаемости, которая, как показал Хопкинсон, может быть в целых шестнадцать раз больше, чем при обычных температурах. Если бы сердечник был полностью защищен, он бы не разрушался от нагрева, и будь изоляция из огнеупорного материала достаточно толстой, излучалось бы всего лишь ограниченное количество энергии, несмотря на высокую температуру. Я конструировал трансформаторы по этой схеме, но по причине нехватки времени пока не провел тщательных испытаний.

Другой способ приспособить железный сердечник к работе с быстрыми колебаниями или, вообще говоря, уменьшить потери от трения — добиться путем постоянного намагничивания появления потока из примерно семи-восьми тысяч силовых линий на квадратный сантиметр сечения сердечника, а затем работать со слабыми магнит-

ными силами и, предпочтительно, высокими частотами, держась в районе точки максимальной проницаемости. Таким образом можно получить большую эффективность преобразования и большую выходную мощность. Я также применял этот принцип в конструкциях с машинами, в которых не было перемены полярности. В машинах этого типа с малым числом полюсных наконечников выходная мощность не слишком велика, поскольку максимальное и минимальное значения намагничивания далеки от точки максимальной проницаемости. Но когда число полюсных наконечников очень велико, требуемая частота изменений достижима без сильного отклонения от точки максимальной проницаемости и выход получается значительный.

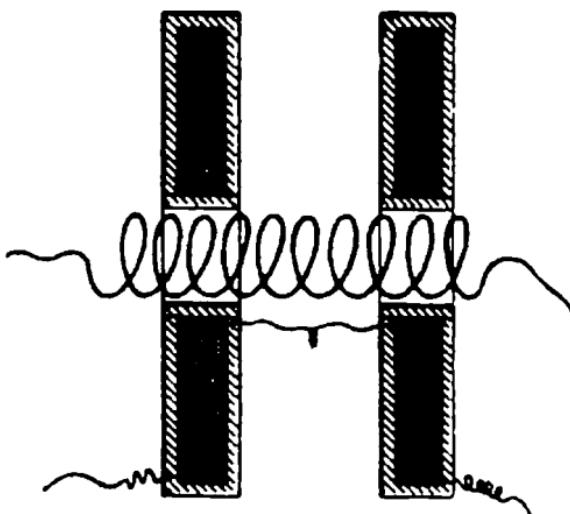


Рис. 7. Катушка для производства
очень высокой разности потенциалов

Вышеописанные способы монтажа относятся только к промышленным катушкам обычной конструкции. Если желательно соорудить катушку, ставя себе специальной целью проведение с ней экспериментов, подобных тем, которые я описал, или вообще сделав ее способной выдерживать максимально возможные разности потенциалов, тогда такая конструкция, как показана на рис. 7, может

обнаружить свои преимущества. Обмотка в этом случае сделана из двух независимых частей, намотанных в противоположном направлении, а соединение их делается вблизи первичной обмотки. Поскольку потенциал в середине равен нулю, то нет особой опасности пробоя на первичную обмотку и не требуется существенной изоляции. В некоторых случаях срединную часть можно, кстати, соединить с первичной обмоткой или заземлить. В такой катушке места наибольшей разности потенциалов удалены друг от друга, и катушка способна выдерживать огромное напряжение. Две ее части могут быть сделаны подвижными, чтобы позволить регулировать эффект емкости.

Что касается способа изоляции катушки, то удобно будет следовать таким путем. Сначала провод надо проварить в парафине, пока не выйдет весь воздух; затем намотать обмотку, пропуская провод сквозь расплавленный парафин — просто для лучшего закрепления провода. Затем обмотку снимают с бобины, погружают в цилиндрический сосуд с чистым расплавленным воском и варят долгое время, пока не перестанут появляться пузырьки. Затем все вместе оставляют как следует охладиться, а потом получившуюся массу вынимают из сосуда и обрабатывают на токарном станке. Тщательно изготовленная таким образом катушка способна выдерживать огромную разность потенциалов.

Можно также погрузить катушку в парафиновое или какое-либо другое масло: это наиболее действенный способ изоляции, в основном потому, что так можно полностью исключить присутствие воздуха. Но в результате вы можете обнаружить, что сосуд, наполненный маслом, не самая удобная вещь для работы в лаборатории.

Если обычная катушка разбирается, можно вынуть первичную обмотку из трубки, заткнуть трубку с одного конца, наполнить ее маслом и вновь вставить обмотку. Это обеспечивает превосходную изоляцию и предотвращает формирование потоков.

Из всех экспериментов, которые можно проводить с быстропеременными токами, наиболее интересны те, что

связаны с производством бытового источника освещения. Нельзя отрицать, что теперешние методы, хотя они и были блестящими достижениями для своего времени, чрезвычайно расточительны. Должны быть изобретены новые методы, сконструированы более совершенные аппараты. Современные исследования открывают новые возможности для производства эффективных источников света, и всеобщее внимание обращено в направлении, указанном талантливыми первоходцами. Многие позволили энтузиазму и страсти к открытиям увлечь себя, но в своем рвении к достижению результатов некоторые пошли по неверному пути. Начав с идеи производства электромагнитных волн, они, возможно, обращают слишком много внимания на изучение электромагнитных эффектов, пренебрегая изучением электростатических феноменов. Естественно, почти каждый исследователь пользовался аппаратом, сходным с теми, которые использовались в более ранних экспериментах. Но в этих формах аппаратов, где электромагнитные индуктивные эффекты огромны, электростатические в то же время крайне малы.

В экспериментах Герца, например, индукционная катушка высокого напряжения накоротко замыкается дугой, сопротивление ее очень мало, и чем оно меньше — тем большая емкость присоединяется к клеммам; разность потенциалов при этом чрезвычайно уменьшается. С другой стороны, когда разряд не проходит между клеммами, статические эффекты могут быть значительны, но только в качественном отношении, а не в количественном, поскольку их нарастание и спад происходят очень внезапно, а их частота мала. Таким образом, ни в каком случае не получается заметных электростатических эффектов. Похожие условия существуют, когда — как в некоторых интересных экспериментах доктора Лоджа — лейденские банки разряжаются пробоем. Считается, и, я полагаю, даже существует убеждение, что в таких случаях блеская часть энергии излучается в пространство. В свете тех экспериментов, которые я описал выше, так больше думать не будут. Полагаю, у меня есть основания утверждать, что

в подобных случаях большая часть энергии отчасти поглощается и преобразуется в тепло разрядной дуги и проводящего и изолирующего материала банки, а отчасти рассеивается посредством электризации воздуха, но количество непосредственно излученной энергии очень невелико.

Когда клеммы индукционной катушки высокого напряжения, питающейся токами с частотой всего лишь в 20000 колебаний в секунду, замкнуты даже через очень маленькую банку, практически вся энергия проходит через диэлектрик банки, которая при этом нагревается, и электростатические эффекты внешне проявляются лишь в очень слабой степени. Тогда внешнюю цепь лейденской банки, то есть дугу и соединения обкладок, можно рассматривать как цепь, вырабатывающую переменные токи крайне высокой частоты и довольно высокого напряжения, которая замкнута через обкладки и диэлектрик между ними, и из вышесказанного видно, что внешние электростатические эффекты должны быть очень малы, даже при использовании обратной цепи. Такие условия делают очевидным то, что при использовании аппарата, который обычно бывает под рукой, наблюдение мощных электростатических эффектов было невозможно, и весь опыт, полученный в этом направлении, получен лишь благодаря великим талантам исследователей.

Но мощные электростатические эффекты — это непременное условие производства света теми путями, которые указаны теорией. Электромагнитные эффекты в основном недоступны по той причине, что для их производства нам бы пришлось пропускать импульсы тока через проводник, который задолго до того, как была бы достигнута требуемая частота импульсов, перестал бы их пропускать. С другой стороны, электромагнитные волны с длиной во много раз большей, чем у световых волн, которые можно получить путем резкого разряда конденсатора, похоже, непригодны для применения, если только мы не будем использовать их воздействие на проводники, как это и делается в современных неэкономных методах. Посредством таких волн мы не могли бы влиять на статический заряд молекул или

атомов в газах, заставлять их вибрировать и испускать свет. Длинные поперечные волны, по-видимому, неспособны вызывать нужные эффекты, поскольку крайне малые электромагнитные возмущения могут легко проходить сквозь воздух на целые мили. Такие темные волны, если только они не той же длины, что и настоящие световые, не могут, похоже, вызвать световое излучение в гейсслеровой трубке, и световые эффекты, получаемые путем индукции в трубке, не имеющей электродов, я склонен считать эффектами электростатической природы.

Чтобы получить подобные световые эффекты, требуется прямое электростатическое воздействие; безразличное к его частоте, оно может возмущать молекулярные заряды и вызывать свечение. Поскольку импульсы тока требуемой частоты неспособны проходить сквозь проводник измеримых пропорций, нам приходится работать с газом, и тогда производство мощных электростатических эффектов становится насущной необходимостью.

Мне, однако, пришло в голову, что для производства света мы можем получать электростатические эффекты разными путями. Например, мы можем поместить предмет из какого-нибудь огнеупорного материала в закрытую и предпочтительно более или менее вакуумизированную колбу, соединить его с источником высокого быстропеременного потенциала, заставив молекулы газа ударяться о предмет много раз в секунду на огромной скорости, и таким образом, словно с помощью ударяющих о него триллионов невидимых молоточков, довести его до раскаленного состояния. Еще мы можем поместить какой-либо предмет в колбу с очень сильно откачанным воздухом, [то есть] в «неударный» вакуум и, применяя очень высокие частоты и потенциалы, передавать от него значительную энергию другим находящимся поблизости предметам или вообще окружающей среде, чтобы поддерживать его на любой стадии накаливания. Или мы можем посредством таких высоких переменных потенциалов возмущать эфир, несомый молекулами газа, или статические заряды молекул, заставляя их вибрировать и испускать свет.

Но поскольку электростатические эффекты зависят от частоты и потенциала, чтобы добиться наиболее мощного действия, желательно повысить и то, и другое, насколько возможно. Вероятно, можно получить довольно хорошие результаты и при низких значениях одного из этих факторов — при условии, что значение второго достаточно велико; но мы ограничены в обоих направлениях. Мой опыт показывает, что мы не можем опуститься ниже определенной частоты, поскольку, во-первых, потенциал тогда становится настолько высок, что это просто опасно, а во-вторых, производство света становится менее эффективным.

Я обнаружил, что при использовании обычных низких частот физиологический эффект тока, требуемого для поддержания яркости свечения в трубке четырех футов в длину, снабженной на концах внешней и внутренней обкладками конденсатора, настолько силен, что, думаю, мог бы нанести серьезную травму тому, кто не привык к подобным ударам. В то же время при [частоте] 20000 колебаний в секунду в трубке можно поддерживать свечение такой же степени яркости без всякого ощутимого эффекта. Это в основном является следствием того факта, что для вызова того же светового эффекта и более высокой эффективности в производстве света требуется гораздо более низкий потенциал. Очевидно, что эффективность в таких случаях тем выше, чем выше используемая частота, поскольку чем быстрее идет процесс зарядки и разрядки молекул, тем меньшее количество энергии будет потеряно в виде темного излучения. Но, к сожалению, мы не можем выйти за определенный предел частоты из-за затруднений с производством и передачей этих воздействий.

Выше я утверждал, что предмет, помещенный в вакуумную колбу, может сильно нагреться просто благодаря соединению с источником потенциала высокой частоты. Нагрев в таком случае, по всей вероятности, происходит в основном из-за бомбардировки молекулами газа, содержащегося в колбе. Когда из колбы откачен воздух, нагрев происходит гораздо быстрее, и совсем нетрудно довести проволоку или нить накаливания до любой степени нака-

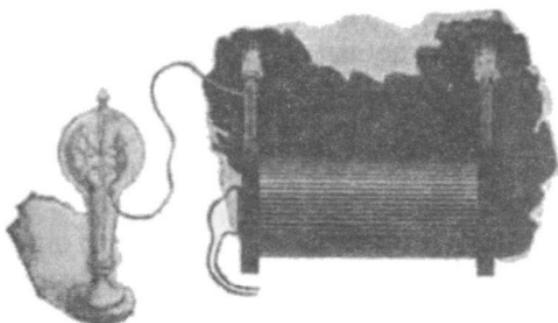


Рис. 8. Эксперимент Крукса
с незамкнутой цепью



Рис. 9. Лампа
с одной головкой
из огнеупорного
материала

ла, просто соединив ее с одной из клемм катушки подходящих размеров. Так, если хорошо известный аппарат профессора Крукса, состоящий из согнутой платиновой проволоки с надетой на нее вертужкой (рис. 8), соединить с одной из клемм катушки (подключаются либо один, либо оба конца проволоки), то проволока почти мгновенно раскаляется и слюдяная вертужка вращается, как если бы использовался ток от батареи. Тонкая углеродная нить накала или, еще лучше, головка из огнеупорного материала (рис. 9), даже если она обладает сравнительно низкой проводимостью, будучи помещена в вакуумную колбу, может чрезвычайно сильно раскалиться, и таким образом получается простая лампа, способная дать мощность в сколько угодно свечей.

Успех ламп такого рода будет зависеть в основном от выбора источника света, помещенного в колбу. Поскольку при описанных условиях можно использовать огнеупорные предметы, плохо проводящие ток и способные долго выдерживать высокие температуры, такие осветительные приборы можно сделать вполне успешными.

Можно было бы поначалу подумать, что если колба, содержащая нить или головку из огнеупорного материала, достаточно хорошо вакуумизирована — в смысле, насколько это можно сделать при использовании лучшего аппарата, — то нагрев будет намного менее интенсивным, а в совершенном вакууме может и вообще не происходить.

Мой опыт этого не подтверждает — совсем наоборот: **чем совершеннее вакуум, тем легче раскаляются предметы.** Этот результат интересен по многим причинам.

В начале этой работы у меня возникла идея: можно ли с помощью одного только действия конденсатора заставить раскалиться *два* предмета из огнеупорного материала, помещенные в колбу с воздухом, откачанным до такой степени, что разряд большой индукционной катушки, работающей в обычном режиме, не может пройти? Очевидно, чтобы добиться этого результата, требуются огромная разность потенциалов и очень высокая частота, как видно из простых подсчетов.

Но такая лампа обладала бы огромными достоинствами по сравнению с обычной лампой накаливания в отношении эффективности. Хорошо известно, что эффективность лампы — своего рода функция от степени раскаленности и что если бы мы могли работать с нитью накаливания при гораздо более высоких степенях накала, то ее эффективность была бы гораздо большей. В обычной лампе это недостижимо из-за разрушения нити, и опытным путем было определено, насколько рекомендуется усиливать накал. Невозможно сказать, насколько более высокой эффективности удалось бы достигнуть, если бы нить могла сопротивляться разрушению бесконечно [долго], поскольку исследования в этом направлении явно не могут продвинуться дальше определенной стадии. Но есть причины полагать, что эффективность была бы значительно выше. Обычную лампу можно усовершенствовать, применяя короткую и толстую углеродную нить. Но тогда провода подводки должны быть толстыми, и, кроме того, есть множество других соображений, которые делают такую модификацию совершенно неприменимой на практике. А в такой лампе, какая была описана выше, провода подводки могут быть очень тонкими, а огнеупорный материал может иметь форму брусков, представляющих очень небольшую излучающую поверхность, так что для поддержания их в желаемой степени накала требовалось бы меньше энергии. И в добавление к этому огнеупор-

ный материал необязательно должен быть углеродом: его можно получить из смеси оксидов, например углерода или другого вещества, или выбрать из практически непроводящих веществ, способных выдерживать огромные температуры.

Все это должно указывать на возможность получения при использовании такой лампы гораздо более высокой эффективности, чем это свойственно обычным лампам. Мой опыт показывает, что бруски накаливания можно сильно раскалить при гораздо более низких потенциалах, чем показывают предварительные расчеты, и разместить их на большем расстоянии друг от друга. Мы вольны допустить, и это вполне вероятно, что молекулярная бомбардировка является важным элементом в нагревании, даже если колба хорошо вакуумирована, как я и делал. Пусть число молекул сравнительно мало, однако из-за того, что средний свободный пробег очень велик, столкновений происходит меньше, и молекулы могут развивать такие большие скорости, что тепловой эффект по этой причине может быть значительным, как в экспериментах Крукса с лучистой материей.

Но точно так же возможно, что здесь нам придется иметь дело с возросшей опасностью потери заряда в высоком вакууме, в каком случае нагрев будет по большей части прямым следствием волнобразного колебания зарядов в нагретых телах. Еще этот факт может быть связан с эффектом заостренного наконечника, о котором я упоминал прежде и вследствие которого бруски или нити, находящиеся в вакууме, эквивалентны конденсаторам с площадью поверхности во много раз большей, чем следует из вычислений, основанных на их геометрических измерениях. Ученые все еще расходятся во мнениях относительно того, должен или не должен заряд теряться в совершенном вакууме, или, другими словами, является эфир проводником или нет. Если правильно первое, то тонкая нить накаливания, помещенная в колбу с совершенным вакуумом и соединенная с источником огромного стабильного потенциала, должна раскаляться.

Мною были сконструированы и применены в работе разнообразные лампы, основанные на вышеизложенном принципе, с огнеупорными телами в виде нитей или брусков (рис. 10), и проведены исследования в этом направлении. Нет никаких трудностей в достижении таких степеней накаливания, что обычный уголь, по всей видимости, при них плавится и испаряется. Если бы можно было добиться абсолютного вакуума, такая лампа, хотя с ней и нельзя работать, применяя обычные аппараты, при питании от токов нужного характера обеспечила бы источник света, который никогда бы не разрушился и был бы многократно более эффективным, чем обычная лампа накаливания. Такого совершенства, конечно, мы никогда не достигнем: очень медленное разрушение и постепенное уменьшение в размере присутствует всегда, как и в обычных нитях накаливания. Зато отсутствует вероятность внезапного и преждевременного выхода из строя, что случается с обычными лампами в результате разрыва нити, особенно если тело накаливания имеет форму бруска.

При быстропеременных потенциалах, однако, нет необходимости помещать в лампу два бруска — можно использовать один, как на рис. 9, или нить накаливания, как на рис. 11. Потенциал в этом случае, разумеется, должен быть выше, но это легко достижимо и, кроме того, совсем необязательно опасно.

Легкость, с какой головка или нить в такой лампе может раскалиться, при прочих равных условиях, зависит от размера колбы. Если бы можно было достичь совершенного вакуума, размер колбы не имел бы значения, поскольку тогда нагрев был бы целиком следствием колебания зарядов и вся энергия отдавалась бы в окружающее пространство посредством излучения. Но в практической деятельности этого произойти не может. В колбе всегда остается некоторое количество газа, и хотя вакуумирование можно довести до очень высокой степени, все же, когда используются высокие потенциалы, пространство внутри колбы следует рассматривать как проводящее. Я допускаю, что при оценке энергии, которая может отдаваться

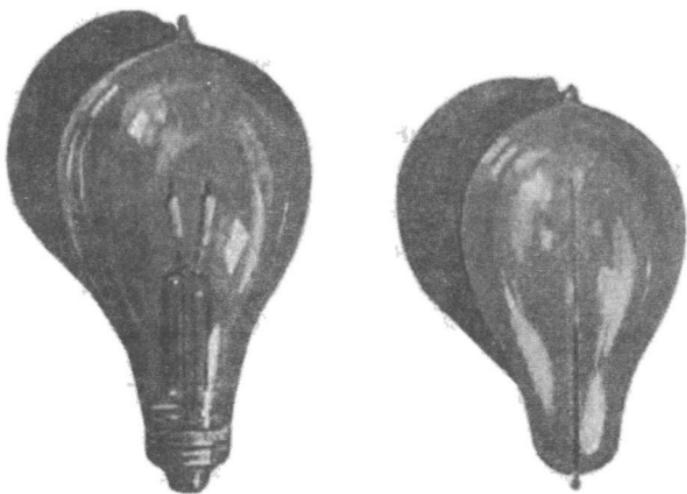


Рис. 10. Лампа с двумя огнеупорными брусками в высоком вакууме

Рис. 11. Лампа с одной прямой нитью накаливания и одним проводом подводки

от нити накала в окружающее пространство, мы можем рассматривать внутреннюю поверхность колбы как одну из обкладок конденсатора, а воздух и другие предметы, окружающие колбу, как вторую обкладку. Когда частота колебаний очень низкая, нет сомнений в том, что значительная часть энергии рассеивается посредством электризации окружающего воздуха.

С целью лучше изучить этот предмет я провел несколько экспериментов с крайне высокими потенциалами и низкими частотами. Тогда я заметил, что, когда к колбе подносишь руку (нить накаливания при этом соединена с одной из клемм катушки), ощущается сильная вибрация, являющаяся следствием притяжения и отталкивания молекул воздуха, которые электризуются сквозь стекло посредством индукции. В некоторых случаях, когда процесс шел очень интенсивно, я слышал звук, обязанный, должно быть, происхождением той же причине.

Когда частота колебаний очень низка, можно получить крайне сильный удар от лампы. Вообще, присоединяя лампу или другой объект некоторого размера к клеммам

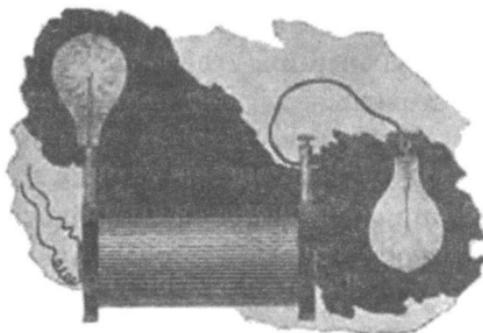


Рис. 12. Лампы с одним проводом подводки в состоянии накала



Рис. 13. Лампа с двумя брусками или нитями накаливания и независимыми обкладками конденсатора, внутренней и внешней

катушки, следует остерегаться повышения потенциала, поскольку может так случиться, что просто при соединении лампы или пластины с клеммой потенциал может возрасти во много раз по сравнению с его первоначальным значением. Когда лампы соединяются с клеммами, как показано на рис. 12, тогда емкость ламп должна быть такова, чтобы обеспечить максимальный при существующих условиях рост потенциала. Таким образом можно получить желаемый потенциал при меньшем количестве витков провода.

Конечно, долговечность таких ламп, какие описаны выше, зависит в основном от уровня вакуумирования, но до некоторой степени также и от формы бруска из огнеупорного материала. Теоретически могло бы показаться, что маленький шарик из угля, помещенный в стеклянную шарообразную колбу, не будет подвергаться разрушению молекулярной бомбардировкой, поскольку из-за того, что вещество в лампе излучает, молекулы будут двигаться по прямым линиям и редко станут ударяться о шарик по касательной. Интересная мысль, которая появляется в связи с такой лампой, заключается в том, что «электричество» и электрическая энергия в ней явно должны двигаться одними и теми же путями.

Использование переменных токов очень высокой частоты делает возможной передачу с помощью электромаг-

нитной или электростатической индукции сквозь стекло лампы достаточного количества энергии, чтобы поддерживать нить в раскаленном состоянии — и таким образом отказаться от применения проводов подводки. Такие лампы уже предлагались, но из-за отсутствия подходящей для них аппаратуры успешно применять их не удавалось. Я сконструировал многие формы ламп, основанных на этом принципе, с цельными и фрагментированными нитями и провел с ними эксперименты. При использовании помещенной в колбу вторичной обмотки с ней удачно сочетается конденсатор. Когда передача энергии производится посредством электростатической индукции, то используются, конечно, очень высокие потенциалы с самыми высокими частотами, которые можно получить от машины.

Например, при площади поверхности конденсатора в 40 см^2 , что не чрезмерно для практического осуществления, и при толщине качественного стекла в 1 мм, при частоте тока в 20000 колебаний в секунду необходимый потенциал будет составлять 9000 вольт. Эта цифра может показаться большой, но поскольку каждая лампа может быть включена во вторичную цепь трансформатора очень небольших размеров, это будет достаточно удобно и, более того, не угрожает серьезной травмой. Все трансформаторы предпочтительно использовать в последовательном соединении. Регулировка системы не вызовет никаких затруднений, ибо при таких частотах очень легко поддерживать стабильный ток.

На сопроводительных рисунках показаны некоторые виды таких ламп. На рис. 13 это лампа с фрагментированной нитью, а на рис. 14 a и 14 b — лампа с одной внешней и одной внутренней обкладками конденсатора и одной нитью. Я также делал лампы с двумя внешними и внутренними обкладками и непрерывным контуром, соединяющим внутренние обкладки. При работе с ними я использовал импульсы тока огромной частоты, получаемые от пробойных разрядов конденсатора.



Рис. 14 а



Рис. 14 б

Лампа с одной нитью накаливания, одной внешней и одной внутренней обкладками конденсатора

Пробойный разряд конденсатора особенно хорош для работы с такими лампами (не имеющими электрических соединений) посредством электромагнитной индукции, поскольку электромагнитные индуктивные воздействия чрезвычайно сильны, и я сумел добиться желаемой степени накала при использовании всего нескольких коротких витков провода. Таким же способом можно накалить и простую замкнутую нить накала.

Не рассматривая сейчас практические аспекты использования таких ламп, я лишь скажу, что они обладают одним прекрасным и желанным качеством, а именно — их можно заставить светиться более или менее ярко, просто передав взаимное расположение внутренних и внешних обкладок конденсатора или возбуждающих и возбуждаемых цепей.

Когда лампа зажигается от соединения только с одной из клемм источника, работу можно упростить, снабдив ее колбу с внешней обкладкой конденсатора, которая в то же время служит отражателем, и соединив ее с изолированным телом определенного размера. Лампы такого типа изображены на рис. 15 и 16. На рис. 17 показана схема со-



Рис. 15. Лампа с одной нитью, проводом подводки и внешней обкладкой конденсатора



Рис. 16. Лампа с одной нитью, одной внешней и одной внутренней обкладками конденсатора и вспомогательной обкладкой

единения. Яркость лампы в этом случае может регулироваться в широких пределах путем варьирования размеров изолированной металлической пластины, к которой подсоединенна обкладка.

Также практически возможно приводить в действие с помощью одного провода подводки такие лампы, как показана на рис. 10, соединяя один вывод лампы с одним выводом источника, а другой — с изолированным телом нужного размера. Во всех случаях изолированный предмет служит для отдачи энергии в окружающее пространство и по функции эквивалентен обратному проводу. Очевидно, что в двух последних упомянутых случаях вместо соединения проводов с изолированным телом их можно заземлить.

Вероятно, наиболее интересными и наводящими на размышления экспериментами оказываются такие, которые проводятся с **вакуумной трубкой**. Как можно ожидать, источники таких быстропеременных потенциалов способны возбуждать эти трубы на значительных расстояниях, вызывая замечательные эффекты.

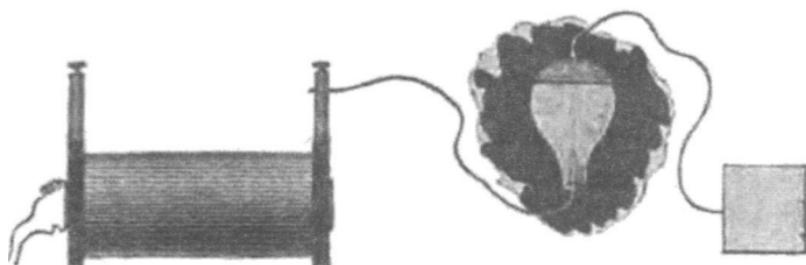


Рис. 17. Усиление яркости лампы на одном проводе

Во время исследований в этом направлении я пытался возбуждать трубы, у которых не было электродов, с помощью электромагнитной индукции, используя трубку как вторичную обмотку индукционного устройства и пропуская сквозь первичную обмотку разряды лейденской банки. Используемые трубы были разных форм, и мне удалось получить световые эффекты, которые я тогда полностью относил на счет электромагнитной индукции. Но по тщательном изучении этих феноменов я выяснил, что вызываемые эффекты были скорее электростатической природы. Возможно, именно из-за этого обстоятельства такой способ возбуждения трубы очень расточителен, а именно — при замкнутой первичной цепи потенциал и, как следствие, электростатический индуктивный эффект сильно уменьшаются.

Когда используется индукционная катушка, работающая, как описано выше, то трубы, несомненно, возбуждаются электростатической индукцией, и электромагнитная индукция имеет мало отношения — если имеет вообще — к этим феноменам.

Это видно по многим экспериментам. Например, если взять трубку в одну руку, стоя рядом с катушкой, трубка ярко светится и продолжает светиться вне зависимости от того, в каком положении относительно тела экспериментатора она находится. Будь воздействие электромагнитным, трубка не могла бы светиться, когда тело экспериментатора находится между нею и катушкой, или, по крайней мере, ее свечение должно было бы значительно ослабе-

вать. Когда трубку держат точно над центром катушки, а катушка намотана по секционно и первичная обмотка размещена симметрично вторичной, трубка может оставаться совершенно темной, в то время как при легком смещении ее вправо или влево от центра катушки она начинает ярко светиться. В середине же она не светится, потому что обе половины катушки нейтрализуют действие друг друга, и электрический потенциал в этой точке равен нулю. Будь воздействие электромагнитным, трубка светилась бы ярче всего в плоскости, проходящей через центр катушки, поскольку электромагнитный эффект там был бы максимальным. Когда между клеммами устанавливается дуга, трубы и лампы, находящиеся вблизи катушки, гаснут и зажигаются вновь при разрыве дуги благодаря подъему потенциала. Однако электромагнитный эффект в обоих случаях должен был быть практически одинаковым.

Разместив трубку на некотором расстоянии от катушки и ближе к одной из ее клемм — предпочтительно в точке, находящейся на оси катушки, — можно зажечь ее, коснувшись дальней клеммы изолированным предметом некоторого размера или рукой, таким образом увеличив потенциал на ближайшей к трубке клемме. Если сместить трубку ближе к катушке, так, чтобы она зажигалась под воздействием ближайшей клеммы, ее можно заставить погаснуть, держа на изолированной опоре конец провода, соединенного с дальней клеммой, поблизости от ближайшей клеммы, таким образом противодействуя влиянию последней на трубку. Эти эффекты имеют очевидную электростатическую природу. Подобным же образом, когда трубка размещена на значительном расстоянии от катушки, наблюдатель может, стоя на изолированной платформе между катушкой и трубкой, зажечь последнюю, поднеся к ней руку, или даже заставить ее светиться, просто встав между нею и катушкой. При электромагнитной индукции это было бы невозможно, поскольку тело наблюдателя действовало бы как экран.

Когда катушка возбуждается чрезвычайно слабыми токами, экспериментатор может, коснувшись одной

из клемм катушки трубкой, погасить ее и зажечь снова, прервав контакт с клеммой и позволив сформироваться маленькой дуге. Это определенно является следствием соответственно понижения и роста потенциала на этой клемме. В предыдущем эксперименте, когда трубка зажигается посредством маленькой дуги, она может погаснуть, когда дуга прерывается, поскольку электростатический эффект сам по себе слишком слаб, хотя потенциал и может быть [в этом случае] намного выше. Но когда дуга устанавливается, электризация на конце трубы становится гораздо сильнее, и она поэтому зажигается.

Если зажечь трубку, поднеся ее близко к катушке и держа той рукой, которая дальше от катушки, то, если взяться за трубку в любом месте другой рукой, промежуток между ладонями останется темным и можно вызвать уникальный эффект «стирания» света в трубке, быстро скользя вдоль нее рукой и в то же время слегка отводя ее от катушки, правильно определив расстояние так, чтобы трубка и после этого оставалась темной.

Если разместить первичную обмотку сбоку и ввести в ее полость с другой стороны вакуумную трубку, то трубка будет светиться очень ярко благодаря усилившемуся действию конденсатора, и в этом положении свили в стекле обрисовываются с большой четкостью. Во всех описанных экспериментах, так же как и во многих других, оказываемое воздействие явно является электростатическим.

Эффекты экранирования также свидетельствуют об электростатическом происхождении этих феноменов и позволяют понять кое-что относительно природы электризации через воздух. Например, если трубку поместить в направлении оси катушки и ввести между ними изолированную металлическую пластину, свечение в трубке обычно усиливается. Или если она находится слишком далеко от катушки, чтобы зажечься, то введением металлической пластины ее можно даже заставить светиться. Сила этих эффектов зависит в некоторой степени от размера пластины. Но если пластина посредством провода заземлена, то ее введение всегда будет заставлять трубку гаснуть, даже

если она находится рядом с катушкой. Вообще введение какого-либо предмета между трубкой и катушкой усиливает или ослабляет яркость свечения трубы или влияет на ее способность зажечься в зависимости от того, усиливает или уменьшает электризацию этот предмет. При экспериментах с изолированной пластины не следует брать пластины слишком больших размеров, иначе она будет постоянно оказывать ослабляющий эффект по причине ее способности с легкостью отдавать энергию в окружающее пространство.

Если трубку зажечь на некотором расстоянии от катушки и ввести между ними пластину из твердой резины или другого изолирующего материала, трубка погаснет. Введение диэлектрика в этом случае лишь слегка усиливает индуктивный эффект, но существенно уменьшает электризацию через воздух.

Итак, во всех случаях, когда мы возбуждаем свечение в вакуумных трубках с помощью такой катушки, эффект является результатом быстро колеблющегося электростатического потенциала, и, более того, его следует относить на счет гармонических колебаний, производимых непосредственно генератором, а не каких-либо наложенных колебаний, существование которых можно было бы предположить. Такие наложенные колебания невозможны, когда мы работаем с машиной переменного тока. Если пружину постепенно сжимать и отпускать, она не производит независимых вибраций — для этого необходимо ее резко отпустить. Так и с переменными токами от динамо-машины: среда подвергается гармоническим напряжениям и расслаблениям, вызывая таким образом только один тип волн. Для вызова наложенных волн настоятельно требуется внезапный контакт или его разрыв или внезапный пробой диэлектрика, как это случается при пробойном разряде лейденской банки.

Во всех последних описанных экспериментах можно использовать трубы без каких бы то ни было электродов, и совсем нетрудно с их помощью получить достаточное количество света, чтобы можно было читать. Световой эффект,

кстати, существенно увеличивается при применении фосфоресцентных веществ, таких как иттрий, урановое стекло и т. д. Трудность в применении фосфоресцентных веществ состоит в том, что они постепенно улетучиваются, и предпочтительно использовать вещества в твердом состоянии.

Вместо того чтобы полагаться при зажигании лампы на действие индукции на расстоянии, тот же результат можно обеспечить с помощью внешней, а если желательно, то и внутренней, обкладки конденсатора. Тогда трубку можно подвесить в любом месте помещения на проводнике, соединенном с одной из клемм катушки, и получить таким образом мягкое освещение.

Однако идеальным способом освещения зала или комнаты было бы создание в ней таких условий, чтобы светильный прибор можно было передвигать и размещать где угодно и чтобы он зажигался вне зависимости от своего положения, не будучи электрически соединен ни с чем. Я смог обеспечить такие условия, создав в комнате мощное, быстро колеблющееся электростатическое поле. Для этой цели я подвесил металлический лист на некотором расстоянии от потолка на изолированных шнурах и соединил его с одной из клемм индукционной катушки. Другую клемму предпочтительно заземлить. В другом случае я подвесил два листа, соединив каждый из них с одной из клемм катушки и тщательно рассчитав их размер. Потом можно переносить в руке вакуумную трубку в любую точку между листами или размещать ее в любом месте, даже на определенном расстоянии за их пределами, — она все время будет светиться.

В таком электростатическом поле наблюдаются интересные феномены, особенно если поддерживать частоту низкой, а потенциал — исключительно высоким. В добавок к упомянутым световым феноменам можно видеть, что любой изолированный проводник испускает искры, если к нему приблизить руку или другой предмет, и часто искрение бывает сильным. Когда большой проводящий предмет закреплен на изолированной опоре и к нему подносят руку, чувствуется вибрация, происходящая в ре-

зультате ритмичного движения молекул воздуха, и можно различить световые потоки, если держать руку возле заостренного выступа. Если коснуться одним или обоими контактами телефонной трубы изолированного проводника некоторого размера, то телефон будет издавать громкий звук. Он также издает звук, если отрезок провода прикреплен к одной или обеим клеммам, а при очень мощных полях звук можно расслышать даже при отсутствии всякого провода.

Насколько этот принцип применим на практике, покажет будущее. Можно подумать, что электростатические эффекты не годятся для осуществления подобного воздействия на расстоянии. Электромагнитные индуктивные эффекты, если использовать их для получения света, кажутся более пригодными. Действительно, электростатические эффекты слабеют почти пропорционально кубу расстояния от катушки, в то время как электромагнитные индуктивные эффекты просто уменьшаются с увеличением расстояния. Но когда мы устанавливаем электростатическое силовое поле, ситуация в корне меняется, поскольку тогда вместо разностного воздействия обеих клемм мы получаем их объединенное воздействие. Кроме того, я бы обратил ваше внимание на тот факт, что в переменном электростатическом поле проводник, такой как вакуумная трубка, например, склонен вбирать большую часть энергии, в то время как в электромагнитном переменном поле он забирает ее по минимуму, а волны отражаются с наименьшими потерями. Это — одна из причин того, почему так трудно возбудить вакуумную трубку на расстоянии путем электромагнитной индукции. Я наматывал катушки очень большого диаметра, содержащие множество витков провода, и соединял гайсслерову трубку с контактами катушки с целью возбудить трубку на расстоянии. Но даже при мощных индуктивных эффектах, получаемых от лейденской банки, трубка не загоралась, если только не находилась на очень маленьком расстоянии, хотя размеры катушки рассчитывались заранее. Я также обнаружил, что даже самые мощные разряды лейденской банки способны

вызывать лишь слабые световые эффекты в запаянной вакуумной трубке, и даже эти эффекты я, по тщательном изучении, принужден был рассматривать как явления электростатической природы.

Тогда как же можем мы надеяться вызывать требуемые эффекты на расстоянии посредством электромагнитного воздействия, если даже в теснейшем соседстве с источником возмущений, при наиболее благоприятных условиях, нам удается вызвать всего лишь слабое свечение? При воздействии на расстоянии нам помогает резонанс. Мы можем соединить вакуумную трубку или любой осветительный прибор с изолированной системой нужной емкости; таким образом можно будет усилить эффект качественно — и только качественно, поскольку мы не стали бы получать от прибора *больше* энергии. Так, мы можем при помощи эффекта резонанса получить в трубке требуемую электродвижущую силу и вызвать слабые световые эффекты, но не можем получить достаточное количество энергии, чтобы сделать свет практически доступным, и простые расчеты, основанные на экспериментальных результатах, показывают, что даже если бы вся энергия, которую может принять трубка на определенном расстоянии от источника, могла быть преобразована в световую, это едва ли удовлетворяло бы практическим требованиям. Отсюда следует необходимость направлять энергию посредством проводящей цепи к месту преобразования. Но, поступая так, мы не можем значительно уйти в сторону от современных методов, и все, что нам остается, — усовершенствовать аппарат.

В результате этих соображений кажется, что если этот идеальный способ освещения предстоит сделать практически осуществимым, то сделано это будет лишь с помощью применения электростатических эффектов. В таком случае потребуются самые мощные электростатические индуктивные эффекты. Поэтому используемый аппарат должен быть способен производить высокий электростатический потенциал, величина которого колеблется с экстремальной скоростью. Особенно нужны высокие

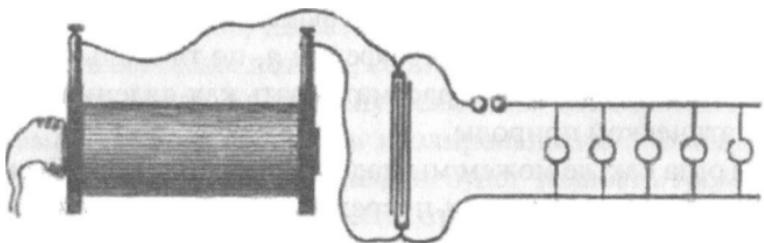


Рис. 18. Схема соединений для преобразования высокого потенциала в низкий посредством пробойного разряда

частоты, поскольку практические соображения требуют, чтобы потенциал был пониже. При использовании машин или, вообще говоря, любых механических аппаратов можно достичь лишь низких частот. Следовательно, стоит обратиться к иным средствам. Разряд конденсатора обеспечивает нас способом получения частот на порядок выше, чем достижимые механически, и поэтому в экспериментах с указанной целью я применял конденсаторы.

Когда клеммы индукционной катушки высокого напряжения (рис. 18) соединены с лейденской банкой и она разряжается пробоем в цепь, мы можем рассматривать дугу, играющую между выводами катушки, как источник переменных или, вообще говоря, волнообразных пульсирующих токов, и тогда мы имеем дело со знакомой системой из генератора таких токов, соединенной с ним цепи и конденсатора, шунтирующего цепь.

Конденсатор в таком случае представляет собой настоящий трансформатор, и поскольку частота огромна, можно получить почти любое соотношение силы тока в обеих ветвях цепи. В действительности это не совсем полная аналогия, поскольку при пробойном разряде мы получаем в большинстве случаев фундаментальное мгновенное изменение сравнительно низкой частоты и наложенные гармонические колебания, а законы, управляющие движением токов, неодинаковы для обоих случаев.

При преобразовании такого рода коэффициент преобразования не должен быть слишком велик, поскольку потери в дуге между выводами возрастают пропорционально

квадрату силы тока, и если банка будет разряжаться сквозь очень толстые и короткие проводники (с целью получения очень быстрой осцилляции), весьма значительная часть запасенной энергии будет потеряна. С другой стороны, слишком низкие коэффициенты неприменимы по многим очевидным причинам.

Поскольку преобразованные токи движутся в практически замкнутой цепи, электростатические эффекты по необходимости малы, и я поэтому преобразую их в токи или эффекты нужного характера. Я осуществлял такие преобразования несколькими способами. Такой способ работы позволяет с легкостью получить, применяя маленький и недорогой аппарат, огромную разность потенциалов, которой обычно добиваются при помощи громоздких и дорогих катушек. Для этой схемы нужно только взять обычную маленькую катушку, присоединить к ней конденсатор и разрядную цепь, формирующую первичную цепь вспомогательной маленькой обмотки, и преобразовывать ток с повышением [частоты]. Поскольку индуктивный эффект первичных токов чрезвычайно силен, во вторичной обмотке должно быть сравнительно немного витков. Как следует отрегулировав все элементы, можно добиться замечательных результатов.

Пытаясь получить таким образом требуемые электростатические эффекты, я, как и следовало ожидать, столкнулся со многими трудностями, которые постепенно преодолевал, но пока еще не готов рассказывать о своем опыте в этом направлении.

Я верю в то, что пробойный разряд конденсатора будет играть важную роль в будущем, поскольку он предоставляет широкие возможности не только в производстве света более эффективным способом и в направлении, указанном теорией, но и во многих других отношениях.

Многие годы усилия изобретателей были направлены на получение электрической энергии из тепловой при помощи термоэлемента. Могло бы показаться несправедливым замечание о том, что лишь немногие представляют, в чем состоит истинная проблема термоэлемента. Дело не

в неэффективности или небольшой выходной мощности, хотя это и значительные недостатки; дело в том, что у термоэлемента есть, так сказать, своя филлоксера, то есть тот факт, что при постоянном использовании он разрушается, и это до сих пор препятствовало его использованию в промышленном масштабе. Теперь, когда все современные исследования, похоже, указывают с уверенностью на использование электричества чрезвычайно высокого напряжения, перед многими, должно быть, встает вопрос, нельзя ли практическим способом получить такую энергию из тепловой. Мы привыкли смотреть на электростатическую машину как на игрушку, ассоциируя ее с понятием о неэффективности и непрактичности. Но теперь мы должны мыслить по-другому, ибо ныне мы знаем, что во всем и всем нам приходится иметь дело с одними и теми же силами, и вопрос лишь в изобретении подходящих методов и аппаратов, которые смогут сделать их доступными.

В существующих на сегодняшний день системах распределения электричества применение железа с его удивительными магнитными свойствами позволяет нам существенно уменьшить размер аппарата, но, несмотря на это, он все еще очень громоздок. Чем далее мы продвигаемся в изучении электрических и магнитных феноменов, тем крепче наша убежденность в том, что теперешним методам долго не протянуть. По крайней мере, для производства освещения такая тяжелая аппаратура, похоже, необязательна. Необходимое количество энергии очень невелико, и если бы свет можно было получать настолько эффективно, как это кажется возможным теоретически, то аппарат должен иметь очень маленькую выходную мощность. Поскольку есть значительная вероятность того, что методы освещения будущего будут включать использование очень высоких потенциалов, кажется весьма желательным усовершенствовать приспособление, способное преобразовывать энергию тепла в энергию требуемого вида. В этом направлении пока не было сделано ничего, заслуживающего упоминания, поскольку мысль о непригодности для практических целей электричества

напряжением в 50-100 тысяч вольт или более отвращала изобретателей от работ в этой области.

На рис. 18 показана схема соединений для преобразования токов высокого напряжения в токи низкого напряжения посредством пробойного разряда конденсатора. Я часто использовал эту схему при работе с несколькими лампами накаливания, необходимыми в лаборатории. Мне встретились некоторые трудности, связанные с разрядной дугой, но их в значительной степени удалось преодолеть. Кроме этого да еще необходимой отладки оборудования, необходимой для нормальной работы, ни с какими другими сложностями я не сталкивался, и таким способом оказалось возможно приводить в действие обычные лампы и даже двигатели. Когда линейный провод заземлен, со всеми проводами можно работать совершенно безопасно, без оглядки на то, насколько велик потенциал на клеммах конденсатора. В этих экспериментах индукционная катушка высокого напряжения, питаемая от батареи или генератора переменного тока, применялась для зарядки конденсатора. Но индукционную катушку можно заменить аппаратом другого типа, способным выдавать электричество столь же высокого напряжения. Таким образом, постоянные или переменные токи можно преобразовывать, и в обоих случаях импульсы тока могут быть любой желаемой частоты. Когда токи, заряжающие конденсатор, имеют одно направление, и при этом желательно, чтобы преобразованные токи также имели одно направление, то сопротивление разрядной цепи, конечно, следует выбирать так, чтобы не возникало колебаний.

При работе с устройствами по вышеописанной схеме я наблюдал любопытные феномены сопротивления, вызывающие некоторый интерес. Например, если толстый медный прут согнуть и шунтировать обычными лампами накаливания, то при прохождении разряда между клеммами катушки лампы можно довести до накала, несмотря на то что они соединены накоротко. Когда применяется большая индукционная катушка, легко получить на пруте узлы, которые становятся заметны по разной степени яркости ламп. Узлы никогда не имеют четких очер-

Никола ТЕСЛА

таний, они просто представляют собой точки максимального и минимального значения потенциалов вдоль прута. Это, возможно, является следствием неравномерности дуги между клеммами. Вообще, когда применяется вышеописанная схема преобразования высокого напряжения в низкое, поведение пробойного разряда можно тщательно изучить. Узлы можно также исследовать с помощью обычного вольтметра Кардью, который должен быть хорошо изолирован. Между точками прута можно также зажигать гейсслеровы трубки; в этом случае, конечно, лучше использовать меньшие емкости. Я обнаружил, что таким способом можно зажигать лампу и даже гейсслерову трубку, шунтированную коротким тяжелым металлическим бруском, и этот результат кажется сперва очень любопытным. На самом деле, чем толще медный прут, тем лучше для успеха экспериментов, поскольку тогда они выглядят еще более поразительно. Когда используются лампы с длинными тонкими нитями накаливания, то часто можно заметить, что нити время от времени яростно вибрируют, причем вибрация бывает наименьшей в узловых точках. Эта вибрация, похоже, результат электростатического взаимодействия между нитью и стеклом колбы.

В некоторых из указанных выше экспериментов предпочтительно использовать специальные лампы, имеющие прямую нить накаливания, как показано на рис. 19. Когда применяется такая лампа, можно наблюдать еще более любопытные феномены, чем те, которые уже описаны. Этую лампу можно разместить поперек медного прута, зажечь и, используя несколько большие емкости, или, другими словами, меньшие частоты или меньшие импульсные сопротивления, довести нить до любой желаемой степени накала. Но когда сопротивление возрастает, то достигается момент, когда сравнительно малая часть тока проходит сквозь угольный электрод, а его большая часть — сквозь разреженный газ. Или, возможно, было бы правильнее сказать, что ток почти в равной степени распределяется между ними обоими, несмотря на огромную разницу в сопротивлении, и это было бы верно, если бы только газ

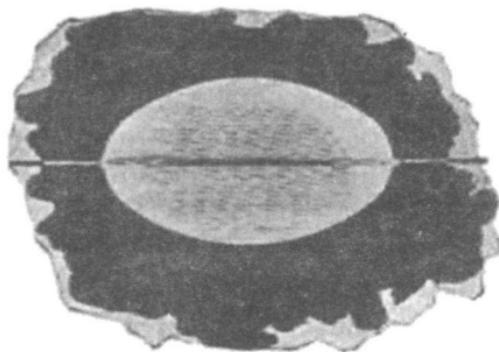


Рис. 19. Феномен сопротивления в лампе накаливания

и нить не вели себя по-разному. Тогда становится видно, что вся колба ярко освещена, и концы проводов подводки раскаляются и часто испускают искры вследствие яростной бомбардировки, но угольный электрод остается темным. Это показано на рис. 19. Вместо нити можно использовать одну проволоку, тянувшуюся через всю колбу, и в этом случае феномен будет еще интереснее.

Из этого эксперимента очевидно, что, когда обычные лампы пытаются преобразованными токами, лучше всего выбирать такие из них, в которых платиновые провода далеко разведены, а используемые частоты не должны быть слишком велики, иначе разряд возникнет на концах нити накаливания или в основании лампы между проводами подводки, и лампа тогда может быть повреждена.

Представляя вам эти итоги своих исследований по рассматриваемой теме, я лишь вскользь упомянул факты, о которых мог бы говорить долго, и среди множества наблюдений выбрал лишь те, которые, по моему мнению, с наибольшей вероятностью могли вас заинтересовать. Эта область огромна и совершенно не исследована, и на каждом шагу здесь можно открывать новые истины, наблюдать новые явления.

Насколько вероятно использование на практике обнаруженных здесь фактов — решать будущему. Что касается производства света, то некоторые из уже достигнутых результатов весьма обнадеживают и позволяют мне с уве-

Никола ТЕСЛА

ренностью утверждать, что практическое разрешение этой проблемы лежит в направлении, которое я попытался наметить. И все же, какова бы ни была сиюминутная польза от этих экспериментов, я надеюсь, что они окажутся всего лишь шагом в дальнейшем развитии по направлению к идеалу и окончательному совершенству. Возможности, открываемые современными исследованиями, настолько широки, что даже самый сдержаный человек должен ощущать прилив оптимизма, глядя в будущее. Выдающиеся ученые считают задачу использования одного вида излучения в отрыве от других рациональным подходом. В аппарате, созданном для производства света путем преобразования любой формы энергии в световую, такого результата никаким образом достичь нельзя, ибо независимо от способа получения требуемых колебаний — электрического ли, химического или любого другого — будет невозможно получить высшие световые колебания, не пройдя через стадию низших тепловых колебаний. Это то же самое, что ставить задачу сообщить телу определенную скорость, минуя все предыдущие, более низкие скорости. Но существует возможность получать энергию не только в форме света, но и в виде движущей силы и вообще энергии любой формы более прямым способом из окружающей среды. Наступит время, когда этого удастся добиться, — и уже пришло время, когда человек может произнести такие слова перед просвещенной аудиторией без риска, что его сочтут фантализером. Мы, врачааясь, несемся в бесконечном пространстве с невообразимой скоростью, и все вокруг нас вращается, все движется, и повсюду есть энергия. Должен, просто обязан существовать какой-то способ обеспечивать себя этой энергией более прямым путем. Тогда, с полученным из среды светом, с добытой из нее силой, с любой формой энергии, полученной без усилий, из вовеки неистощимого запаса, человечество двинется вперед гигантскими шагами. Одна только мысль об этих чудесных возможностях расширяет наше сознание, дает силу нашим надеждам и наполняет наши сердца великой радостью.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАЗРЯД В ВАКУУМНЫХ ТРУБКАХ

Статья в «*The Electrical Engineer*»,
Нью-Йорк, 1 июля 1891 г.

В номере «*The Electrical Engineer*» от 10 июня мне попалось на глаза описание нескольких экспериментов профессора Дж. Дж. Томсона в статье «Электрический разряд в вакуумных трубках», а в выпуске от 24 июня профессор Элиу Томсон описывает эксперимент того же рода. Основной идеей этих экспериментов является **создание электродвижущей силы в вакуумной трубке — предпочтительно без электродов — посредством электромагнитной индукции и возбуждение трубки таким способом.**

Моя точка зрения на данный предмет заставляет меня предположить, что у любого экспериментатора, который тщательно изучал эту стоящую перед нами проблему и пытался найти ее решение, такая идея должна возникать столь же естественно, как, например, идея замены станиоловых обкладок лейденской банки разреженным газом и возбуждения свечения в полученном таким образом конденсаторе с помощью повторяющегося цикла зарядки и разрядки. Поскольку идея очевидна, то, какую бы выгоду ни сулило данное направление исследований, выгода эта должна зависеть от полноты изучения предмета и точности наблюдений. Последующие строки написаны мною не под влиянием желания «отметиться» в качестве одного из тех, кто проводит сходные эксперименты. Я делаю это из желания помочь другим экспериментаторам, указав на некоторые характерные черты наблюдавшихся феноменов, по всей видимости, оставшиеся незамеченными профессором Дж. Дж. Томсоном, который явно систематически занимается подобными исследованиями и был первым,

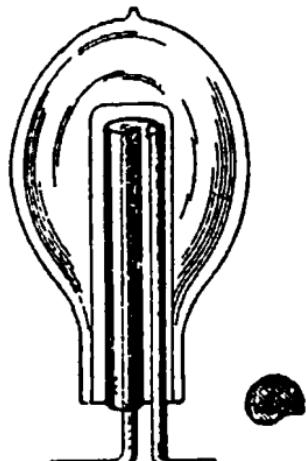


Рис. 1

кто сообщил об их результатах. Эти подмеченные мною особенности, похоже, противоречат взглядам профессора Томсона и представляют данные феномены в ином свете.

Исследованиями в этом направлении я занимался в основном в течение зимы и весны прошлого года. За это время было проведено множество разнообразных экспериментов, и в результате обмена идеями с мистером Альфредом С. Брауном из телеграфной компании «Вестерн Юнион» было

предложено много различных схем, воплощенных мною на практике. Рис. 1 может служить примером одной из многих форм применявшихся аппаратов. Он представлял собою широкую стеклянную трубку, запаянную с одного конца и вставленную в обычную колбу лампы накаливания. Первичная обмотка, как правило, состоящая из нескольких витков толстой, хорошо изолированной медной полосы, была вставлена внутрь трубки, в роли вторичной обмотки выступало внутреннее пространство колбы.

К такой форме аппарата я пришел после некоторого количества опытов. Использовал я ее в основном потому, что она позволяла поместить полированную отражающую поверхность внутрь трубки, и с этой целью последний виток первичной обмотки был покрыт тонким листком серебра. Ни с одной из форм использованных аппаратов не возникало трудностей в возбуждении светового круга или цилиндра вблизи первичной обмотки.

Что касается числа витков, то я не вполне понимаю, почему профессор Дж. Дж. Томсон решил, что нескольких витков «вполне достаточно», но чтобы не приписывать ему мнение, которого он может и не придерживаться, добавлю, что я вынес такое впечатление из чтения опубликованных выдержек из его лекции. Ясно, что да-

ющее наилучший результат в каждом случае число витков зависит от размеров аппарата и, если бы не разные другие соображения, один виток всегда был бы лучше всего.

Я обнаружил, что в таких экспериментах предпочтительнее использовать машину переменного тока, дающую умеренное число колебаний в секунду, для возбуждения индукционной катушки, которая заряжает лейденскую банку, разряжающуюся сквозь первичную цепь. В этом случае, прежде чем произойдет пробойный разряд, трубка или колба слегка возбуждаются и формирование светового круга значительно облегчается. Но в некоторых экспериментах я использовал также машину Вимшурста.

Взгляд профессора Дж. Дж. Томсона на рассматриваемые феномены, кажется, таков, что они целиком являются следствием электромагнитного действия. Одно время я придерживался того же мнения, но по тщательном изучении предмета пришел к убеждению, что они носят скорее электростатический характер. Следует помнить, что в таких экспериментах мы имеем дело с первичными токами огромной частоты (или скорости колебаний) и высокого потенциала, и вторичный проводник состоит из разреженного газа, а при таких условиях электростатические эффекты должны играть важную роль.

В поддержку своей точки зрения опишу несколько проведенных мною экспериментов. Для возбуждения свечения в трубке вовсе не необходимо, чтобы проводник был замкнутым. Например, если обычную вакуумную трубку (предпочтительно большого диаметра) окружить спиралью из толстого медного провода, служащего первичной обмоткой, внутри трубки можно возбудить слабо светящуюся спираль. В одном из этих экспериментов наблюдался любопытный феномен, а именно — внутри трубки сформировались два интенсивно светящихся круга, каждый из них — вблизи первичной спирали. Я отношу этот феномен на счет существования узлов в первичной обмотке. Круги были соединены слабо светящейся спиралью, которая шла параллельно первичной обмотке и в

непосредственной близости от нее. Я обнаружил, что для того, чтобы добиться этого эффекта, банку нужно залить до предела. Витки спирали стремятся замкнуться и сформировать круги, но этого, разумеется, следует ожидать, и это неизбежно указывает на электромагнитный эффект, в то время как тот факт, что **свечение в трубке может быть вызвано вдоль первичной обмотки в форме открытой спирали, говорит в пользу электростатического эффекта.**

Если использовать цепь обратной связи доктора Лоджа, электростатическое воздействие столь же очевидно. В его экспериментах две полые вакуумные трубы *НН* были надеты на провода цепи обратной связи, и при разряде банки обычным способом в трубках возбуждалось свечение.

Другой проведенный эксперимент заключался в том, что обычная ламповая колба была окружена одним-двумя витками толстого медного провода, и в трубке возбуждался светящийся круг благодаря разряду банки сквозь первичную цепь. Ламповая колба была снабжена станиолевой обкладкой со стороны, противоположной первичной обмотке, и всякий раз, как обкладка заземлялась либо соединялась с большим по размеру предметом, свечение в трубке заметно возрастало. В других экспериментах я отметил, что когда первичная обмотка касается стекла, то появления светового круга добиться легче и он обрисован четче. Но при этом я не заметил, чтобы, вообще говоря, возбужденные круги имели *очень* четкие очертания, на что ссылается профессор Томсон; напротив, в моих экспериментах они были широкими и часто освещалась вся колба или трубка, а в одном случае я отметил интенсивное багряное свечение, о котором упоминает профессор Томсон. Но круги всегда находились поблизости от первичной обмотки, и появления их было добиться значительно проще, когда обмотка была очень близко к стеклу — гораздо проще, чем можно было бы ожидать, считая воздействие электромагнитным и учитывая расстояние. Эти факты свидетельствуют в пользу электростатического эффекта.

Более того, я заметил, что присутствовала молекулярная бомбардировка в плоскости светового круга перпендикулярно стеклу (если предположить, что круг расположен в плоскости первичной обмотки). Эта бомбардировка была заметна по быстрому нагреву стекла вблизи первичной обмотки. Если бы бомбардировка происходила не под прямыми углами, то нагрев стекла был бы не таким быстрым. Если присутствует круговое движение молекул, составляющих световой круг, его, как я подумал, можно заставить проявить себя, поместив внутрь трубки или колбы радиально по отношению к кругу тонкой пластинки из слюды, покрытой каким-либо фосфоресцентным материалом, а еще одну такую же пластинку — по касательной к этому кругу. Если бы молекулы передвигались по кругу, то первая пластинка светилась бы более ярко. Однако из-за недостатка времени я не смог провести этот эксперимент.

Еще одно наблюдение, сделанное мною, заключается в том, что **когда индуктивная проницаемость среды между первичной и вторичной обмотками возрастает, индуктивный эффект усиливается**. Это приблизительно показано на рис. 2. В данном случае возбуждалось свечение в вакуумной трубке или колбе *B*, а между первичной обмоткой и колбой вставлялась стеклянная трубка *T*, когда был отмечен упомянутый эффект. Будь воздействие целиком электромагнитным, никакого изменения наблюдать бы не удалось.

Я также заметил, что когда колба была окружена проводом, замкнутым на себя и расположенным в плоскости первичной обмотки, формированию светового круга внутри колбы это не препятствовало. Но если вместо провода на колбу наклеить широкую полосу оловянной фольги, то

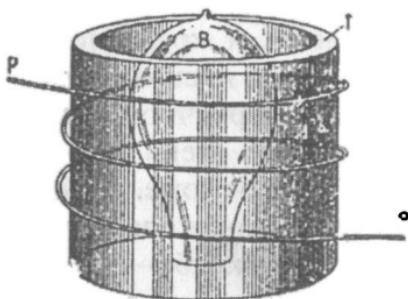


Рис. 2

формирования круга не происходит, потому что тогда воздействие распределено по поверхности большей площади. Воздействие замкнутой станилевой ленты, несомненно, носит электростатический характер, поскольку сопротивление ее гораздо выше, чем у замкнутого провода, и поэтому она оказывает гораздо меньший электромагнитный эффект.

Некоторые из экспериментов профессора Дж. Дж. Томсона, похоже, тоже демонстрируют электростатическое воздействие. Например, как я полагаю, в эксперименте с колбой, помещенной в вакуумный колокол, когда из колокола откачивался воздух до достижения максимальной проводимости заключавшегося в нем газа, формирования светового круга в колбе и колоколе не происходило, поскольку пространство, окружавшее первичную обмотку, становилось в высшей степени проводящим. При дальнейшей откачке воздуха из колокола проводимость пространства, окружающего первичную обмотку, снижается и круги появляются неизбежно — вначале в колоколе, поскольку разреженный газ там оказывается ближе к первичной обмотке. Но если бы индуктивный эффект был очень мощным, они, возможно, появлялись бы и в колбе тоже. Если, однако, максимально откачать воздух из колокола, круги, весьма вероятно, появились бы только в колбе — в смысле, если мы считаем вакуумное пространство непроводящим. Допустив, что в этих феноменах участвуют электростатические воздействия, мы можем легко объяснить, почему введение ртути или нагрев колбы препятствует формированию светового круга или сокращает послесвечение, а также почему в некоторых случаях платиновая проволока может препятствовать свечению трубки. Тем не менее другие эксперименты профессора Томсона, кажется, действительно указывают на электромагнитный эффект. Могу добавить, что в одном из моих экспериментов, в котором вакуум производился по методу Торричелли, я не смог добиться появления световой полосы, но это могло произойти из-за слишком слабого возбуждающего тока.

Мой главный довод состоит в следующем: я экспериментально доказал, что **если тот же разряд, которого едва достаточно для возбуждения световой полосы в колбе, когда он проходит сквозь первичную цепь, направить таким образом, чтобы он порождал электростатический индуктивный эффект, а именно путем преобразования с повышением частоты, то вакуумную трубку без электродов можно возбудить с расстояния в несколько футов.**

ЗАМЕТКИ ОБ УНИПОЛЯРНОМ ДИНАМО

*Статья в «The Electrical Engineer»,
Нью-Йорк, сентябрь 1891 г.*

У фундаментальных открытий, у великих достижений разума есть характерная особенность: они сохраняют неослабевающую власть над воображением мыслителя. Достопамятный эксперимент Фарадея с диском, вращавшимся между двумя полюсами магнита, который принес такие чудесные плоды, давным-давно вошел в повседневную практику. Но у этого зародыша современных динамо-машин и двигателей есть определенные черты, которые даже сегодня кажутся нам поразительными и достойны самого пристального изучения.

Рассмотрим, например, случай с диском из железа или другого металла, вращающимся между двумя противоположными полюсами магнита, причем полюсные поверхности полностью покрывают обе стороны диска. Допустим, что токи снимаются с диска или передаются на него с помощью контактов единообразно во всех точках периметра диска. Возьмем сперва пример двигателя. Во всех обычных двигателях работа зависит от смещения или перемены результирующей магнитного притяжения, действующего на якорь; этот процесс совершается либо посредством некоторого механического устройства в двигателе, либо благодаря действию токов соответствующего характера. Мы можем объяснить работу такого двигателя так же точно, как объясняем работу водяного колеса. Но в вышеприведенном примере с диском, полностью окруженным полюсными поверхностями, нет ни смещения магнитного воздействия, ни вообще какого-либо измене-

ния, насколько мы знаем, и тем не менее вращение происходит. Значит, здесь обычные соображения неприменимы; мы не можем дать даже поверхностного объяснения, как для обычных двигателей, и принцип работы станет для нас понятным, только когда мы распознаем саму природу задействованных сил и проникнем в глубину тайны невидимого связующего механизма.

Рассматриваемый как динамо-машина, такой диск представляет собой в равной степени интересный объект изучения. В дополнение к его характерному свойству давать токи одного направления без применения каких-либо переключающих устройств, такая машина отличается от обычных тем, что в ней нет реакции между якорем и полем. Ток якоря стремится установить магнитное воздействие под прямым углом к магнитному воздействию тока поля, но поскольку ток равномерно снимается со всех точек периметра и поскольку, выражаясь точнее, внешняя цепь также может быть установлена совершенно симметрично относительно стационарного магнита, не происходит никакой реакции. Это, однако, верно лишь до тех пор, пока магниты заряжены слабо, ибо когда они более или менее насыщены, оба магнитных воздействия под прямыми углами явно мешают друг другу.

По одной только вышеуказанной причине должно быть ясно, что **выходная мощность такой машины должна, при том же весе, быть гораздо выше, чем у любой другой машины, в которой ток якоря стремится размагнитить поле.** Выдающаяся выходная мощность униполярного динамо Форбса и опыт автора этих строк подтверждают это мнение.

Опять же, легкость, с которой такую машину можно заставить самовозбудиться, поразительна, но это может быть следствием (помимо отсутствия реакции якоря) абсолютной ровности тока и отсутствия самоиндукции.

Если полюсные поверхности не покрывают весь диск полностью с обеих сторон, тогда, разумеется, если только диск не подразделен подобающим образом, эта машина будет малоэффективна. Опять-таки и в этом случае

есть моменты, стоящие внимания. Если диск вращается, а возбуждающий ток прерывается, ток в якоре будет продолжать течь и стационарные магниты будут терять силу сравнительно медленно. Причина этого отыскивается сразу, как только мы примем во внимание направление тока в диске.

Итоговый результат будет, конечно, в большой степени зависеть от сопротивления и геометрических измерений пути результирующего вихревого тока, а также от скорости вращения: именно эти элементы определяют торможение этого тока и его положение относительно поля. Для определенной скорости будет существовать максимальное возбуждающее действие; затем, при больших скоростях, оно будет постепенно спадать до нуля и наконец примет обратное значение, то есть воздействие результирующего вихревого тока станет ослаблять поле. Этот процесс лучше всего продемонстрировать опытным путем, создав поля NS , $N'S'$ свободно движущиеся на оси, расположенной концентрически к валу диска. Если диск будет вращаться, как и прежде, в направлении стрелки D то поле будет увлекаться в том же направлении с вращающим моментом, который до определенной точки будет нарастать параллельно скорости вращения, затем начнет спадать и, пройдя через ноль, наконец примет отрицательное значение, то есть поле начнет вращаться в направлении, противоположном вращению диска. Этот интересный результат также наблюдался в экспериментах с двигателями переменного тока, в которых поле смешалось токами с отличающейся фазой. При очень низких скоростях вращения поля двигатель демонстрировал вращающий момент в 900 фунтов или более, измеренный на шкиве 12 дюймов в диаметре. Когда скорость вращения полюсов нарастала, вращающий момент уменьшался, наконец, снижался до нуля, становился отрицательным, а потом якорь начинал вращаться в противоположном направлении к вращению поля. Вернемся к главной теме. Предположим, что условия таковы, что вихревые токи, порожденные вращением диска, усиливают поле; предположим, что поле постепен-

но ослабевает, в то время как диск продолжает вращаться с увеличивающейся скоростью. Уже установившийся ток может тогда оказаться достаточным, чтобы самостоятельно поддерживать себя и даже увеличиться в силе, и тогда мы получаем пример «аккумулятора тока» эра Уильяма Томсона.

Но из вышеизложенных соображений видно, что для успеха этого эксперимента жизненно необходимо применение неподразделенного диска, поскольку если бы имело место радиальное подразделение, вихревые токи не смогли бы сформироваться, и самовозбуждающее действие прекратилось бы. Если бы использовался такой радиально подразделенный диск, было бы необходимо соединить спицы проводящим ободом или любым другим подходящим способом, чтобы сформировать симметричную систему замкнутых цепей.

Воздействие вихревых токов может быть использовано для возбуждения машины любой конструкции. Например, возможна схема, при которой может возбуждаться машина с дисковым якорем. Ряд магнитов в ней $NS, N'S'$ размещен радиально на каждой стороне металлического диска D , несущего на ободе набор изолированных обмоток CC . Магниты формируют два раздельных поля, внутреннее и внешнее, цельный диск вращается в поле, ближайшем к оси, а обмотки — в поле, расположенном дальше от нее. Допустим, магниты слегка возбуждены до старта; их можно усилить действием вихревых токов в цельном диске, чтобы обеспечить более сильное поле для обмоток периметра. Хотя нет сомнений в том, что при должных условиях машину можно возбудить таким или сходным образом и существуют весомые экспериментальные свидетельства, подтверждающие такое мнение, подобный способ возбуждения был бы расточительным.

Но униполярное динамо, или двигатель, можно эффективно возбуждать, просто правильно подразделив диск или цилиндр, в котором зарождаются токи, и тогда возможно отказаться от обмоток, которые обычно применяются. Такая схема показана на рис. 1. Предполагается, что диск или

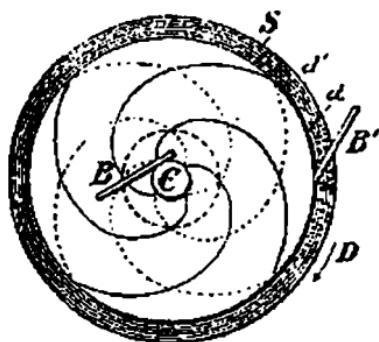


Рис. 1

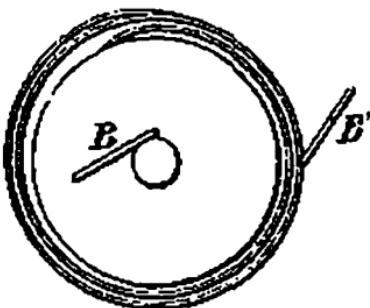


Рис. 2

цилиндр D будет вращаться между двумя полюсами N и S магнита, которые полностью покрывают обе его стороны; контуры диска и полюсов представлены кругами d и d' соответственно; верхний полюс отсутствует на рисунке ради ясности изображения.

Сердечники магнита должно делать полыми, чтобы ось C диска проходила сквозь них. Если непомеченное на рисунке поле находится внизу и диск вращается по часовой стрелке, ток направляется, как и прежде, от центра к окружности и может сниматься подходящими скользящими контактами B B' на оси и периметре соответственно. При такой схеме ток, движущийся через диск и внешнюю цепь, не будет оказывать заметного влияния на возбуждающий магнит.

Но давайте предположим, что диск подразделен по спирали, как показано сплошными или пунктирными линиями на рис.1. Разность потенциалов между точкой на оси и точкой на периметре осталась бы неизменной как по знаковому, так и по количественному показателю. Единственная разница будет заключаться в том, что сопротивление диска усилится и будет иметь место большее снижение потенциала от точки на оси к точке на периметре, когда тот же ток проходит по внешней цепи. Но поскольку ток принужден следовать линиям подразделения, мы видим, что он будет склонен либо возбуждать, либо разряжать поле, и это будет зависеть при прочих равных условиях от направления линий подразделения. Если подразделение

будет таким, как показано сплошными линиями на рис. 1, очевидно, что при токе того же направления, что и раньше, то есть от центра к окружности, его действие будет усиливать стационарный магнит. Если же подразделение будет таким, как показано с помощью пунктирных линий, вырабатывающийся ток будет стремиться ослабить магнит. В первом случае машина будет способна самовозбуждаться, когда диск вращается в направлении стрелки D; в последнем случае направление вращения должно быть обратным. Однако два таких диска можно совместить, как указано, чтобы они вращались в противоположных полях в одном или разных направлениях.

Похожее расположение, разумеется, может быть применено в том типе машин, где вместо диска вращается цилиндр. В таких униполярных машинах можно, как показано, убрать обычные возбуждающие катушки и полюса, и машина может состоять только из цилиндра или двух дисков, заключенных в металлический корпус.

Вместо подразделения диска или цилиндра по спирали, как показано на рис. 1, будет удобнее ввести один или несколько витков между диском и контактным кольцом на периметре, как показано на рис. 2.

Например, этим способом можно возбуждать динамо Форбса. На собственном опыте автор выяснил, что **вместо снятия тока с двух таких дисков посредством скользящих контактов, как обычно делается, можно с выгодой применять гибкий проводящий ремень**. В таком случае диски снабжаются широкими фланцами, обеспечивающими очень большую площадь контактной поверхности. Ремень должен быть сделан так, чтобы его удерживали на фланцах пружины, уравновешивающие растяжение. Автором два года назад были сконструированы несколько машин с ременными контактами, и работали они удовлетворительно; но за недостатком времени работа в этой области была временно приостановлена. Ряд характерных особенностей, указанных выше, был также использован автором в связи с некоторыми типами двигателей переменного тока.

ЭКСПЕРИМЕНТЫ С ПЕРЕМЕННЫМИ ТОКАМИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ И ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

*Лекция в Институте инженеров-электриков,
Лондон, февраль 1892 г.*

Мне трудно отыскать слова, чтобы выразить, насколько глубоко я дорожу оказанной мне честью выступить перед выдающимися мыслителями нашего времени, перед столь многими талантливыми людьми науки, инженерами и электриками страны, величайшей в мире по своим научным достижениям.

Результаты исследований, которые я имею честь обнародовать перед столь выдающимся собранием, я не могу назвать своей личной собственностью. Среди вас немало тех, кто имеет большее, чем я, право претендовать на любое открытие или идею, о которых пойдет речь в этой лекции. Мне нет нужды называть много всемирно известных имен — имен тех из вас, кто является признанными лидерами в этой чарующей науке. Но одно имя, по крайней мере, я упомянуть обязан — имя, без которого нельзя обойтись при проведении подобной демонстрации. Это имя, связанное с самым прекрасным изобретением из всех существующих на свете: это имя — Крукс!

Во время учебы в колледже, а это было довольно давно, я прочел в переводе (ибо тогда не был знаком с вашим чудесным языком) описание его экспериментов с лучистой материей. Прочел я его лишь раз в жизни, именно тогда, но каждую подробность этой прелестной работы я помню и по сей день. Не много на свете книг, должен сказать, которые могут произвести такое впечатление на ум студента.

Но если в данном случае из многих имен, которыми может гордиться ваш институт, я упоминаю именно его — у меня есть для этого не одна причина. Ибо то, что я собираюсь рассказать и показать вам сегодня вечером, в огромной степени касается того самого туманного мира, который профессор Крукс столь талантливо исследовал. Более того, когда я прослеживаю вспять тот умственный процесс, что привел меня к достижениям, которые даже я сам не могу счесть безделицей, поскольку они встретили такое одобрение с вашей стороны, я верю, что их истинным истоком, подвигнувшим меня к работе в этом направлении и приведшим после долгих непрестанных размышлений к нынешним результатам, был тот самый восхитительный маленький томик, который я прочел много лет назад.

А теперь, сделав неловкую попытку выразить почтение и засвидетельствовать свою признательность ему, равно как и вам, я приступаю ко второй попытке, которую, надеюсь, вы не сочтете такой слабой, как первая, — попытке развлечь вас.

Позвольте в нескольких словах представить вам сегодняшнюю тему.

Не так давно я имел честь опубликовать перед нашим Американским институтом инженеров-электриков некоторые результаты, достигнутые мною на тот момент в новой области работы. Мне нет необходимости уверять вас, что полученные мною многие свидетельства того, что английские ученые и инженеры проявили интерес к этой работе, явились для меня великой наградой и поощрением. Я не стану распространяться об уже описанных экспериментах, если только это не будет необходимо, чтобы дополнить или более ясно выразить некоторые идеи, выдвинутые мною прежде, а также чтобы придать представляемым здесь исследованиям законченность, а своим замечаниям по сегодняшней теме — последовательность.

Эти исследования, само собой разумеется, связаны с переменными токами, а если быть более точным, то с переменными токами высокого напряжения и высокой час-

тоты. До какой степени очень высокая частота важна для достижения рассматриваемых результатов — вопрос, на который, даже при моем теперешнем опыте, я бы затруднился дать ответ. Некоторые из этих экспериментов могут проводиться при низких частотах. Но очень высокие частоты желательны не только из расчета получения многих эффектов, которые обеспечивает их применение, но также и в качестве удобного средства создания в используемых индукционных аппаратах высоких потенциалов, которые, в свою очередь, необходимы для демонстрации большинства рассматриваемых экспериментов.

Из всех разнообразных ответвлений исследований, связанных с электричеством, возможно, самым интересным и одновременно самым многообещающим является то, которое имеет дело с переменными токами. Прогресс прикладной науки в этом направлении за последние годы настолько велик, что это оправдывает самые оптимистические надежды. Едва мы знакомимся с одним фактом, как тут же сталкиваемся с новым опытом, тут же открываются новые широкие пути исследований. Уже сейчас благодаря применению таких токов частично реализуются возможности, о которых прежде и не мечтали. Как в природе все приходит и уходит, все пребывает в волнобразном движении, так, кажется, и во всех отраслях промышленности переменные токи — движение электрических волн — будут задавать ритм и править бал.

Одна возможная причина того, что эта отрасль науки столь быстро развивается, кроется в интересе, испытываемом к ее экспериментальному изучению. Мы наматываем на простое железное кольцо катушки; мы устанавливаем соединения с генератором и с удивлением и восторгом наблюдаем действия странных сил, вызванных нами к жизни сил, которые позволяют нам преобразовывать, передавать и направлять энергию по своей воле. Мы тщательно собираем электрические цепи и видим, как масса железа и проводов ведет себя так, будто в нее вдохнули жизнь, благодаря невидимым связям вращая тяжелый якорь с потрясающей скоростью и мощью — используя энергию, которую мож-

но направить с огромного расстояния. Мы наблюдаем, как энергия переменного тока, идущая по проводу, проявляет себя — не столько в самом проводе, сколько в окружающем пространстве — самым удивительным образом, принимая форму тепла, света, механической энергии и, что самое удивительное, даже химических взаимодействий. Все эти наблюдения восхищают нас и наполняют страстным желанием узнать больше о природе этих феноменов. Каждый день мы приступаем к работе с надеждой на открытие, с надеждой, что кто-нибудь, неважно кто именно, сможет найти решение одной из маячащих перед нами великих проблем, и каждый новый день мы возвращаемся к нашим трудам с обновленным рвением. И даже если мы сегодня не преуспели, наша работа не была напрасной, ибо в этих стараниях, в этих усилиях мы обрели многие часы несказанного удовольствия и направляли нашу энергию на благо рода людского.

Мы можем взять — наугад, если хотите — любой из множества экспериментов, проводимых над переменными токами, из которых лишь немногие, и уж никоим образом не самые поразительные, составляют предмет сегодняшней демонстрации. Все они одинаково интересны, все одинаково побуждают к размышлению.

Вот простая стеклянная трубка, из которой частично откачен воздух. Я беру ее в руку, я вступаю в телесный контакт с проводом, проводящим переменный ток высокого напряжения, и трубка в моей руке ярко освещается. Какое бы положение я ей ни придал, куда бы я ни передвинул ее в пространстве в пределах досягаемости, ее мягкий, приятный свет сохраняет неослабевающую яркость.

Вот вакуумная колба, подвешенная на одном проводе. Стоя на изолированной подставке, я беру ее в руку, и помещенная в нее платиновая головка ярко раскаляется.

Вот еще одна колба, прикрепленная к проводу подводки, которая, когда я касаюсь ее металлического патрона, наполняется чудесными оттенками фосфоресцентного света.

А вот еще одна, которая при прикосновении моих пальцев отбрасывает тень — тень Крукса — от находящегося внутри ее стержня.

А вот, опять встав на изолированную подставку, я вступаю в телесный контакт с одной из клемм вторичной обмотки этой индукционной катушки, длина провода которой составляет много миль, и вы видите потоки света, вырывающиеся из ее дальнего конца, который неистово вибрирует.

А вот еще пример: я присоединяю эти две пластины из проволочной сетки к клеммам катушки, развожу их в стороны и включаю катушку. Вы видите искорки, проскакивающие между пластинами. Я ввожу между ними толстую пластину из одного из лучших диэлектриков и вместо того, чтобы, как мы привыкли ожидать, сделать прохождение разряда невозможным, я ему помогаю, причем разряд, когда я ввожу пластину, просто меняет обличье и принимает форму световых потоков.

Есть ли, спрашиваю я, и может ли быть что-либо более интересное, чем изучение переменных токов?

Во всех этих столь захватывающих исследованиях, во всех этих экспериментах многих лет — с тех самых пор, как великий экспериментатор, читавший лекции в этом зале, открыл ее принцип — у нас была верная спутница, знакомая всем и каждому, когда-то игрушка, а ныне вещь огромной важности — **индукционная катушка**. Нет прибора, более дорогого для сердца человека, исследующего электричество. От самого талантливого из вас, осмелюсь сказать, до неопытного студента и до вашего сегодняшнего докладчика — все мы провели множество приятнейших часов, экспериментируя с индукционной катушкой. Мы наблюдали ее в действии, размышляли над прекрасными феноменами, которые открывались нашим восхищенным взорам. Этот аппарат столь хорошо известен, эти феномены столь знакомы каждому, что я едва отваживаюсь подумать, что решился обратиться к столь знающей аудитории, осмелившись развлечь вас такой старой темой. Вот перед вами тот самый аппарат и те же самые феномены — только

аппарат работает несколько по-другому, а феномены представлены с иных позиций. Некоторые результаты оказываются теми, которых мы ожидали, другие удивляют нас, но все они завладевают нашим вниманием, ибо в научном исследовании каждый вновь достигнутый результат может быть новой отправной точкой, каждый вновь изученный факт может привести к новому развитию.

Обычно при работе с индукционной катушкой мы вызываем колебания умеренной частоты в первичной обмотке, либо посредством прерывателя или размыкателя, либо с помощью генератора переменного тока. Ранние английские исследователи, упомянуть хотя бы Споттисвуда и Гордона, использовали в соединении с катушкой быстрый размыкатель. Наши сегодняшние знания и опыт дают нам возможность ясно увидеть, почему катушки в условиях тех экспериментов не обнаруживали никаких примечательных феноменов и почему способные экспериментаторы не смогли увидеть многие из любопытных эффектов, наблюдавшихся впоследствии.

В таких экспериментах, которые демонстрируются сегодня, мы питаем катушку либо от специально сконструированного генератора переменного тока, способного выдавать много тысяч колебаний тока в секунду, либо, разряжая конденсатор пробоем в первичную цепь, создаем во вторичной обмотке колебания с частотой во много тысяч или миллионов раз в секунду, если того захотим. И, применяя любое из этих средств, мы вступаем в область, доселе неизведенную.

Невозможно проводить исследования в каком угодно новом направлении и не сделать наконец какое-нибудь интересное наблюдение или не узнать какой-нибудь полезный факт. Тому, что это утверждение применимо к теме данной лекции, обеспечивают убедительное доказательство многие любопытные и неожиданные феномены, которые мы наблюдаем. В порядке иллюстрации давайте возьмем, например, самые очевидные феномены — **феномены разряда индукционной катушки**.

Вот катушка, которая приводится в действие токами, колеблющимися с крайней быстротой, получаемыми от пробойного разряда лейденской банки. Знатока не удивит, если докладчик скажет, что вторичная обмотка этой катушки состоит из небольшого отрезка сравнительно прочного провода. Его не удивит, если докладчик скажет, что, несмотря на это, катушка способна выдать любой потенциал, какой сможет выдержать лучшая изоляция витков. Но пусть этот знаток и подготовлен и пусть он даже равнодушен к ожидаемому результату, все же внешний вид этого разряда удивит и заинтересует его. Все знакомы с разрядом обычной катушки, и нет нужды воспроизводить его здесь. Но вот, для контраста, форма разряда катушки, первичный ток которой вибрирует с частотой в несколько сот тысяч колебаний в секунду. **Разряд обычной катушки выглядит как простая линия или полоса света. Разряд этой катушки проявляется в форме мощных кистей и световых потоков, струящихся из всех точек двух прямых проводов, прикрепленных к клеммам второй обмотки.**

А теперь сравните этот феномен с тем, который вы только что видели при разряде машины Хольтца или Вимшурста — еще одного интересного прибора, столь дорогого экспериментатору. Какая огромная разница между этими феноменами! И все же, проведи я необходимые приготовления — их было бы легко сделать, если бы они не помешали другим экспериментам, — я мог бы добиться с этой катушкой появления искр. Если бы я скрыл катушку от ваших глаз, оставив на виду только два ее контакта, даже самому внимательному наблюдателю среди вас было бы трудно, если не невозможно, отличить эти искры от искр электрофорной или фрикционной машины. Этого эффекта можно достичь многими способами — например питая индукционную катушку, которая заряжает конденсатор, от генератора переменного тока очень низкой частоты и отрегулировав, что предпочтительно, разрядную цепь так, чтобы в ней не возникало колебаний. Тогда, если подобраны и правильно установлены головки контактов нужного размера, мы получаем во второй обмотке бо-

лее или менее быструю последовательность искр большой силы и малого количества, которые обладают той же яркостью и сопровождаются тем же резким треском, что и полученные от фрикционной или электрофорной машины.

Другой способ — пропускать через две первичные обмотки, имеющие общую вторичную, ток со слегка разнящимся периодом, который порождает во вторичной обмотке искры, возникающие через сравнительно долгие интервалы. Но даже с теми средствами, которые у меня сегодня под рукой, я могу успешно имитировать искру от машины Хольтца. Для этой цели я устанавливаю между клеммами катушки, которая заряжает конденсатор, длинную нестабильную дугу, которая периодически прерывается порождаемым ею восходящим потоком воздуха. Чтобы усилить поток воздуха, я устанавливаю по обеим сторонам от дуги вблизи от нее по большой пластине из слюды. Конденсатор, заряжаемый от этой катушки, разряжается в первичную цепь второй катушки через маленький воздушный промежуток, который необходим для того, чтобы вызвать внезапное и резкое нарастание тока в первичной цепи. Схема соединений в этом эксперименте показана на рис. 1.

Буквой *G* обозначен генератор переменного тока обычной конструкции, питающий первичную обмотку *P* индукционной катушки, вторичная обмотка *S* которой заряжает конденсатор или банки *CC*. Клеммы вторичной обмотки соединены с внутренними обкладками банок,

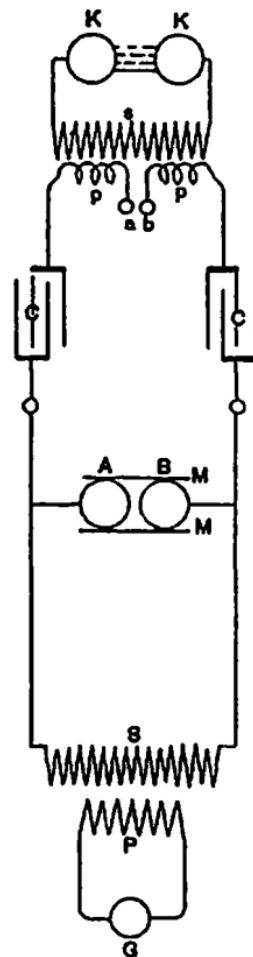


Рис. 1. Имитация искры
в машине Хольтца

внешние обкладки соединены с концами первичной обмотки *pp* второй индукционной катушки. В этой первичной цепи *pp* есть небольшой воздушный промежуток *ab*.

Вторичная обмотка *s* этой катушки снабжена головками или шарами *KK* нужного размера, установленными на расстоянии, необходимом для этого эксперимента.

Между клеммами первой индукционной катушки *AB* устанавливается длинная дуга. Буквами *MM* обозначены слюдяные пластины.

Каждый раз, как прерывается дуга между *A* и *B*, банки быстро заряжаются и разряжаются через первичную обмотку *pp*, производя проскаивающую с треском искру между головками *KK*. После формирования дуги между *A* и *B* потенциал падает, и банки не могут зарядиться до такого высокого потенциала, чтобы пробить воздушный промежуток *ab* до тех пор, пока дуга не будет снова прервана потоком воздуха.

Таким образом в первичной обмотке *pp* возникают резкие импульсы через долгие интервалы, что во вторичной обмотке *s* дает соответствующее число импульсов большой мощности. Если головки или шары *KK* во вторичной обмотке будут нужного размера, искры будут отличаться большим сходством с искрами машины Хольтца.

Но эти эффекты, которые кажутся взгляду столь различными, — это только два из множества разрядных феноменов. Нам нужно всего лишь изменить условия опыта — и мы получим новые интересные наблюдения.

Когда вместо того, чтобы питать катушку так, как в двух последних опытах, мы питаем ее от генератора переменного тока высокой частоты, как в следующем эксперименте, систематическое изучение этих феноменов становится значительно проще. В этом случае, **варьируя силу и частоту токов в первичной обмотке, мы можем наблюдать пять различных форм разряда**, которые я описал в предыдущей работе по данной теме, представленной перед аудиторией Американского института инженеров-электриков 20 мая 1891 года.

Воспроизведение всех этих форм отняло бы слишком много времени и уело бы нас слишком далеко в сторону от темы, но мне кажется желательным продемонстрировать вам одну из них. Это кистевой разряд, феномен, интересный во многих отношениях. Если рассматривать его вблизи, он очень напоминает струю газа, вырывающуюся под большим давлением. Мы знаем, что это явление — результат возбуждения молекул вблизи клеммы, и ждем, что столкновение молекул с клеммой или друг с другом вызовет некоторый нагрев. Разумеется, мы обнаруживаем, что кисть горячая, и не требуется долгих размышлений, чтобы прийти к выводу, что, всего лишь достигнув достаточно высокой частоты, мы сумели бы вызвать кисть, дающую интенсивный свет и тепло и во всех отношениях напоминающую обычное пламя, кроме, быть может, того, что эти два феномена обязаны своим происхождением разным действующим силам и химическая реакция необязательно должна быть электрической по своей природе.

Поскольку производство тепла и света в данном примере является следствием столкновения молекул или атомов воздуха или, может быть, еще какого-то фактора и поскольку мы можем увеличить энергию, просто подняв потенциал, мы могли бы даже с частотами, получаемыми от динамо-машины, усилить воздействие до такой степени, чтобы раскалить клемму до точки плавления. Но при таких низких частотах нам всегда пришлось бы иметь дело с тем, что заложено в самой природе электрического тока. Если я подношу к кисти проводящий предмет, то проскаивает маленькая искра, однако даже при тех частотах, что применяются сегодня вечером, тенденция к искрению не слишком велика. Так, например, если я держу металлический шар на некотором расстоянии над клеммой, то вы можете видеть, как все пространство между клеммой и шаром освещено потоками без всякого прохождения искры. И при гораздо более высоких частотах, получаемых от пробойного разряда конденсатора, если бы не резкие импульсы, число которых сравнительно невелико, искрение не возникло бы даже на очень небольших расстояниях.

Однако при несравненно более высоких частотах, для эффективного получения которых нам еще предстоит найти средства, и при условии, что электрические импульсы такой высокой частоты можно будет передавать через проводник, электрические характеристики кистевого разряда полностью исчезли бы — ни прохождения искры, ни ощущимого удара током. И все же мы по-прежнему имели бы дело с **электрическим феноменом**, но только в широком, современном смысле слова. В своей первой лекции, на которую я уже ссылался раньше, я указывал на любопытные свойства кисти и описал лучший способ добиться ее появления, но решил, что имеет смысл попытаться выразить свою мысль в отношении этого феномена более ясно, поскольку он представляет всепоглощающий интерес.

Когда катушка питается токами очень высокой частоты, можно вызвать прекрасные кистевые эффекты, даже если катушка будет очень небольших размеров. Экспериментатор может варьировать их множеством способов, и они представляют собою красивейшее зрелище, даже если это было бы единственным их достоинством. Что еще интереснее — они могут с равным успехом возникать как на одной клемме, так и на двух; на самом деле, часто даже лучше использовать одну клемму, чем две.

Но из всех наблюдаемых разрядных феноменов наиболее приятны глазу и наиболее поучительны те, что возникают при использовании катушки, питаемой от пробойных разрядов конденсатора. Когда условия отложены с терпением и тщанием, то мощь кистевых разрядов и обилие искр зачастую просто изумительны. Даже с применением очень маленькой катушки, если она достаточно хорошо изолирована, чтобы выдерживать потенциал в несколько тысяч вольт на один виток, искры могут образовываться в таком обилии, что вся катушка кажется сплошным сгустком пламени.

Удивительно то, что, когда контакты катушки размещены на значительном расстоянии, искры, кажется, устремляются во всех возможных направлениях сразу, как будто клеммы полностью независимы друг от друга. Так

как искры могли бы вскоре повредить изоляцию, их появление необходимо предотвращать. Лучше всего для этого погрузить катушку в какой-либо хороший жидкий изолятор, такой как прокипяченное масло. Погружение в жидкость можно рассматривать как почти абсолютную необходимость ради продолжительной и успешной работы такой катушки.

Конечно, не может быть и речи о том, чтобы в ходе экспериментальной лекции, при наличии всего нескольких минут на исполнение каждого эксперимента, продемонстрировать эти феномены с наилучшей стороны, поскольку для того, чтобы показать каждый феномен в наиболее выгодном свете, требуется весьма тщательная отладка оборудования. Но даже при несовершенном исполнении, как, вероятно, и будет нынешним вечером, они достаточно поразительны, чтобы заинтересовать ученую аудиторию.

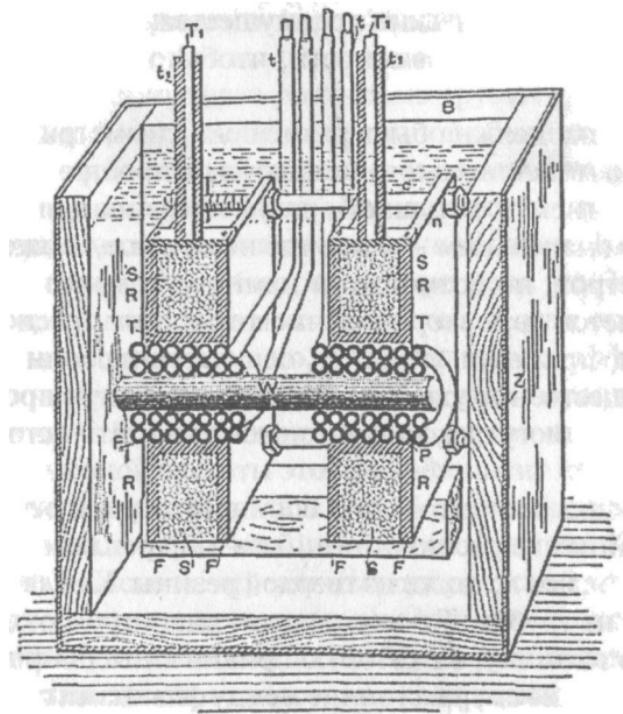


Рис. 2. Катушка для получения пробойного разряда

Прежде чем продемонстрировать некоторые из этих любопытных эффектов, я должен, ради полноты картины, дать краткое описание катушки и других аппаратов, используемых в экспериментах с пробойным разрядом этим вечером.

Катушка находится в ящике *B* (рис. 2), сделанном из толстых досок твердого дерева, покрытых снаружи цинковым листом *Z*, тщательно запаянным со всех сторон. При строго научном исследовании, когда точность имеет огромное значение, рекомендуется отказаться от металлического покрытия, поскольку оно может стать причиной многих ошибок в работе, в основном из-за его комплексного воздействия на катушку как в качестве конденсатора очень малой емкости, так и в качестве электростатического и электромагнитного экрана. Когда катушка применяется для таких экспериментов, которые рассматриваются сегодня, использование металлического покрытия дает некоторые практические преимущества, но они не имеют столь существенной важности, чтобы о них распространяться.

Катушка должна быть размещена симметрично относительно металлического покрытия, и пространство между покрытием и катушкой, разумеется, не должно быть слишком маленьким — уж точно не меньше, скажем, пяти сантиметров, но возможно и намного больше. Особенно это касается двух сторон цинкового ящика, расположенных под прямыми углами к оси катушки: они должны быть существенно удалены от нее, поскольку в противном случае они могут ухудшить ее работу и стать источником утечек.

Катушка состоит из двух бобин из твердой резины *RR*, разнесенных на расстояние в 10 см и закрепленных болтами с и гайками *n*, также из твердой резины. Каждая бобина состоит из трубки *T* с внутренним диаметром около 8 см и 3 мм в толщину, на которую привинчены два фланца *FF* со стороной 24 см, расстояние между фланцами около 3 см. Вторичная обмотка *SS* из лучшего изолированного гуттаперчей провода имеет 26 слоев по 10 витков в каждом, что

дает в сумме 260 витков. Две половины обмотки намотаны противоположно и соединены последовательно, соединение между ними сделано через первичную обмотку. Такое расположение, помимо того что удобно, обладает тем преимуществом, что когда катушка хорошо сбалансирована, то есть когда обе ее клеммы $T_1 T_1$ соединены с телами или устройствами равной емкости, то нет большого риска пробоя на первичную обмотку, и изоляцию между первичной и вторичной обмотками необязательно делать толстой. При работе с катушкой рекомендуется подключать к обеим ее клеммам устройства примерно равной емкости, поскольку, если емкость на клеммах не равна, искры могут пробить на первичную обмотку. Чтобы избежать этого, срединную точку вторичной обмотки можно соединить с первичной обмоткой, но это не всегда осуществимо.

Первичная обмотка PP состоит из двух частей, намотанных противоположно на деревянную бобину W , и четыре ее конца выведены через масло сквозь трубы из твердой резины tt . Концы первичной обмотки $T_1 T_1$ также выведены из масла через резиновые трубы $t_1 t_1$ большой толщины. Слои первичной и вторичной обмоток изолированы хлопковой тканью, толщина изоляции, разумеется, находится в пропорциональной зависимости от разности потенциалов между витками различных слоев. В каждой половине первичной обмотки четыре слоя по 24 витка в каждом, что дает в сумме 96 витков. Когда обе части соединены последовательно, это дает нам коэффициент преобразования примерно в 1 2,7, а при параллельном соединении — 1 5,4; но при работе с переменными токами очень высокой частоты этот коэффициент не дает даже приблизительного представления об отношении электродвижущих сил в первичной и вторичной цепях. Катушка закреплена в масле на деревянных опорах; слой масла, окружающего катушку, со всех сторон составляет около 5 см. Там, где присутствие масла не особенно необходимо, пространство заполняется древесными опилками, и главным образом для этой цели используется деревянный ящик, содержащий всю конструкцию.

Показанная здесь конструкция, конечно, не наилучшая с точки зрения общих принципов, но я полагаю, что она достаточно хороша и удобна для производства эффектов, в которых требуются крайне высокий потенциал и очень маленькая сила тока.

В соединении с катушкой я использую либо обычную форму разрядника, либо модифицированную. В первую я внес два изменения, которые обеспечивают некоторые преимущества, вполне очевидные. Упоминаю о них только в надежде, что кто-нибудь из экспериментаторов сочтет их полезными.

Одно из изменений состоит в том, что подвижные головки разрядника *A* и *B* удерживаются в медных зажимах *JJ* с помощью давления пружины, что позволяет легко поворачивать их в разные положения и таким образом покончить с нудным процессом частой полировки.

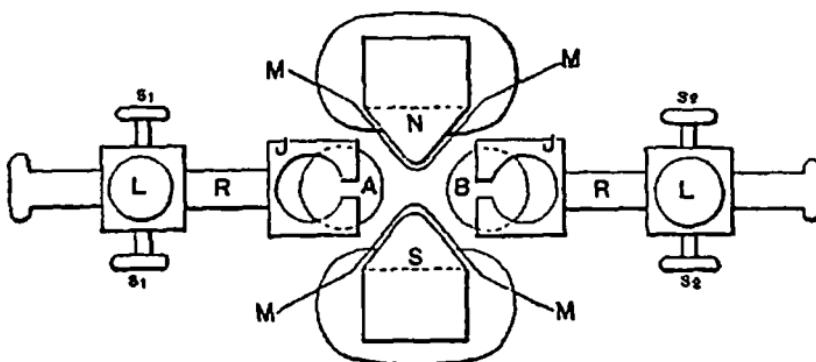


Рис. 3. Конструкция с усовершенствованным разрядником и магнитом

Второе изменение состоит в применении мощного электромагнита *NS*, который размещается так, чтобы его ось составляла прямой угол с линией, соединяющей головки *A* и *B*, и создает между ними сильное магнитное поле. Полюсные наконечники магнита подвижны, им придана такая форма, чтобы они выдавались в пространство между латунными головками, с целью сделать магнитное поле настолько мощным, насколько возможно. Но чтобы пре-

дотвратить соскакивание разряда на магнит, полюсные наконечники защищены слоем слюды ММ значительной толщины. Буквами $s_1 s_1$ и $s_2 s_2$ обозначены крепежные болты для проводов. На каждой стороне один из болтов пред назначен для крепления большого провода, а другой — для малого. Буквы LL обозначают болты для жесткого крепления стержней RR , на которых держатся головки.

В другой конструкции с магнитом я создаю разряд между самими скругленными полюсными наконечниками, которые в таком случае надо изолировать и желательно снабдить полированными латунными колпачками.

Применение мощного магнитного поля выгодно в основном тогда, когда индукционная катушка или трансформатор, заряжающий конденсатор, питается токами очень низкой частоты. В этом случае число основных разрядов между головками может оказаться настолько малым, что сделает образующиеся во вторичной обмотке токи непригодными для многих экспериментов. Тогда интенсивное магнитное поле служит для гашения дуги между головками, как только та сформируется, и основные разряды следуют друг за другом в более быстром темпе.

Вместо магнита можно с успехом использовать поток воздуха или поддув. В этом случае дугу желательно устанавливать между головками A и B , как на рис. 1 (головки a и b либо соединены, либо вообще отсутствуют), поскольку в этом расположении дуга будет длинной и нестабильной и на нее легко воздействовать потоком воздуха.

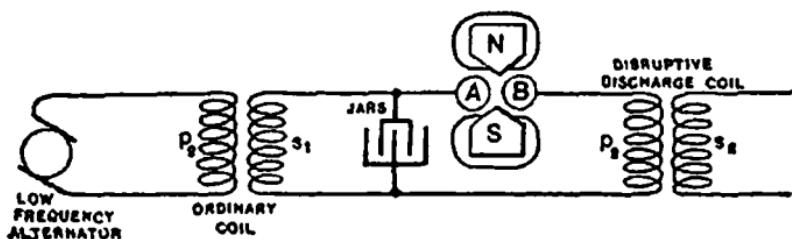


Рис. 4. Конструкция с генератором переменного тока низкой частоты и улучшенным разрядником

Когда для прерывания дуги используется магнит, лучше выбрать соединение, схематично показанное на рис. 4, поскольку в этом случае токи, формирующие дугу, сильнее, и магнитное поле оказывает большее влияние. Применение магнита позволяет, кстати, заменить дугу вакуумной трубкой, но при работе с ней я столкнулся с большими трудностями.

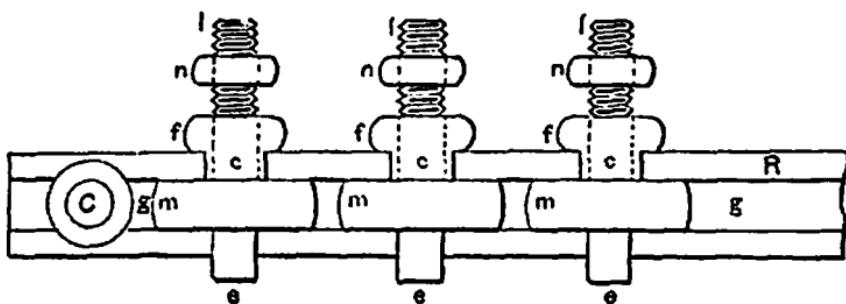


Рис. 5. Разряд при множественных воздушных промежутках

Другая форма разрядника, используемого в этих и других похожих экспериментах, показана на рис. 5 и 6. Он состоит из ряда латунных элементов *cc* (рис. 5), каждый из которых включает шарообразную срединную часть *m* с выступом *e* снизу (который используется лишь для закрепления элемента в токарном станке при полировке разрядной поверхности) и стержнем наверху, который состоит из рельефного фланца *f*, заканчивающегося нарезным стержнем *l*, несущим гайку *n*, с помощью которой к стержню крепится провод. Фланец *f* служит для удерживания латунного элемента в момент закрепления провода, а также для поворачивания его в любое положение, когда возникает необходимость открыть свежую разрядную поверхность. Две плотных полосы твердой резины *RR* с нарезанными желобками *gg* (рис. 6) для удерживания средней части элементов *cc* служат для жесткого закрепления их посредством двух болтов *CC* (из них показан только один), проходящих сквозь концы полос.

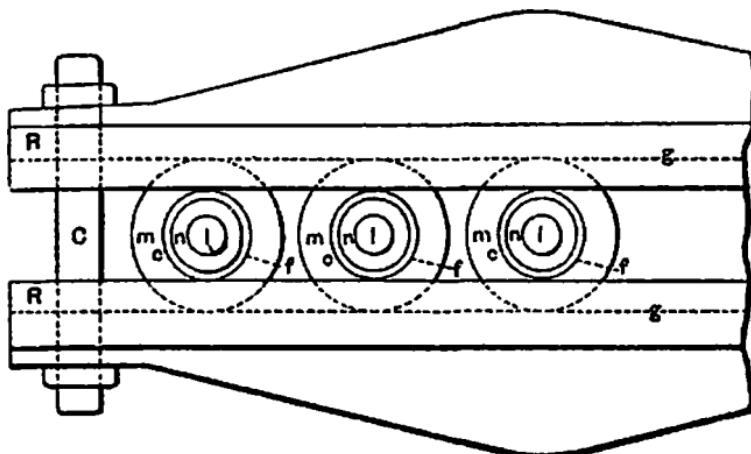


Рис. 6. Разрядник с множественными разрядными промежутками

Применяя этот тип разрядника, я обнаружил три его принципиальных преимущества перед обычной формой. Во-первых, диэлектрическая прочность заданного суммарного воздушного пространства больше, когда вместо одного воздушного промежутка используются много маленьких, что позволяет работать с меньшей длиной воздушного промежутка, а это означает меньшие потери и меньший износ металла. Во-вторых, благодаря разбиению дуги на несколько меньших дуг полированные поверхности могут продержаться намного дольше. И в-третьих, этот аппарат позволяет проводить некоторую подгонку в ходе эксперимента. Я обычно устанавливаю элементы, прокладывая между ними листы или пластинки одинаковой толщины, на определенное, очень маленькое расстояние, о котором из опытов сэра Уильяма Томсона известно, какая именно электродвижущая сила требуется в нем для прохождения искры.

Следует, конечно, помнить, что искровой промежуток сильно уменьшается по мере нарастания частоты. Применив любое количество промежутков, экспериментатор получает приблизительное представление об электродвижущей силе, и затем эксперимент повторить легче, поскольку ему не надо утруждаться, снова и снова выставляя

элементы. При помощи разрядника этого типа я сумел поддерживать колебательное движение без всяких видимых невооруженным глазом искр между элементами и без слишком значительного повышения их температуры. Эта форма разрядника также применима во многих схемах конденсаторов и электрических цепей, что весьма удобно и экономит время. Обычно я использовал ее в схеме, похожей на изображенную на рис. 1, где сила токов, формирующих дугу, невелика.

Я также могу здесь упомянуть, что использовал разрядники с одинарным или множественными воздушными промежутками, в которых разрядные поверхности вращались с большой скоростью. Однако такой метод не обеспечил никаких особых преимуществ, кроме тех случаев, когда сила токов от конденсатора была велика и постоянное охлаждение поверхностей было необходимостью, а также в случаях, когда разряд сам не колебался, и дуга, едва установившись, прерывалась током воздуха, порождая быструю последовательность колебаний. Я также по-разному применял и механические прерыватели. Чтобы избежать трудностей с трущимися контактами, самым предпочтительным способом действия было установить дугу и вращать сквозь нее на большой скорости слюдяной обод со множеством отверстий, укрепленный на стальной пластине.

Разумеется, понятно, что применение магнита, потока воздуха или другого прерывателя производит достойный внимания эффект, если только самоиндукция, емкость и сопротивление не связаны между собой так, что колебания возникают при каждом прерывании.

Теперь я попытаюсь показать вам некоторые из наиболее стоящих упоминания разрядных феноменов.

Я натянул поперек помещения два обычных изолированных хлопком провода, каждый около 7 м длиной. Они подвешены на изолирующих шнурах на расстоянии около 30 см. Теперь я прикрепляю к каждой из клемм катушки по одному проводу и запускаю катушку. После выключения света вы видите, что провода ярко освещаются пото-

ками, обильно струящимися со всей их поверхности, несмотря на наличие хлопкового покрытия, которое может быть довольно толстым. Если этот эксперимент проводится при должных условиях, свет от проводов достаточно ярок, чтобы различать предметы в помещении. Чтобы добиться наилучшего результата, разумеется, необходимо тщательно отрегулировать емкость банок, дугу между головками катушки и длину проводов. Мой опыт показывает, что в данном случае предварительный расчет длины проводов не дает совершенно никакого результата. Экспериментатор поступит правильнее всего, если возьмет вначале очень длинные провода, а затем будет регулировать их длину, отрезая сперва длинные куски, потом все короче и короче, пока не достигнет нужной длины.

В данном и других сходных экспериментах удобно использовать масляный конденсатор очень малой емкости, состоящий из двух маленьких подвижных металлических пластинок. В таком случае я беру довольно короткие провода и поначалу размещаю пластины конденсатора на максимальном расстоянии. Если световые потоки на проводах усиливаются при сближении пластин, то длина проводов близка к правильной; если уменьшаются — значит, провода слишком длинны для данной частоты и напряжения. Когда в соединении с катушкой в этих экспериментах применяется конденсатор, он в любом случае должен быть масляным, поскольку при использовании воздушного конденсатора может быть потеряно существенное количество энергии. Провода подводки к погруженным в масло пластинам должны быть очень тонкими, плотно изолированными слоем какого-либо искусственного изолятора и снабжены проводящей оплеткой, причем желательно, чтобы она уходила под поверхность масла. Проводящая оплетка не должна находиться близко к клеммам или концам провода, поскольку с провода на нее может соскочить искра. Проводящее покрытие используется для уменьшения воздушных потерь благодаря его действию в качестве электростатического экрана. Что касается размеров сосуда, содержащего масло, и размеров пластин, то

экспериментатор получит представление о них из первого чернового опыта. Размер пластин, погруженных в масло, однако, можно вычислить заранее, поскольку диэлектрические потери в масле очень малы.

В предыдущем эксперименте довольно интересно было бы выяснить, какое соотношение существует между количеством излученного света и частотой и потенциалом электрических импульсов. Мое мнение таково, что как полученные тепловые, так и световые эффекты при прочих равных условиях опытов пропорциональны произведению частоты и квадрата потенциала. Но любое экспериментальное подтверждение этого закона, вне зависимости от его формы, было бы крайне затруднительным. Одно, во всяком случае, известно точно — что при увеличении потенциала и частоты мы получаем быстрое усиление потоков; и хотя это может показаться чрезмерным оптимизмом, предположение, что мы можем преуспеть в создании на этой основе практического источника света, явно не вполне безнадежно. Тогда бы мы просто использовали горелки или огни, в которых не происходило бы никакого химического процесса, а лишь одна только передача энергии, и которые, по всей вероятности, давали бы больше света и меньше тепла, чем обычное пламя.

Световая интенсивность потоков, конечно, существенно возрастает, когда они сфокусированы на небольшой поверхности. Это можно продемонстрировать при помощи следующего эксперимента.

Я присоединяю к одной из клемм катушки провод, согнутый в обруч около 30 см в диаметре, а к другой клемме прикрепляю небольшой латунный шарик. Желательно, чтобы площадь поверхности провода была приблизительно равна площади поверхности шарика, а центр последнего располагался на прямой, проходящей перпендикулярно к плоскости обруча через его центр. Когда разряд устанавливается при нужных условиях, формируется полый световой конус, и в темноте видно, что одна половина шарика ярко освещена, как показано на рисунке.

При помощи того или иного устройства довольно просто концентрировать потоки на небольших поверхностях и получать очень мощные световые эффекты. Так можно заставить сильно светиться два тонких провода.

Чтобы усилить потоки, провода должны быть очень тонкими и короткими, но в этом случае их емкость может оказаться слишком маленькой для катушки — по крайней мере такой, как эта. Тогда необходимо увеличить емкость до желательного значения, в то же время оставив площадь поверхности проводов очень маленькой. Это можно сделать многими способами.

Вот у меня, например, две пластины из твердой резины, на которые я наклеил два очень тонких провода, так чтобы они образовали некое имя. Провода могут быть как оголенными, так и покрытыми лучшей изоляцией — для успеха эксперимента это несущественно. Хорошо изолированные провода все-таки предпочтительнее. С оборотной стороны (на рисунке она обозначена штриховкой) каждая пластина покрыта оловянной фольгой. Пластины размещены на одной прямой, на значительном расстоянии, чтобы предотвратить соскачивание искры с одного провода на другой. Два станилевых покрытия я соединил проводником, а два провода я в настоящий момент подключаю к клеммам катушки. Теперь легко, варьируя частоту и силу токов в первичной обмотке, найти точку, в которой емкость системы лучше всего соответствует условиям опыта, и провода начинают настолько ярко светиться, что, когда в помещении выключается свет, образованное ими имя высвечивается яркими буквами.

Возможно, лучше проводить этот опыт с катушкой, питаемой от генератора переменного тока высокой частоты, поскольку тогда благодаря гармоничному подъему и спаду потоки будут очень однородными, хотя и менее обильными, чем когда они образованы с помощью такой катушки, как эта. Кстати, этот эксперимент можно проводить и с низкими частотами, но результаты будут гораздо менее удовлетворительными.

Когда два провода, соединенные с клеммами катушки, размещены на нужном расстоянии, потоки между ними могут быть столь интенсивными, что образуют сплошное световое полотно. Чтобы продемонстрировать этот феномен, я беру два обруча из довольно толстого провода, диаметр одного равен примерно 80 см, второго — 30 см. К каждой из клемм я прикрепляю по одному обручу. Поддерживающая проволока согнута таким образом, чтобы обручи можно было разместить в одной плоскости, стараясь сделать это как можно точнее. Когда свет в зале выключается и катушка приводится в действие, вы видите, что все пространство между обручами равномерно заполнено потоками, образующими световой диск, который виден на значительном расстоянии — настолько сильна яркость потоков. Внешний обруч может быть намного больше, чем тот, который вы сейчас видите. На самом деле, вместе с этой катушкой я использовал гораздо большие по размеру круги и сумел получить ярко светящееся полотно, покрывающее площадь более одного квадратного метра, что для такой маленькой катушки — эффект поистине замечательный. Во избежание неполадок на этот раз я взял обруч поменьше, и площадь данного светового полотна составляет около $0,43 \text{ м}^2$.

Частота колебаний и плотность последовательности искр между клеммами в определенной степени влияют на внешний вид потоков. Когда частота очень низкая, воздух пробивается более или менее одинаково, как при постоянном напряжении, и потоки состоят из отчетливых нитей, обычно смешанных с тонкими искрами, число которых, возможно, соответствует последовательности разрядов, проходящих между клеммами. Но когда частота чрезвычайно высока и дуга разряда издает очень громкий, но ровный звук, указывая тем самым, что имеют место колебания, а искры следуют друг за другом с огромной скоростью, тогда образующиеся потоки отличаются совершенной однородностью. Для получения такого результата следует применять очень маленькие катушки и банки небольшой емкости. Я беру две трубки из толстого богемского стек-

ла около 5 см в диаметре и 20 см длиной. Через каждую трубку я пропускаю первичную обмотку из очень толстого медного провода. Поверх каждой трубы наматываю вторичную обмотку из гораздо более тонкого провода, покрытого гуттаперчей. Две вторичные обмотки соединяю последовательно, а первичные лучше соединить параллельно. Затем трубы помещаются в большой стеклянный сосуд на расстоянии 10—15 см друг от друга на изолированные опоры, и сосуд заполняется прокипяченным маслом, так чтобы поверхность масла была примерно на дюйм выше трубок. Свободные концы вторичных обмоток выведены через масло наружу и размещены параллельно друг другу на расстоянии примерно в 10 см. Зачищенные концы следуют обмакнуть в масло. Две соединенные последовательно банки объемом по 4 пинты каждая могут быть использованы для создания разрядов через первичную обмотку. Когда произведена необходимая отладка длины проводов и расстояния между ними над поверхностью масла, а также создана разрядная дуга, между проводами возникает световое полотно, совершенно гладкое и без какой-либо видимой структуры, как при обычном разряде сквозь умеренно вакуумированную трубку.

Я неслучайно так подробно рассказываю об этом незначительном с виду эксперименте. В опытах такого рода экспериментатор приходит к поразительному выводу, что **для прохождения обычного светящегося разряда сквозь газы не требуется какой-то особой степени разреженности, и газ может находиться под обычным атмосферным или даже более высоким давлением.** Чтобы добиться этого, требуется очень высокая частота; высокое напряжение также желательно, но это всего лишь сопутствующее требование. Эти эксперименты учат нас тому, что **в попытках открыть новые методы производства света путем возбуждения атомов или молекул газа нам не стоит ограничивать область исследования вакуумной трубкой, но мы можем вполне серьезно искать возможность получения световых эффектов без применения какого-либо сосуда вообще и при обычном давлении воздуха.**

Такие высокочастотные разряды, которые возбуждают свечение воздуха при обычных давлениях, мы, по-видимому, имеем возможность часто наблюдать в природе. Я не сомневаюсь, что если, как многие считают, полярное сияние является результатом резких возмущений в космическом пространстве, таких как взрывы на поверхности Солнца, которые заставляют электростатический заряд Земли колебаться с очень высокой частотой, то наблюдаемое красноватое сияние не ограничивается областью верхних разреженных слоев воздуха: эти разряды проходят благодаря своей очень высокой частоте и в плотные слои в форме свечения — такого, которое мы обычно производим в слегка откаченной трубке. Если бы частота их была очень низкой или, более того, если бы заряд вообще не колебался, то плотные слои воздуха разрывались бы, как при разряде молнии. Признаки такого пробоя нижних плотных слоев атмосферы неоднократно наблюдались при появлении этого восхитительного феномена. Но если полярное сияние возникает, то его можно относить только на счет фундаментальных возмущений, число которых невелико, ибо производимые ими колебания были бы слишком быстрыми для возникновения пробойного разряда. Именно эти изначальные нерегулярные импульсы воздействуют на приборы; наложенные же колебания, видимо, проходят незамеченными.

Когда обычный низкочастотный разряд проходит сквозь умеренно разреженный воздух, то воздух приобретает багряный оттенок. Если мы тем или иным способом усилим интенсивность молекулярных или атомных колебаний, цвет газа меняется на белый. Такое же изменение происходит при обычных давлениях и электрических импульсах очень высокой частоты. Если молекулы воздуха вокруг провода умеренно возбуждены, формирующийся кистевой разряд бывает красноватым или фиолетовым; если колебания существенно усиливаются, потоки становятся белыми. Мы можем добиться этого разными путями. В показанном ранее эксперименте с двумя натянутыми через зал проводами я пытался обеспечить результат, сильно подняв и частоту, и напряжение. В эксперименте

с тонкими проводами, наклеенными на резиновую пластину, я концентрировал процесс на очень маленькой площади поверхности — другими словами, работал с огромной электрической плотностью.

Очень любопытная форма разряда наблюдается с применением такой катушки, когда и частота, и потенциал подняты до крайнего предела. Для постановки этого опыта каждая из составных частей катушки должна быть хорошо изолирована, и на открытом воздухе должны находиться только два шарика, а еще лучше — два металлических диска с острыми краями всего лишь нескольких сантиметров в диаметре. Используемая здесь катушка погружена в масло, и выведенные наружу из масла концы вторичной обмотки покрыты воздухонепроницаемой изоляцией из толстой резины значительной толщины. Все трещинки, если таковые имеются, следует тщательно заделать, чтобы кисневой разряд не мог сформироваться нигде, кроме выведенных на воздух маленьких шариков или дисков. В этом случае, поскольку отсутствуют большие пластины или другие емкие предметы, соединенные с клеммами, катушка способна выдавать очень быстрые колебания. Потенциал можно повысить, насколько экспериментатор сочтет нужным, увеличив скорость обращений первичного тока. При использовании катушки, не сильно отличающейся от этой, лучше всего соединить две первичные обмотки параллельно. Но если вторичная обмотка будет состоять из гораздо большего количества витков, то первичные обмотки предпочтительно использовать в последовательном соединении, поскольку иначе частота колебаний может оказаться слишком большой для вторичной обмотки. При таких условиях с краев дисков вырываются туманные белые потоки и призрачными лучами тянутся в пространство. С этой катушкой, когда она сделана хорошо, их длина составляет от 25 до 30 см. Если поднести к ним руку, то никаких ощущений не возникает, и искра соскаивает с клеммы, вызывая удар током, только если руку поднести гораздо ближе. Если тем или иным способом добиться прерывистых колебаний первичного тока, то в потоках

появится соответствующая пульсация, и тогда руку или другой проводящий предмет можно поднести еще ближе к клемме, не вызвав соскакивания искры.

Среди многих красивых явлений, которые можно вызвать благодаря применению такой катушки, я выбрал только те, которые отличаются некоторой новизной и приводят к интересным заключениям. Совсем нетрудно с ее помощью воспроизвести в лаборатории множество других феноменов, которые радуют глаз даже больше, чем продемонстрированные здесь, но не представляют собой ничего нового.

Первые экспериментаторы описывали зрелище искр, полученных от обычной большой индукционной катушки на изолированной пластине, разделяющей клеммы. Совсем недавно Сименс провел несколько экспериментов, в ходе которых были получены прекрасные эффекты, с интересом наблюдавшиеся многими людьми. Несомненно, большие катушки, даже если питаются токами низкой частоты, способны производить красивые эффекты. Но даже самая большая из созданных до сих пор катушек не может создать ничего, подобного восхитительному зрелищу потоков и искр, получаемых от такой, как эта, катушки для пробойных разрядов, если ее правильно отрегулировать. Чтобы дать об этом некоторое представление, скажу, что такая катушка с легкостью покроет потоками пластину 1 м в диаметре. Лучший способ проведения таких экспериментов — взять очень тонкую резиновую или стеклянную пластину и наклеить на одну ее сторону узкое кольцо из оловянной фольги очень большого диаметра, а на другую — круглую шайбу, центр которой должен совпадать с центром кольца, а площади поверхности обоих должны быть предпочтительно равны, чтобы катушка была хорошо сбалансирована. Шайбу и кольцо следует соединить с клеммами, тщательно изолированными тонкими проводами. Наблюдая эффект емкости, легко получить полотно из равномерных потоков, или красивую сеть тонких серебристых нитей, или пучки шумных сверкающих искр, полностью покрывающих пластину.

С тех пор как я высказал идею преобразования с помощью **пробойного разряда** в лекции, прочитанной в начале прошлого года в Американском институте инженеров-электриков, она пробудила значительный интерес. Такой разряд обеспечивает нас средством для получения любого потенциала с помощью недорогих катушек, питающихся от обычных распределительных систем, и — что, возможно, еще более ценно — **позволяет нам преобразовывать токи любой частоты в токи любой другой, более низкой или высокой, частоты.** Но, вероятно, главная его ценность — в той помощи, которую он нам оказывает в исследованиях феноменов фосфоресценции, которые катушка пробойного разряда способна возбуждать в бесчисленных случаях, где обычные катушки, даже самые большие, были бы бесполезны.

Принимая во внимание возможные способы применения такой катушки для практических целей и вероятность ее использования в лабораториях для научных исследований, наверное, не покажутся излишними несколько дополнительных замечаний, касающихся ее конструкции.

Конечно, совершенно необходимо использовать в такой катушке провода, имеющие самую лучшую изоляцию.

Хорошую катушку можно получить, применяя провода, покрытые несколькими слоями хлопка, проварив катушку в течение долгого времени в чистом воске, а затем охладив ее при умеренном давлении. Преимущество этой катушки в том, что она удобна в эксплуатации, хотя, возможно, и уступает по удовлетворительности результатов катушке, погруженной в чистое масло. Кроме того, похоже, что присутствие большой массы воска отрицательно влияет на качества катушки, чего не скажешь о масле. Возможно, причина в том, что диэлектрические потери в жидкости меньше.

Поначалу я опробовал с погружением в масло провода, покрытые шелком или хлопком, но постепенно пришел к использованию гуттаперчевой изоляции, которая оказалась более удовлетворительной. Гуттаперчевая изоляция, разумеется, добавляет проводам емкости, и это, особенно

если катушка большого размера, является большим недостатком, когда желательно использовать высокие частоты. Но, с другой стороны, гуттаперча выдерживает гораздо большее напряжение, чем аналогичный по толщине слой масла, а это преимущество следует обеспечивать любой ценой. Однажды погруженную катушку не следует вынимать из масла больше чем на несколько часов, иначе гуттаперча потрескается и качества катушки обесценятся более чем вполовину. Возможно, масло постепенно разъедает гуттаперчу, но я не обнаружил никаких повреждений после восьми-девятимесячного погружения.

В продаже имеются два типа проводов с гуттаперчевым покрытием: у одного типа изоляция плотно прилегает к металлу, у другого — нет. Если только не использовать какой-либо специальный метод для удаления воздуха без остатка, гораздо безопаснее использовать первый тип провода. Я наматываю катушку внутри контейнера с маслом, чтобы все пустоты были заполнены. Между слоями провода я прокладываю тщательно вываренную в масле ткань, рассчитывая ее толщину соответственно разности потенциалов между витками. Похоже, нет особой разницы между разными сортами масла; лично я применяю парафиновое или масло льняного семени.

Чтобы полнее исключить присутствие воздуха, есть отличный способ, и легко осуществимый для маленьких катушек. Изготовьте ящик из очень толстых досок твердого дерева, которые очень долго вываривались в масле. Доски должны быть соединены таким образом, чтобы стойко выдерживать внешнее давление воздуха. После того как катушка помещена в ящик и жестко закреплена, ящик закрывают прочной крышкой и покрывают плотно пригнанными металлическими листами, стык между которыми тщательно запаивают. В крышке просверливают два маленьких отверстия, проходящие сквозь металлический лист и дерево, вставляют в них две тонкие стеклянные трубочки, а места соединения герметизируют. Одну из трубочек подсоединяют к вакуумному насосу, а вторую — к сосуду, содержащему достаточное количество прокипя-

ченного масла. В донышке второй трубы имеется очень маленькое отверстие, снабженное запорным краном. Когда воздух хорошо откачен, кран открывают, и масло медленно просачивается внутрь. При таком способе действий не может остаться никаких больших пузырьков между витками, которые представляют главную опасность. Теперь присутствие воздуха исключено наиболее полно, возможно, даже лучше, чем при вываривании в масле, что, кстати, практически неосуществимо, когда применяются покрытые гуттаперчей провода.

Для первичных обмоток я использую обычные линейные провода с толстой хлопковой изоляцией. Возможно, лучше всего для этой цели подошли бы кабели из скрученных, очень тонких изолированных проводов, но достать их невозможно.

В экспериментальной катушке калибр проводов не имеет особого значения. В катушке, используемой сегодня, применены мерные провода фирмы «Браун и Шарп», № 12 для первичной и № 24 для вторичной обмотки; но площадь сечения может варьироваться в широких пределах. Это просто подразумевало бы различные схемы; конечный результат существенно не изменился бы.

Я потому так подробно распространялся о разнообразных формах кистевого разряда, что при их изучении мы наблюдаем феномены не только приятные взгляду, но и дающие пищу для размышлений, и ведущие нас к выводам, имеющим практическое значение. При использовании переменных токов очень высокого напряжения никакие меры предосторожности не будут лишними, если мы хотим предотвратить кистевой разряд. В главном ли кабеле, проводящем такие токи, в индукционной катушке или трансформаторе, в конденсаторе — везде кистевой разряд представляет огромную угрозу изоляции. В конденсаторе следует особенно избегать присутствия газообразных веществ, поскольку в нем заряженные поверхности находятся рядом друг с другом, и когда потенциалы высоки, изоляция не выдержит, если будет присутствовать хотя бы один газовый пузырек, и это так же несомненно, как па-

дение груза, если его отпустить. В то же время, если всякое присутствие газообразного вещества будет исключено, конденсатор будет стойко выдерживать гораздо большую разность потенциалов. Главный кабель, подающий переменный ток очень высокого напряжения, может быть поврежден даже из-за пустоты или крошечной трещинки в изоляции, тем более что в пустотах часто содержится газ под низким давлением. И поскольку практически невозможно полностью избежать таких мелких несовершенств, я прихожу к выводу, что в будущих средствах распределения электрической энергии посредством токов очень высокого напряжения будет применяться жидкостная изоляция. Ее стоимость — это серьезный недостаток, но если мы станем использовать масло в качестве изолятора, то распределение электрической энергии напряжением около 100000 вольт и даже больше станет, по крайней мере с применением высоких частот, настолько простым делом, что его едва ли можно будет назвать чудом инженерной мысли. При масляной изоляции и двигателях переменного тока передача энергии может успешно осуществляться, безопасно и на промышленной основе, на расстояния не менее тысячи миль.

Любопытная особенность масляной и жидкотекущей изоляции вообще, когда она подвергается быстро колеблющемуся электрическому напряжению, состоит в том, что она рассеивает любые имеющиеся в ней пузырьки газа и растворяет их в своей массе обычно задолго до того, как успевает возникнуть вредоносный пробой. Эту характерную черту можно легко проанализировать при помощи обычной индукционной катушки, вынув первичную обмотку, закупорив конец трубы, на которую намотана вторичная обмотка, и наполнив ее каким-нибудь прозрачным изолятором, например парафиновым маслом. Первичная обмотка диаметром примерно на 6 мм меньше внутреннего диаметра трубы может быть помещена в масло. Когда катушка приводится в действие, можно видеть, глядя сверху сквозь слой масла, множество светящихся точек — это пузырьки, захваченные при введении

первичной обмотки и начавшие светиться в результате яростной бомбардировки. Запертый воздух благодаря столкновениям с маслом нагревает его; масло начинает циркулировать, увлекая с собой часть воздуха, пока пузырьки не растворяются и светящиеся точки не исчезают. Таким способом, если только большие пузырьки не захвачены так, что циркуляция невозможна, предотвращается вредоносный пробой, и единственным результатом становится умеренный нагрев масла. Если бы вместо жидкостной использовалась плотная изоляция, неважно какой толщины, пробой и повреждение аппарата были бы неизбежны.

Исключение газообразного вещества в любом аппарате, где диэлектрик подвергается воздействию более или менее быстро колеблющихся электрических сил, желательно не только с целью избежать возможного повреждения аппарата, но и из соображений экономии. В конденсаторе, например, если используется только плотный или только жидкий диэлектрик, потери малы; но если существует газ под обычным или низким давлением, потери могут быть огромны. Какова бы ни была природа силы, действующей на диэлектрик, похоже, что в плотном или жидкоком веществе молекулярное смещение, спровоцированное этой силой, незначительно; поэтому произведение силы на смещение также незначительно, если только сила не очень велика. Но в газах смещение, а отсюда и указанное произведение, существенно: молекулы свободно движутся, они развивают высокие скорости, и энергия при их столкновении теряется, переходя в тепловую или другую. Если газ находится под большим давлением, смещение благодаря этому становится меньше, и потери уменьшаются.

В большинстве следующих экспериментов я предполагаю использовать генератор переменного тока, о котором я уже упоминал — в основном по причине его ровной и бесперебойной работы. Это одна из нескольких машин, сконструированных мною специально для таких исследований. Генератор имеет 384 полюсных выступа и способ-

бен давать ток частотой около 10000 колебаний в секунду. Эта машина была проиллюстрирована и описана в моей первой лекции, состоявшейся 20 мая 1891 года в Американском институте инженеров-электриков, на которую я уже ссылался. Более детальное описание, достаточное для того, чтобы дать возможность любому инженеру построить аналогичную машину, можно найти в нескольких журналах по электрике того времени.

Индукционные катушки, питаемые от этого генератора, довольно малы; они содержат от 5000 до 15 000 витков во вторичной обмотке. Они погружены в прокипяченное масло льняного семени, содержащееся в деревянных ящиках, покрытых цинковым листом.

Я нашел ряд преимуществ в том, чтобы поменять на обратное обычное расположение проводов и намотать в этих катушках первичную обмотку сверху. Это позволяет использовать гораздо большую первичную обмотку, что, разумеется, уменьшает риск перегрева и увеличивает выход катушки. Я делаю первичную обмотку с каждой стороны по крайней мере на один сантиметр короче вторичной, чтобы предотвратить пробой на концах, что наверняка произошло бы, если только не сделать изоляцию поверх вторичной обмотки очень толстой, а это, конечно, было бы недостатком.

Когда первичная обмотка делается подвижной, что в некоторых экспериментах необходимо и во много раз удобнее для регулировки, я покрываю вторичную обмотку воском и обтачиваю ее на токарном станке до диаметра чуть меньшего, чем внутренний диаметр первичной обмотки. Последнюю я снабжаю рукояткой, выступающей наружу из масла, которая служит для того, чтобы можно было перемещать ее в любое положение вдоль вторичной обмотки.

А теперь я рискну сделать несколько замечаний в связи с общими принципами работы с индукционными катушками. Они касаются тех моментов, которым не придавали должного значения в более ранних экспериментах и которые часто обходят вниманием даже теперь.

Вторичная обмотка индукционной катушки обычно обладает такой высокой самоиндукцией, что идущий по проводу ток очень слаб и может оставаться таким, даже когда клеммы соединены проводником с низким сопротивлением. Если клеммам добавить емкости, самоиндукции оказывается противодействие и через вторичную обмотку идет более мощный ток, хотя ее выходы изолированы друг от друга. Для человека, совершенно незнакомого со свойствами переменных токов, не может быть явления более загадочного. Эта черта была иллюстрирована в эксперименте, проведенном в начале вечера, с пластины из проволочной сетки, соединенными с клеммами, и резиновой пластиной. Когда проволочные пластины находились рядом и между ними проскакивала маленькая искра, дуга мешала прохождению мощного тока сквозь вторичную обмотку, поскольку нейтрализовала емкость на клеммах. Когда между проволочными вводилась резиновая пластина, то емкость образовавшегося конденсатора противодействовала самоиндукции вторичной обмотки, и тогда проходил более мощный ток, катушка совершала большую работу, и разряд был не в пример мощнее.

Таким образом, первое, что надо делать при работе с индукционной катушкой, — это сочетать применение емкости с вторичной обмоткой, чтобы преодолеть самоиндукцию. Если частоты и потенциалы очень высоки, следует старательно избегать контакта газообразного вещества с заряженными поверхностями. Если используются лейденские банки, они должны быть погружены в масло, иначе в те моменты, когда банки находятся под большим напряжением, может произойти значительное рассеяние энергии. При использовании высоких частот равную важность приобретает сочетание конденсатора с первичной обмоткой. Можно использовать конденсатор, соединив его с концами первичной обмотки или клеммами генератора переменного тока, но последнее не рекомендуется, поскольку это может повредить генератору. Несомненно, лучший способ — применять конденсатор в последовательном соединении с первичной обмоткой и генератором и отладить его емкость

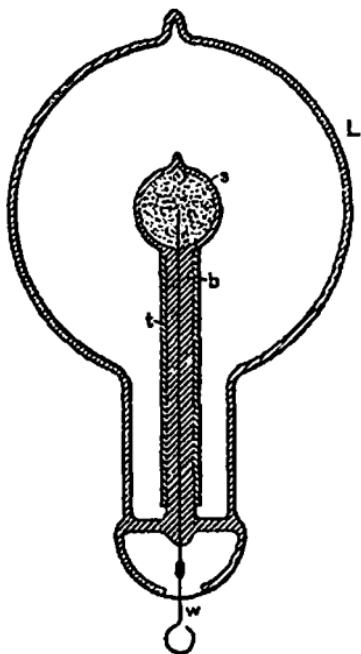


Рис. 7

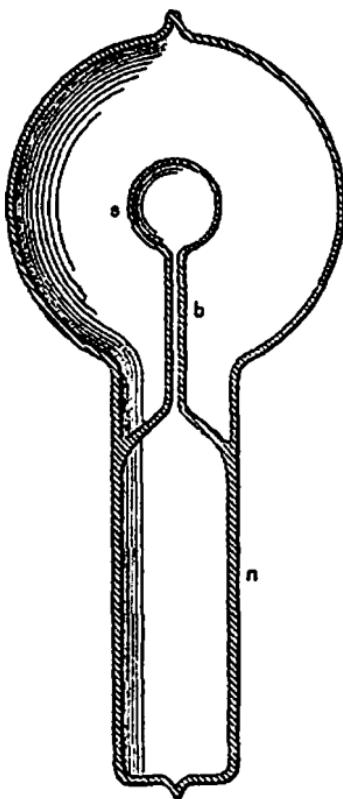


Рис. 8

Колбы для получения вращающегося кистевого разряда

таким образом, чтобы свести на нет их самоиндукцию. Конденсатор должен иметь такую конструкцию, чтобы его можно было регулировать очень постепенно, и для наилучшей регулировки удобно применять маленький масляный конденсатор с подвижными пластинами.

Думаю, лучше всего на этом этапе продемонстрировать вам феномен, который я наблюдал некоторое время назад и который истинному исследователю науки может показаться более интересным, чем любой из результатов, которые я имею честь сегодня вам представлять.

Он с полным основанием может числиться среди феноменов кистевого разряда — на самом деле это и есть кистевой

разряд, возникающий на одном выводе или вблизи него в условиях высокого вакуума.

В колбах с проводящими выводами, даже если они сделаны из алюминия, кисть существует очень недолгое время и, к сожалению, не может сохраняться в ее наиболее чувствительном состоянии, даже если в колбе нет вообще никакого проводящего электрода. При изучении этого феномена в любом случае следует использовать колбу без провода подводки. Я обнаружил, что лучше всего использовать колбы такой конструкции, как показаны на рис. 7 и 8.

Колба, изображенная на рис. 7, состоит из шара лампы накаливания L , в горловину которой впаяна трубка барометра b ; конец трубки выдут в форме маленького шарика s . Шарик должен быть впаян как можно точнее в центр большого шара. Перед тем как запаивать конструкцию, в трубку барометра можно вставить тонкую трубочку t из алюминиевого листа, но это не столь важно.

Полый шарика s наполняется каким-либо порошковым проводником, а в горловину конструкции следует вставить и зацементировать провод w , чтобы соединить порошковый проводник с генератором.

Конструкция, показанная на рис. 8, была выбрана с целью убрать от кисти любой проводящий предмет, который мог бы оказывать на нее воздействие. Колба в данном случае состоит из лампового шара L с горловиной n , снабженной трубкой b и маленьким шариком s , припаянным к ней так, чтобы сформировались два совершенно независимых отделения, как показано на рисунке. При использовании колбы на горловину n надевается обкладка из фольги, которая соединяется с генератором и индуктивно воздействует на умеренно разреженный и высокопроводящий газ, запертый в горловине. Оттуда ток проходит сквозь трубку b в шарик s , чтобы воздействовать посредством индукции на газ, содержащийся в шаре L .

Рисунки 9, 10 и 11 показывают различные формы или фазы кистевого разряда. Рис. 9 показывает кисть такой, какой она вначале появляется в колбе, снабженной проводящим выводом. Но поскольку в такой колбе она

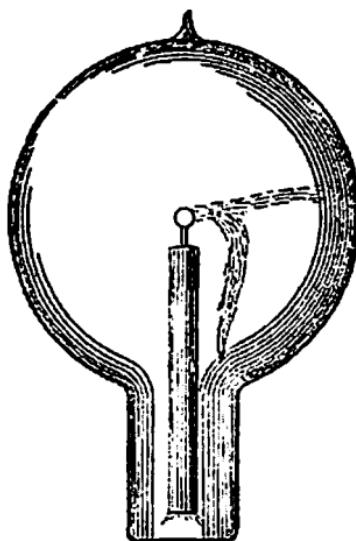


Рис. 9. Формы и фазы вращающегося кистевого разряда

очень быстро исчезает — часто уже через несколько минут, — я ограничусь описанием этого феномена в том виде, в каком он виден в колбе без проводящего электрода. Он наблюдается при следующих условиях.

Когда шар *L* (рис. 7 и 8) очень сильно вакуумирован, колба обычно не возбуждается при подключении провода *w* (рис. 7) или обкладки из фольги (рис. 8) к клемме индукционной катушки. Чтобы возбудить ее, достаточно взяться за нее рукой. После этого сперва по шару распространяется интенсивная **фосфоресценция**, но скоро уступает место белому туманному свету. Вскоре после этого можно заметить, что свечение распределено по шару неравномерно, и после некоторого времени протекания тока колба выглядит так, как на рис. 10. От этой фазы феномен постепенно переходит к следующей, иллюстрированной на рис. 11. На это может потребоваться несколько минут, часов, дней или недель, в зависимости от того, как именно работает колба. Нагревание колбы или повышение потенциала ускоряет этот переход.

Когда кисть принимает форму, показанную на рис. 11, ее можно довести до состояния крайней чувствительное-

ти к электростатическому и электромагнитному воздействию. Если подвесить колбу вертикально вниз на проводе и убрать подальше от нее все предметы, приближение наблюдателя на расстояние нескольких шагов заставит кисть отклониться в противоположную сторону, а если он начнет обходить колбу, кисть всегда будет держаться противоположной стороны. Она может начать вращаться вокруг вывода задолго до того, как достигнет чувствительной фазы. Когда она в принципе начинает вращаться, а также до этого, на нее можно воздействовать магнитом, и на определенной стадии она становится поразительно восприимчива к магнитному влиянию. Маленький постоянный магнит, между полюсами которого не более двух сантиметров, будет оказывать на нее видимое воздействие с расстояния в два метра, замедляя или ускоряя вращение в соответствии с положением, в котором его держат относительно кисти. Полагаю, мне удалось заметить, что в той фазе, когда кисть наиболее чувствительна к магнитному воздействию, к электростатическому влиянию она не так восприимчива. Я объясняю это тем, что электростатическое притяжение между кистью и стеклом колбы, замедляющее вращение, нарастает гораздо быстрее магнитного воздействия, когда возрастает интенсивность потоков.

Когда колба висит шаром *L* вниз, вращение всегда происходит по часовой стрелке. В Южном полушарии оно было бы происходило в противоположном направлении, а на экваторе кисть вообще не вращалась бы. Направление вращения можно изменить на противоположное, удерживая магнит на определенном расстоянии от кисти. Похоже, что кисть вращается лучше всего, когда находится в положении, перпендикулярном к силовым линиям Земли. Вероятно, что на максимальной скорости она вращается синхронно частоте тока, скажем, 10000 колебаний в секунду. Приближаясь или удаляясь, а также поднося или убирая любой проводящий предмет, наблюдатель может замедлить или ускорить вращение; но его направление нельзя изменить путем изменения положения колбы. Когда разряд находится в фазе крайней чувствительности, при из-

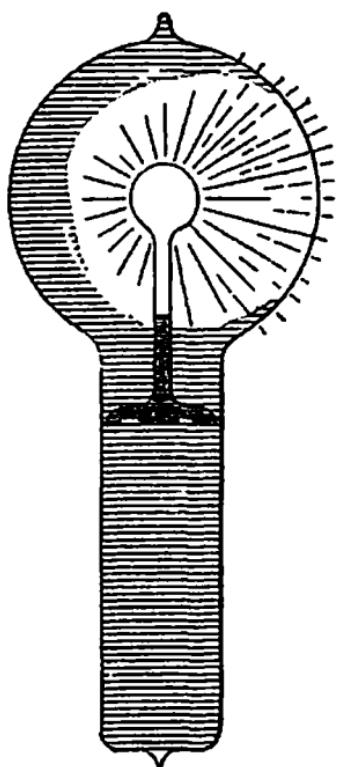


Рис. 10

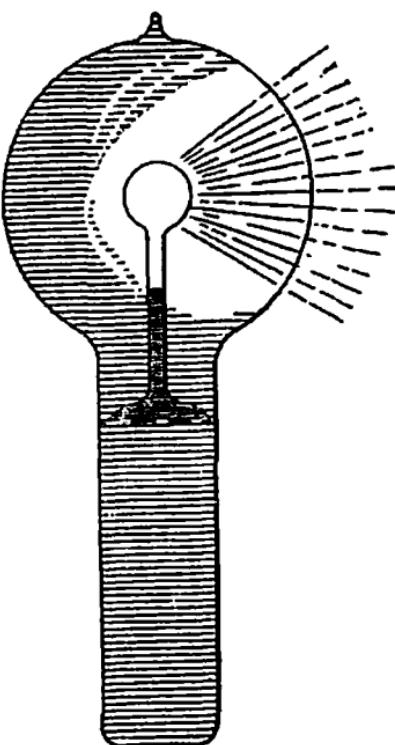


Рис. 11

Формы и фазы вращающегося кистевого разряда

менении потенциала или частоты чувствительность резко снижается. Даже незначительное изменение того либо другого фактора, как правило, останавливает вращение. Точно так же на чувствительность влияют изменения температуры. Чтобы добиться наибольшей чувствительности, необходимо, чтобы шарик *s* находился точно в центре шара в противном случае электростатическое воздействие стекла колбы будет стремиться остановить вращение. Шарик *s* должен быть маленьким и иметь одинаковую толщину по всей поверхности; любая асимметрия, разумеется, обладает свойством уменьшать чувствительность.

Тот факт, что кисть вращается в постоянном магнитном поле в определенном направлении, похоже, указывает на то,

что в переменных токах очень высокой частоты положительные и отрицательные импульсы не равны: одни постоянно преобладают над другими.

Конечно, это вращение в одном направлении может быть следствием взаимодействия двух элементов одного тока или действием поля, образованного одним элементом, на поле другого, как в двигателе последовательного возбуждения, и необязательно одни импульсы мощнее других. То, что кисть вращается, насколько я заметил, при любом положении колбы, вроде бы говорит в пользу этого взгляда. В таком случае она стала бы вращаться в любой точке земной поверхности. Но, с другой стороны, тогда трудно объяснить, почему постоянный магнит реверсирует вращение, — и приходится предположить преобладание импульсов одного рода.

Что касается причин формирования кисти или потока, думаю, они являются следствием электростатического воздействия колбы и асимметрии составных частей. Если бы маленький шарик s и шар L были совершенными концентрическими сферами и стекло повсюду имело одинаковую толщину и качество, полагаю, кисть бы не формировалась, поскольку тенденция к прохождению разряда была бы равной во всех направлениях. То, что формирование потока — результат неравномерности, очевидно из того факта, что поток имеет тенденцию оставаться в одном положении, и вращение происходит по большей части лишь тогда, когда его выводят из этого положения электростатическое или магнитное воздействие. Когда, находясь в фазе крайней чувствительности, он остается неподвижным, с ним можно проводить весьма любопытные эксперименты. Например, экспериментатор может, заняв правильную позицию, поднести руку на определенное значительное расстояние к колбе и заставить разряд погаснуть, попросту напрягая мускулы руки. Когда разряд начинает медленно вращаться, а руки при этом находятся на нужном расстоянии от колбы, невозможно сделать даже малейшее движение, не оказав заметного воздействия на кисть. Металлическая пластина, соединенная с другой клеммой ка-

тушки, влияет на разряд с большого расстояния, замедляя вращение, часто до одного оборота в секунду.

Я твердо убежден в том, что такой кистевой разряд, когда мы должным образом научимся его вызывать, окажется ценным подспорьем в исследовании природы сил, действующих в электростатическом или магнитном поле. Если в пространстве происходит какое-то поддающееся измерению движение, то кистевой разряд должен его обнаруживать. Он представляет собой, так сказать, пучок света, свободный от трения и инерции.

Я думаю, что он может найти практическое применение в телеграфии. Обладая таким кистевым разрядом, было бы возможно посыпать сообщения, например через Атлантический океан, с любой скоростью, поскольку чувствительность кисти может быть настолько велика, что на нее будут влиять малейшие изменения. Если бы было возможно сделать поток более интенсивным и очень узким, его отклонения было бы легко фотографировать.

Мне стало интересно выяснить, в чем тут дело: во вращении самого потока или просто в перемещении напряжения по колбе. Для этой цели я установил легкую слюдянную вертушку таким образом, чтобы ее лопасти располагались на пути прохождения кисти. Если вращался сам поток, то он заставил бы вращаться вертушку. Я не смог добиться никакого отчетливого вращения вертушки, хотя неоднократно повторял этот опыт. Но поскольку вертушка оказывала заметное воздействие на поток и видимое вращение последнего было в данном случае отнюдь не удовлетворительным, то этот эксперимент нельзя счесть решающим.

Я не смог вызвать появление этого феномена с помощью катушки пробойного разряда, хотя любой другой из этих феноменов с ней вполне можно получить — на самом деле, многие получаются даже лучше, чем с катушками, питаемыми от генератора переменного тока.

Вероятно, можно добиться образования кистевого разряда с помощью импульсов одного направления или даже

постоянного потенциала, в каком случае он был бы даже более чувствителен к магнитному воздействию.

При работе с индукционной катушкой, питаемой быстропеременными токами, мы впервые с изумлением осознаем исключительную важность связи между емкостью, самоиндукцией и частотой для достижения общего результата. Эффекты емкости наиболее поразительны, ибо, поскольку и самоиндукция, и частота в этих экспериментах высоки, критическая емкость очень мала, и достаточно ее лишь слегка варьировать, чтобы получать весьма значительные изменения. Экспериментатор может вступить в телесный контакт с клеммами вторичной обмотки катушки или присоединить к одной или обеим клеммам изолированные тела очень небольшого объема, такие как лампы или колбы, и добиться существенного взлета или падения потенциала, оказывая огромное влияние на протекание тока сквозь первичную обмотку. В ранее показанном эксперименте, в котором кистевой разряд появляется на одном проводе, прикрепленном к одной клемме, и провод вибрирует, когда экспериментатор, встав на изолированную подставку, прикасается к другой клемме катушки, резкое повышение потенциала было совершенно очевидно.

Я могу продемонстрировать вам и другой тип поведения катушки, обладающей довольно интересной чертой. Здесь у меня маленькая вертушка из алюминиевого листа, насаженная на иглу и установленная так, чтобы она могла свободно вращаться на металлическом элементе, привинченном к одной из клемм катушки. Когда катушка запущена, молекулы воздуха ритмично притягиваются и отталкиваются. Поскольку действующая на них сила отталкивания больше, чем сила притяжения, в результате на лопасти вертушки действует сила отталкивания. Если бы вертушка была сделана просто из металлического листа, отталкивание на противоположных сторонах было бы равным и не оказывало бы никакого воздействия. Но если одну из противоположных поверхностей экранировать или вообще тем или иным путем ослабить бомбардировку

с одной стороны, отталкивание, действующее на другую сторону, останется прежним, и вертушка будет вращаться. Экранирование лучше всего провести, прикрепив на одну из сторон вертушки изолированные проводящие покрытия или, если вертушка сделана в форме обыкновенного пропеллера, прикрепить с одной стороны поблизости от нее изолированную металлическую пластину. Без статического экрана, правда, можно и обойтись, просто прикрепив к одной из сторон вертушки слой изолирующего материала.

Чтобы продемонстрировать поведение катушки, вертушку можно поместить на клемму, и она с готовностью будет вращаться, когда катушка питается токами очень высокой частоты. При постоянном потенциале и даже при переменных токах очень низкой частоты она, разумеется, не станет вращаться по причине очень медленного обмена воздуха и соответственно менее интенсивной бомбардировки; но и в последнем случае она может начать вращение, если потенциал будет чрезвычайно велик. При использовании цевочного колеса в силу вступает совсем другое правило: оно вращается быстрее при постоянном потенциале, и усилие бывает тем меньше, чем выше частота. Очень легко отрегулировать условия таким образом, чтобы потенциал не был достаточным для вращения вертушки, но чтобы при соединении с другой клеммой катушки изолированного предмета он поднимался до гораздо большего значения и вращал ее. Так же точно можно останавливать вращение, присоединив к клемме предмет другого размера, тем самым уменьшая потенциал.

Вместо того чтобы использовать в этом эксперименте вертушку, мы с тем же успехом можем применить «электрический» радиометр. Но в этом случае окажется, что его лопасти будут вращаться только при высокой степени вакуумирования или обычном давлении: они не станут вращаться при умеренном давлении, когда воздух становится высокопроводящим. Это любопытное наблюдение было сделано совместно профессором Круксом и мною. Я отношу этот результат на счет высокой проводимости воз-

духа, молекулы которого в этом случае ведут себя не как независимые носители электрических зарядов, но действуют все вместе как единое проводящее тело. В таком случае, разумеется, если какое-то отталкивание молекулами лопастей радиометра и существует, то оно должно быть очень небольшим. Однако возможно, что отчасти это явление — результат того, что большая часть разряда проходит из провода подводки в высокопроводящий газ, вместо того чтобы уходить с проводящих лопастей.

При проведении предыдущего опыта с электрическим радиометром потенциал не должен превышать определенного предела, поскольку тогда электростатическое притяжение между лопастями и стеклом колбы могло бы оказаться настолько сильным, что прекратило бы вращение.

Очень любопытная особенность переменных токов высокой частоты заключается в том, что они дают нам возможность проводить множество опытов с применением только одного провода. Во многих отношениях это свойство представляет большой интерес.

В типе двигателей переменного тока, изобретенном мною несколько лет назад, я добивался вращения, возбуждая посредством однофазного переменного тока, пропускаемого сквозь цепь двигателя, вторичные токи на массе или в других цепях, которые вместе с первичными или индукционными токами создавали движущее силовое поле. Простая, хоть и грубая форма такого двигателя получается путем намотки на железный сердечник первичной обмотки, а рядом с ней — вторичной; концы последней следует соединить и поместить свободно вращающийся металлический диск в пределах действия поля, образуемого ими обеими. Железный сердечник применяется по очевидным причинам, но для работы двигателя его наличие несущественно. Чтобы усовершенствовать конструкцию двигателя, якорь помещается внутри железного сердечника. Опять-таки ради улучшения работы вторичная обмотка должна частично накладываться на первичную, так чтобы она не могла освободиться от сильного индуктивного воздействия последней, поскольку вторичная обмотка может от-

талкивать силовые линии первичной. Еще одно улучшение: нужная разность фаз между первичной и вторичной обмотками достигается при помощи конденсатора, самоиндукции, сопротивления или эквивалентного количества витков.

Однако я обнаружил, что это вращение производится посредством только одной катушки и сердечника. Мое объяснение данного феномена и главная мысль, заставившая меня провести этот эксперимент, были таковы: должна существовать временная задержка в намагничивании сердечника. Помню, какое удовольствие я испытал, когда в записках профессора Айртона, которые попали мне в руки позже, обнаружил слова в защиту идеи запаздывания во времени. Настоящая ли это задержка или отставание является следствием вихревых токов, циркулирующих по бесконечно малым путям, — вопрос открытый, но **факт состоит в том, что намотанная на железный сердечник катушка, по которой движется переменный ток, создает движущее силовое поле, способное привести якорь в движение.** Интересно упомянуть в связи с историческим экспериментом Араго, что в инерционных и фазовых двигателях я добивался вращения в противоположном направлении к движению поля, а это означает, что в этом эксперименте магнит может и не вращаться или даже вращаться в противоположном направлении к движению диска. Вот перед вами двигатель (схематично показанный на рис. 12), состоящий из катушки и железного сердечника и свободно движущегося медного диска вблизи последнего.

Чтобы продемонстрировать одну новую интересную особенность, я избрал именно этот тип мотора — по причинам, которые сейчас объясню. Когда концы катушки соединены с клеммами генератора переменного тока, диск приводится в движение. Но я хочу провести не этот, ныне хорошо известный эксперимент. Что я на самом деле хочу вам показать — это что двигатель вращается при помощи **одного-единственного соединения с генератором**, то есть одна клемма двигателя соединена с одной клеммой генератора, в данном случае — с вторичной обмоткой индук-

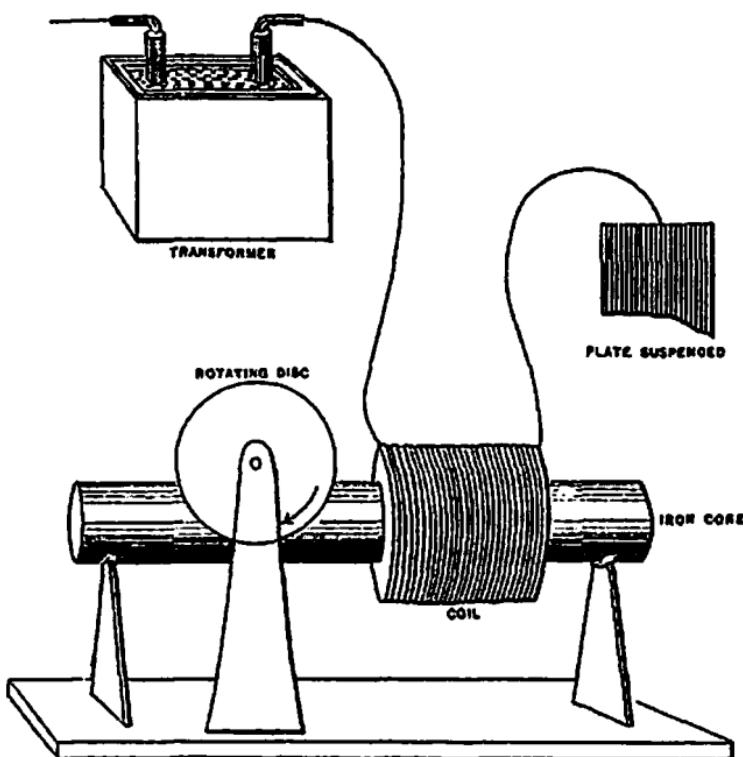


Рис. 12. Однопроводной и «беспроводной» двигатель

ционной катушки высокого напряжения. Вторые клеммы двигателя и генератора изолированы в пространстве. Чтобы вызвать вращение, обычно (но не категорически) необходимо соединить свободный конец обмотки двигателя с изолированным телом определенного размера. Тела экспериментатора в данном случае более чем достаточно. Если он коснется свободной клеммы каким-либо зажатым в руке предметом, то сквозь катушку пойдет ток, и медный диск начнет вращаться. Если с катушкой последовательно соединить вакуумную трубку, она ярко светится, указывая на прохождение мощного тока. Вместо тела экспериментатора с тем же результатом можно воспользоваться подвешенной на шнуре маленькой металлической пластиной. В этом случае пластина действует как конденсатор, последовательно соединенный с катушкой. Она противодействует

твует самоиндукции последней и обеспечивает прохождение сильного тока. При такой комбинации, чем больше самоиндукция катушки, тем меньше должна быть пластина, и это означает, что для работы двигателя требуется более низкая частота, а иногда — меньший потенциал. Одиночная катушка, намотанная на сердечник, обладает высокой способностью к самоиндукции; этот тип двигателя избран для проведения данного опыта главным образом по этой причине. Будь на сердечник намотана вторичная замкнутая катушка, она бы стремилась уменьшить самоиндукцию, и тогда было бы необходимо применять гораздо более высокие частоты и потенциалы. Ни то ни другое нежелательно, поскольку более высокий потенциал угрожал бы изоляции маленькой первичной катушки, а более высокая частота существенно уменьшила бы врачающий момент.

Следует заметить, что когда используется такой **двигатель с замкнутой вторичной обмоткой**, то совсем непросто добиться вращения с очень высокими частотами, поскольку вторичная обмотка почти полностью отсекает силовые линии первичной — и, разумеется, тем полнее, чем выше частота — и обеспечивает прохождение лишь очень незначительного тока. В таком случае, если только вторичная обмотка не замкнута через конденсатор, для того чтобы добиться вращения, практически важно, чтобы первичная и вторичная обмотки более или менее накладывались друг на друга.

Но у этого двигателя есть еще одна интересная особенность, а именно — отсутствие необходимости даже и этого единственного соединения между двигателем и генератором — разве что через землю. Ибо изолированная пластина способна не только отдавать энергию в пространство, но точно так же она способна и извлекать ее из переменного электростатического поля, хотя в последнем случае доступной энергии намного меньше. В данном примере одна из клемм двигателя соединена с изолированной пластиной или предметом, расположенным в зоне действия пе-

ременного электростатического поля, а вторую клемму предпочтительно заземлить.

Вполне возможно, однако, что такие «беспроводные» двигатели, как их можно назвать, могут приводиться в действие передачей энергии на большие расстояния через разреженный газ. Переменные токи, особенно высокой частоты, с ошеломительной легкостью проходят сквозь даже незначительно разреженные газы. Верхние слои атмосферы разрежены. Чтобы преодолеть несколько миль пространства, требуется справиться с трудностями чисто механического порядка. Нет сомнений в том, что с огромными потенциалами, получаемыми благодаря применению высоких частот и масляной изоляции, светящиеся разряды могут проходить сквозь многие мили разреженного воздуха и что благодаря таким направленным разрядам энергии во много сот тысяч лошадиных сил двигатели или лампы могут питаться от стационарных источников, удаленных на значительные расстояния. Но о таких планах я упомянул только как о возможностях. У нас вообще не будет нужды *передавать* энергию. Не успеет смениться и несколько поколений, как наши машины будут приводиться в действие энергией, которую можно будет получать в любой точке Вселенной. Эта идея ненова. Давным-давно людей вел к ней инстинкт либо здравый смысл. В древней и новой истории она высказывалась разными способами и в разных местах. Мы находим ее в чудесном мифе об Антее, который получал свою силу от земли; мы отыскиваем ее среди тонких рассуждений одного из ваших великих математиков, во множестве намеков и утверждений мыслителей современности. Повсюду в пространстве присутствует энергия. Статическая это энергия или кинетическая? Если статическая — наши надежды напрасны; если кинетическая — а мы наверняка знаем, что так и есть, — тогда момент, когда люди преуспеют в приспособлении своих машин к шестерням механизма самой природы, всего лишь вопрос времени. Из всех исследователей, как ушедших, так и ныне живущих, Крукс подошел к этому моменту ближе всего. Его

радиометр вращается при свете дня и во мраке ночи; он вращается везде, где есть тепло, а тепло есть повсюду. Но, к несчастью, эта чудесная маленькая машинка, хотя и перейдет к нашим потомкам по наследству как интереснейшая диковинка, также должна быть внесена в список изобретений как самое неэффективное из всех, когда-либо созданных человеком!

Предыдущий опыт — лишь один из многих в равной степени интересных экспериментов, которые могут быть проведены с помощью одного провода при использовании переменных токов высокого напряжения и частоты. Мы можем соединить изолированный линейный провод с источником таких токов, пустить через него незначительнейший ток и в любой точке того же провода получить мощный ток, способный расплавить толстую медную проволоку. А можем с помощью какого-нибудь устройства разложить раствор в любом электролитическом элементе, подсоединив только один полюс элемента к линейному проводу или источнику энергии. А еще мы можем, прикрепив к линейному проводу или просто поднеся близко к нему лампу накаливания, вакуумную трубку или фосфоресцентную колбу, заставить их светиться.

Каким бы невыполнимым этот план работы ни казался во многих случаях, он определенно выглядит осуществимым и даже рекомендуемым для производства света. Усовершенствованной лампе понадобится совсем немного энергии, и если провода вообще будут использоваться, то мы должны суметь подавать эту энергию без применения обратного провода.

Теперь уже доказанным фактом является то, что тело можно раскалить или заставить фосфоресцировать, либо соединив его с одним контактом, либо просто поместив вблизи источника электрических импульсов нужного характера, и что таким образом можно получить количество света, достаточное для обеспечения практического освещения. Поэтому попытки определить наилучшие условия и изобрести наилучшие устройства для достижения этой цели — дело по меньшей мере стоящее.

В этом направлении уже есть некоторые достижения, и я коротко остановлюсь на них в надежде, что они могут оказаться полезными.

Нагрев проводящего тела, заключенного в колбу и соединенного с источником быстропеременных электрических импульсов, зависит от такого множества факторов различного свойства, что было бы затруднительно вывести одно общеприменимое правило относительно условий, при которых достигается максимальный нагрев. Начнем с размеров сосуда. Я не так давно обнаружил, что при обычном атмосферном или незначительно отличающемся от обычного давлении, когда воздух является хорошим изолятором и за счет этого практически одно и то же количество энергии определенного потенциала и частоты излучается телом, будь оно большим или маленьким, — тело нагревается до более высокой температуры, если оно заключено в маленькую колбу, так как в этом случае объем распределения тепла более ограничен.

При низком давлении, когда воздух становится более или менее проводящим, или если он нагрет настолько, что приобретает качества проводника, тело сильнее раскаляется в большой колбе, очевидно потому, что при прочих равных условиях опыта оно может отдавать большее количество энергии, когда колба большая.

При очень высокой степени вакуумирования, когда вещество в колбе становится «чистым», большая колба по-прежнему обладает преимуществом, хотя и сравнительно небольшим, перед маленькой колбой. Наконец, при крайне высоких степенях вакуумирования, которых нельзя достичь иначе, чем применением специальных средств, никакой ощутимой разницы в нагревании нет, если речь не идет об определенном очень маленьком размере сосуда.

Эти наблюдения стали результатом ряда экспериментов, из которых один, демонстрирующий **влияние размера колбы при высокой степени вакуумирования**, можно описать и показать здесь, поскольку он отличается некоторыми интересными чертами. Были взяты три шарообразные

лампы диаметром в 2, 3 и 4 дюйма, и в центр каждой были помещены одинаковые отрезки обычной нити накаливания равной толщины. В каждой лампе отрезок нити крепился к платиновому проводу подводки, заключенному в стеклянный стержень, впаянnyй в лампу. Особое внимание, разумеется, уделялось тому, чтобы все три лампы имели максимальное сходство. На каждый стеклянный стержень была надета тщательно отполированная металлическая трубочка из алюминиевого листа, подогнанная к стержню и удерживавшаяся с помощью пружины. Функции этой трубочки я объясню позже. В каждой лампе над металлической трубочкой выступали одинаковые по длине отрезки нити. Пока достаточно будет сказать, что при данных условиях равные отрезки нити одинаковой толщины — другими словами, тела одинакового объема — подвергались накаливанию. Три лампы были припаяны к стеклянной трубке, соединенной с насосом Шпренгеля. По достижении высокого вакуума стеклянная трубка, несущая лампы, была запаяна. Затем к каждой лампе поочереди был подан ток, и оказалось, что нити накаляются до примерно равной яркости, и, если уж на то пошло, самая маленькая лампа, размещенная между двумя другими на равном от них расстоянии, могла бы светиться и поярче. Этот результат не был неожиданным, потому что когда любая лампа подключалась к катушке, свечение возникало и в остальных двух, поскольку на самом деле все три лампы составляли единый сосуд. При параллельном подключении ламп к катушке в самой большой из них нить раскалилась ярче всего, в следующей по размеру она была чуть менее яркой, а в самой маленькой лишь покраснела. Затем лампы были запаяны и испытаны по отдельности. На этот раз яркость нити оказалась такой, какой и следовало ожидать, если предположить, что отдаваемая вовне энергия пропорциональна площади поверхности колбы: в каждом случае эта поверхность представляла одну из обкладок конденсатора. В соответствии с этим между большой и средней лампой разница была меньше, чем между средней и маленькой.

В ходе этого эксперимента было сделано интересное наблюдение. Три лампы были подвешены на прямом оголенном проводе, соединенном с клеммой катушки, причем большая лампа была на конце провода, на некотором расстоянии от нее — самая маленькая и на таком же расстоянии от последней — средняя. В этом случае угольная нить раскалилась в обеих лампах большего размера примерно так, как и ожидалось, но самая маленькая светилась далеко не в полную силу. Это наблюдение навело меня на мысль поменять расположение ламп, и тогда я отметил, что какая бы из ламп ни находилась в середине, она горела не в пример слабее, чем когда занимала любое другое положение. Этот загадочный результат был, конечно, следствием электростатического взаимодействия между лампами. Когда они размещались на значительном расстоянии друг от друга или прикреплялись к углам равностороннего треугольника из медного провода, то свечение их соответствовало порядку, определяемому площадью их поверхностей.

Что касается формы сосуда, то она тоже имеет некоторое значение, особенно при высоких степенях вакуумирования. Похоже, из всех возможных конструкций лучше всего использовать шарообразную форму с огнеупорным телом накаливания в центре. Было на опыте продемонстрировано, что в такой колбе огнеупорное тело накаливания заданного размера легче довести до раскаленного состояния, чем при использовании колб другой формы. Огнеупорному телу также выгодно — по самоочевидным причинам — придавать сферическую форму. В любом случае оно должно помещаться в центре лампы, где сталкиваются атомы, рикошетом отскакивающие от стекла. Этой цели легче всего достигнуть в шарообразной лампе; но она также достижима и в цилиндрическом сосуде, где одна или две прямые нити накаливания располагаются на его оси, а также, возможно, в параболических или сферических лампах, где огнеупорное тело или тела помещены в фокус. Последнее, впрочем, маловероятно, поскольку наэлектризованные атомы должны во всех случаях нормально отскакивать от поверх-

ности, о которую они ударяются, если только их скорость не чрезмерно велика; в последнем случае они, возможно, следовали бы общему закону отражения. Вне зависимости от формы сосуда, если воздух откачен только слегка, нить, помещенная в колбу, накаляется до одной и той же степени в любом месте по всей длине. Но если вакуумирование значительно, а лампа имеет обычную сферическую или грушевидную форму, то формируются фокусные точки, и нить раскаляется в большей степени в этих точках или рядом с ними.

Чтобы проиллюстрировать этот эффект, я беру две маленькие одинаковые лампы, только из одной воздух откачен слабо, а из другой — очень сильно. При соединении с катушкой нить в первой лампе светится одинаково по всей длине, тогда как во второй та часть нити, которая находится в центре колбы, раскаляется гораздо сильнее, чем остальные. Любопытно то, что этот феномен проявляется, даже если в колбу помещены две нити, соединенные каждая со своей клеммой катушки, и, что еще более любопытно — даже если они расположены близко друг к другу, при условии, что вакуум будет очень высоким. В экспериментах с такими лампами я обратил внимание на то, что нити накаливания обычно разрушаются в определенной точке, и при первых опытах я относил это на счет дефектов в угольной нити. Но когда этот феномен стал проявляться много раз подряд, я осознал его истинную причину.

С целью раскалить огнеупорное тело, заключенное в колбу, из соображений экономии желательно, чтобы вся энергия, поступающая к лампе от источника, без потерь достигала нагреваемого тела; она должна излучаться от него — и ни от чего больше. Разумеется, и речи не идет о возможности достижения этого идеального теоретического результата, но благодаря данной конструкции осветительного прибора можно более или менее к нему приблизиться.

Огнеупорное тело накаливания помещается в центр колбы, и для этого есть не одна причина; обычно его поддерживает стеклянный стержень, содержащий провод подводки.

Поскольку потенциал на этом проводе переменный, окружающий стержень разреженный газ испытывает индуктивное воздействие, и стеклянный стержень подвергается усиленной бомбардировке и нагреву. Таким образом, большая часть подаваемой на лампу энергии — особенно при применении чрезвычайно высоких частот — может быть потеряна для конечной цели. Чтобы избежать этих потерь или, по крайней мере, свести их к минимуму, я обычно экранирую окружающий стержень разреженный газ от индуктивного воздействия провода подводки, снабжая стержень трубочкой или покрытием из проводящего материала. Похоже, нет особых сомнений в том, что среди металлов, применяемых для этой цели, наилучшим является алюминий благодаря его многим замечательным свойствам. Единственный его недостаток — то, что он легко плавится, и поэтому расстояние от него до огнеупорного тела накаливания должно тщательно вычисываться. Обычно из тончайшего алюминиевого листа делается тонкая трубочка диаметром несколько меньше, чем диаметр стеклянного стержня, и надевается на стержень. Трубочку легко изготовить, обернув закрепленный в токарном станке прут или стержень кусочком алюминиевого листа нужного размера, плотно придерживая его куском замши или промокательной бумаги и очень быстро вращая прут. Лист плотно обматывается вокруг прута, и получается очень гладкая трубочка из 1-3 слоев металла. При надевании ее на стержень давления обхвата обычно достаточно, чтобы она не соскальзывала, но на всякий случай нижнюю кромку листа лучше завернуть вовнутрь. Верхний внутренний уголок листа, то есть тот, который будет ближе всего к телу накаливания, надо обрезать по диагонали, поскольку часто случается, что вследствие интенсивного нагрева этот уголок заворачивается вовнутрь и оказывается слишком близко к проволоке или нити, поддерживающей тело накаливания, или даже соприкасается с ней. Тогда большая часть энергии, подаваемой на лампу, уходит на нагрев металлической трубочки, и лампа становится бесполезной для намеченной цели. Алюминиевый лист должен несколько выступать над стеклянным

стержнем — на дюйм или около того, — иначе, если стекло будет слишком близко к телу накаливания, оно может сильно нагреться и стать более или менее проводящим. Это может привести к растрескиванию или благодаря его проводимости создать прочный электрический контакт между металлической трубочкой и проводом подводки. В этом случае опять-таки большая часть энергии будет потрачена на нагрев трубочки. Возможно, лучше всего сделать верхний конец трубочки, на высоту около дюйма, гораздо меньшего диаметра, чем остальная ее часть. Чтобы еще уменьшить риск, возникающий от нагрева стеклянного стержня, а также с целью предотвратить электрический контакт между металлической трубочкой и электродом, я предпочитаю оберачивать стержень несколькими слоями тонкой слюды, так чтобы она была по крайней мере вровень с металлической трубочкой. В некоторых лампах я также использовал внешнее изолирующее покрытие.

Предыдущие замечания сделаны лишь для того, чтобы помочь экспериментатору в первых опытах, поскольку он может вскоре найти собственные способы преодоления встретившихся трудностей.

Чтобы продемонстрировать действие экрана и преимущества, которые дает его использование, я взял две лампы одного размера, стержни, провода подводки и нити накаливания в которых сделаны настолько одинаковыми, насколько было возможно. Стержень одной лампы снабжен алюминиевой трубочкой, стержень другой — нет. Вначале обе лампы были соединены трубкой, подключенной к насосу Шпренгеля. Когда был достигнут уровень высокого вакуума, сначала соединительная трубка, а потом и лампы были запаяны — таким образом, в обеих лампах достигнут одинаковый уровень вакуумизации. Когда они по отдельности соединены с катушкой, выдающей определенный потенциал, угольная нить в лампе, снабженной алюминиевым экраном, сильно раскаляется, тогда как нить в другой лампе может при том же потенциале даже не покраснеть, хотя на самом деле вторая лампа потребляет даже больше энергии, чем первая. Когда

они обе подключены к клемме одновременно, то разница еще более заметна, что указывает на важность наличия экрана. Металлическая трубочка, надетая на стержень, содержащий провод подводки, исполняет в действительности две разные функции. Во-первых, она в большей или меньшей степени действует как электростатический экран, таким образом экономя энергию, подаваемую на лампу; а во-вторых, до какой бы степени ни была слаба ее электростатическая защита, она действует еще и механически, предотвращая бомбардировку и соответственно интенсивный нагрев и возможное разрушение тонкой опоры огнеупорного тела накаливания или стеклянного стержня, содержащего провод подводки. Я сказал — тонкой опоры, поскольку очевидно, что с целью как можно более полно ограничить нагрев самим телом накаливания его опора должна быть очень тонкой, чтобы на нее тратилось как можно меньше тепла за счет проводимости. Из всех опробованных опор обычная нить накаливания, как я выяснил, оказалась лучшей в основном потому, что среди всех прочих проводников она может выдержать самые высокие температуры нагрева.

Эффективность металлической трубочки в качестве электростатического экрана в основном зависит от степени вакуумирования колбы.

При чрезвычайно высокой степени вакуумирования, которой можно достичь путем крайней осторожности и применения специальных средств в сочетании с насосом Шпренгеля, когда вещество в колбе находится в очень сильно излучающем состоянии, трубочка действует лучше всего. Тогда на стекле колбы резко вырисовывается тень верхней ее грани.

При несколько более низких степенях вакуумирования, близких к обычному «неударному» вакууму, и вообще в тех случаях, когда вещество движется преимущественно по прямым линиям, экран по-прежнему хорошо справляется со своей задачей. Для уточнения предыдущего замечания необходимо сказать, что то, что является «неударным» вакуумом для катушки, питаемой, как обычно,

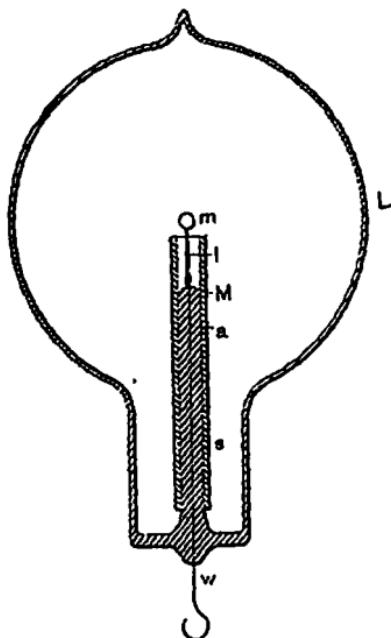


Рис. 13. Лампа со слюдяной трубкой и алюминиевым экраном

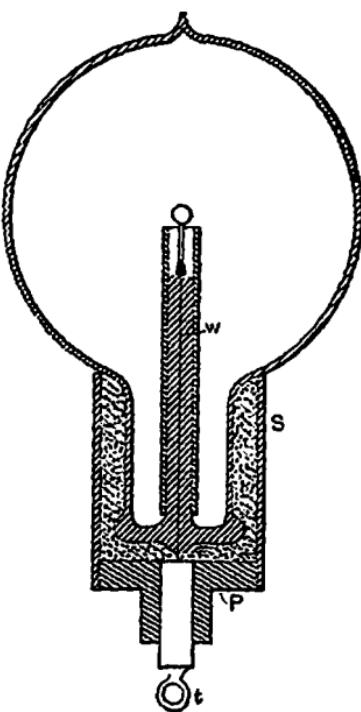


Рис. 14. Улучшенная лампа с патроном и экраном

импульсами или токами низкой частоты, представляет собой далеко не то же самое для катушки, питаемой токами очень высокой частоты. В последнем случае разряд может с величайшей легкостью проходить сквозь разреженный газ, сквозь который низкочастотный разряд пройти не может, даже при гораздо более высоком потенциале. При обычном атмосферном давлении работает совершенно противоположное правило: чем выше частота, тем менее искровой разряд способен проскочить между клеммами, особенно если они имеют вид головок или шаров определенного размера.

И наконец, при очень низких степенях вакуумирования, когда газ хорошо проводит электричество, металлическая трубочка не только не действует как электростатический экран, но даже является недостатком,

в значительной степени способствуя рассеиванию энергии в стороны от провода подводки. Этого, конечно, следует ожидать. Именно в этом случае металлическая трубочка обеспечивает хорошее электрическое соединение с проводом подводки, и бомбардировка в основном направлена на нее. До тех пор, пока хорошего электрического соединения не существует, проводящая трубочка всегда относительно выгодна, поскольку, хотя она может и не особенно экономить энергию, все же она защищает опору огнеупорного тела накаливания и является средством концентрации на нем большей энергии.

Как бы успешно алюминиевая трубочка ниправлялась с функцией экранирования, ее полезность ограничивается высокими степенями вакуумирования, при которых она изолирована от электрода, то есть когда газ в целом не является проводником и его молекулы или атомы действуют как независимые носители электрических зарядов.

В дополнение к более-менее эффективному выполнению функции экрана, в истинном смысле этого слова, проводящая трубочка или покрытие может действовать, по причине своей проводимости, как своего рода эквалайзер или глушитель по отношению к бомбардировке стержня. Попробую выразить свою мысль яснее. Я представляю это действие так: предположим, что происходит ритмичная бомбардировка проводящей трубочки. По причине несовершенства ее действия в качестве экрана обязательно должно быть так, что некоторые молекулы или атомы ударяются о трубочку раньше остальных. Те, что вступают в контакт с ней первыми, отдают свой избыточный заряд, и трубочка электризуется, причем электризация мгновенно распространяется по всей поверхности. Но это должно уменьшать потери энергии при бомбардировке по двум причинам. Во-первых, отанный атомами заряд распространяется по большой площади, поэтому плотность электрического заряда в любой точке мала и атомы отталкиваются с меньшей энергией, чем могли бы, если бы сталкивались с хорошим изолятором. Во-вторых, поскольку трубочка электризуется теми атомами, которые первыми

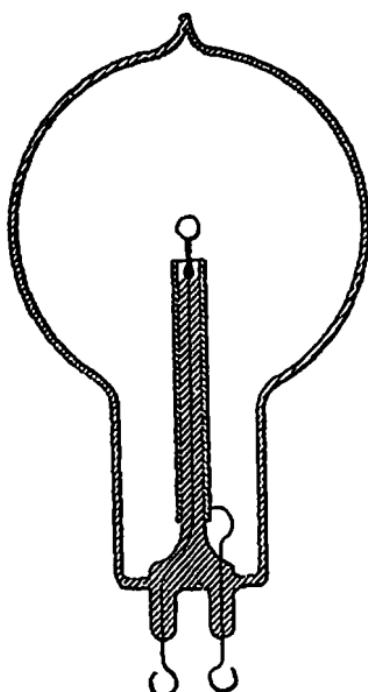


Рис. 15. Лампа для экспериментов с проводящей трубочкой

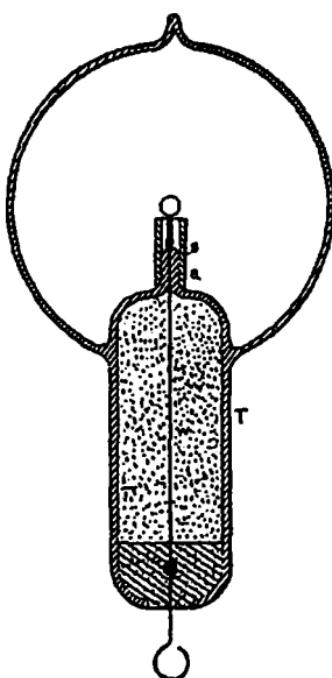


Рис. 16. Улучшенная лампа с непроводящей головкой

вступили с ней в контакт, продвижение следующих атомов к трубочке более или менее затрудняется силой отталкивания, с которой наэлектризованная трубочка должна действовать на атомы, имеющие такой же заряд. Это отталкивание, вероятно, может быть достаточным, чтобы удержать большую часть атомов от столкновения с трубочкой, но в любом случае оно должно уменьшать энергию столкновения. Ясно, что, когда разреженность очень невелика и разреженный газ хорошо проводит электричество, ни один из вышеуказанных эффектов не проявляется. С другой стороны, чем меньше количество атомов, тем больше у них свободы передвижения; другими словами, чем выше степень вакуумирования, чем ближе она к абсолютной, тем больше будут сказываться оба эти эффекта.

То, о чём я только что говорил, может дать объяснение феномену, который наблюдал профессор Крукс, а имен-

но — что разряд в лампе устанавливается гораздо легче, когда в нее помещен изолятор, а не проводник. По моему мнению, проводник действует как глушитель движения атомов двумя указанными способами; поэтому, чтобы заставить видимый разряд пройти сквозь лампу, требуется гораздо больший потенциал, если присутствует проводник, особенно с большой площадью поверхности.

Ради того, чтобы уточнить некоторые из прежде сделанных замечаний, я должен теперь обратиться к рисункам 13, 14 и 15, которые иллюстрируют разнообразные конструкции наиболее часто применяемого типа ламп.

Рис. 13 представляет в разрезе шарообразную лампу *L* со стеклянным стержнем *s*, содержащим провод подводки *w*, на который крепится нить накаливания лампы *l*, служащая опорой для огнеупорной головки *t* в центре лампы. Буквой *M* обозначен лист тонкой слюды, в несколько слоев обернутый вокруг стержня *s*, а буквой *a* — алюминиевая трубочка.

Рис. 14 представляет такую лампу несколько более усовершенствованного вида. Металлическая трубочка *S* закреплена в горловине колбы с помощью цемента. В колбу ввинчена пробка *P* из изолирующего материала, в центре которой закреплен металлический электрод *t* для соединения с проводом подводки *w*. Этот электрод должен быть хорошо изолирован от металлической трубочки *S*, поэтому если используемый цемент обладает проводящими свойствами — а по большей части это именно так, — то пространство между пробкой *P* и горловиной колбы должно быть заполнено каким-либо хорошим изолирующим материалом, например слюдяным порошком.

На рис. 15 показана лампа, изготовленная для экспериментальных целей. В этой лампе алюминиевая трубочка снабжена внешним соединением, которое служит для изучения работы лампы при разных условиях. Я упоминаю о ней в основном для того, чтобы наметить направление следующих экспериментов.

Поскольку бомбардировка, направленная против стержня, содержащего провод подводки, является следс-

твием индуктивного действия стержня на разреженный газ, имеет смысл уменьшить это воздействие насколько возможно, применив очень тонкий провод, окруженный очень толстой изоляцией из стекла или другого материала, и сделав отрезок провода, проходящий через газ, максимально коротким. Чтобы сочетать эти условия, я использую большую трубку T (рис. 16), которая на некоторое расстояние вдается в колбу и несет на верхней части очень короткий стеклянный стержень s , в который впаян провод подводки w . Я защищаю верхушку стеклянного стержня от нагрева маленькой алюминиевой трубочкой a и размещенным под ней слоем слюды, как обычно. Провод w , выходя сквозь большую трубку наружу из лампы, должен быть хорошо изолирован, например стеклянной трубочкой, а пространство между ним и стенками трубы должно быть заполнено каким-нибудь очень хорошим изолятором. Из множества испробованных порошковых изоляторов, как я выяснил, лучше всего применять слюянной порошок. Если не принять этой меры предосторожности, трубка T , вдающаяся в колбу, наверняка треснет вследствие нагрева от кистевых разрядов, которые склонны формироваться в верхней части трубы, ближе к вакуумному шару лампы, особенно если достигнут высокий вакуум и, как следствие, потенциал, необходимый для работы лампы, очень высок.

Рис. 17 иллюстрирует похожую конструкцию с большой трубкой T , вдающейся в ту часть колбы, в которой содержится огнеупорная головка t . В этом случае провод, ведущий снаружи внутрь колбы, отсутствует, необходимая энергия поступает через обкладки конденсатора CC . В этой конструкции изолирующая прокладка P должна плотно прилегать к стеклу и быть довольно широкой, иначе разряд может не пойти по проводу w , который соединяет внутреннюю обкладку конденсатора с огнеупорной головкой t .

Молекулярная бомбардировка стеклянного стержня в колбе является источником больших проблем. В качестве иллюстрации приведу феномен, наблюдаемый мною

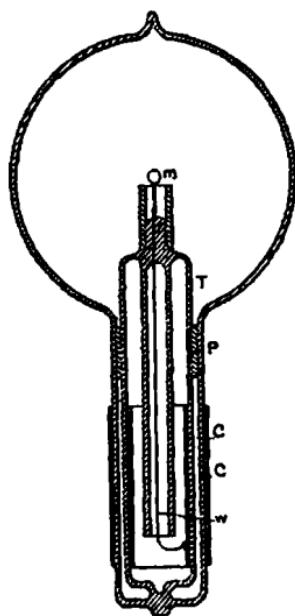


Рис. 17. Тип лампы
без провода подводки

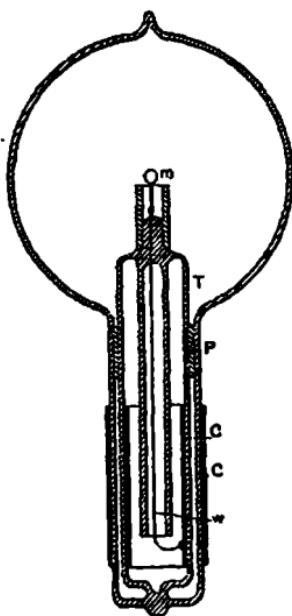


Рис. 18. Эффект,
производимый рубиновой каплей

даже слишком часто и против собственного желания. Можно взять лампу, лучше большого размера, и поместить в нее на платиновом проводе, впаянном в стеклянный стержень, хороший проводник — например кусочек угля. Колбу можно откачать до очень высокого вакуума, почти до той точки, на которой возникает фосфоресценция. Когда лампа соединяется с катушкой, кусочек угля, если он маленький, может вначале сильно раскалиться, но его яркость немедленно уменьшается, а потом разряд может пробить стекло где-нибудь в районе середины стержня, в форме искр, несмотря на то что платиновый провод находится в хорошем электрическом соединении с разреженным газом через кусочек угля или металла на его верхушке. Первые искры необыкновенно яркие и напоминают те, что возникают на ровной поверхности ртути. Но поскольку они быстро нагревают стекло, их яркость,

разумеется, тускнеет, и они прекращаются, когда стекло в месте пробоя раскаляется или в принципе становится достаточно горячим, чтобы обрести свойства проводника. При первом наблюдении этот феномен может показаться очень любопытным; он с поразительной ясностью показывает, насколько кардинально по-разному могут вести себя переменные токи или импульсы высокой частоты по сравнению с постоянными или низкочастотными токами. При применении таких токов — я имею в виду последнее — этот феномен, конечно, не проявится. Когда применяются частоты, которые можно получить механическими средствами, думаю, пробой стекла является в большей или меньшей степени следствием бомбардировки, которая нагревает стекло и ослабляет его изолирующие свойства. Но при частотах, получаемых от конденсатора, несомненно, стекло может не выдержать и без предварительного нагрева. Хотя поначалу это кажется очень необычным, на самом деле мы вполне можем этого ожидать. Энергия, подаваемая на провод, ведущий в лампу, частично отдается непосредственным воздействием на угольную головку, частично — индуктивным воздействием сквозь стекло, окружающее провод. Таким образом, этот случай аналогичен тому, в котором конденсатор, шунтированный проводником низкого сопротивления, соединяется с источником переменного тока. Пока частоты низкие, большую часть энергии получает проводник, и конденсатор находится в полной безопасности. Но когда частоты становятся чрезвычайно высокими, роль проводника может стать совсем незначительной. В последнем случае разность потенциалов на клеммах конденсатора может стать настолько огромной, что повредит диэлектрик, не считаясь с тем фактом, что клеммы соединены проводником низкого сопротивления.

Когда желательно добиться накаливания помещенного в колбу тела посредством таких токов, конечно, нет особой необходимости в том, чтобы это тело было проводником, поскольку даже совершенно непроводящий предмет можно столь же легко раскалить. Для этой цели достаточно

окружить проводящий электрод непроводящим материалом, как, например, это сделано в лампе, изображенной на рис. 16, в которой тонкая нить накаливания покрыта непроводящим веществом и поддерживает головку из того же вещества на верхушке. Вначале бомбардировка происходит за счет индуктивного воздействия через непроводник, пока он не нагреется достаточно для того, чтобы начать проводить ток, после чего бомбардировка продолжается обычным образом.

Другая конструкция, использованная в некоторых лампах, иллюстрирована рис. 18. В этом примере непроводник *m* укреплен на кусочке обычного угольного элемента так, чтобы он немного выступал над последним. Угольный элемент соединен с проводом подводки, проходящим через стеклянный стержень, обернутый несколькими слоями слюды. Алюминиевая трубочка *a*, как обычно, выступает в роли экрана. Она установлена таким образом, что почти равна высотой угольному элементу, и лишь непроводник *m* немного выступает над ней. Сначала бомбардировка направлена против верхней части поверхности угольного элемента, поскольку нижняя часть его защищена алюминиевой трубочкой. Однако, как только непроводник *m* нагревается, он становится хорошим проводником и центром бомбардировки, поскольку в большей степени открыт для нее.

Я также сконструировал в ходе этих экспериментов много таких однопроводных ламп или ламп без внутреннего электрода, в которых лучистая материя направлялась или фокусировалась на теле накаливания. Рис. 19 демонстрирует одну из таких ламп. Она состоит из сферической колбы *L*, имеющей наверху длинную горловину *p* для усиления воздействия в некоторых случаях путем наложения внешней проводящей обкладки. На нижней стороне колбы *L* выдуга очень маленькая колбочка *b*, которая служит для жесткого закрепления лампы в гнезде *S* из изолирующего материала с помощью цемента. Тонкая ламповая нить накаливания *f*, держащаяся на проводе *w*, проходит через центр колбы *L*. Нить накаляется в срединной час-

ти, где бомбардировка, исходящая от нижней внутренней поверхности колбы, наиболее сильна. Нижняя часть колбы до уровня верхней границы гнезда Сделается проводящей с помощью покрытия из фольги или как-либо иначе, а внешний электрод соединен с клеммой катушки.

Конструкция, схематически изображенная на рис. 19, оказалась весьма посредственной, когда целью было накалить нить или головку, укрепленную в центре колбы, но хорошо подходила для возбуждения фосфоресценции.

Во многих экспериментах с помещенными в колбу телами накаливания различного рода (как, например, на рис. 18) были сделаны интересные наблюдения.

Помимо прочего, оказалось, что в таких случаях, вне зависимости от того, где именно начиналась бомбардировка, как только достигалась высокая температура, обычно один из элементов конструкции принимал на себя ее большую часть, а нагрузка на остальные таким образом снижалась. Похоже, это свойство зависит главным образом от точки плавления и степени легкости, с которой вещество «улетучивалось» или, вообще говоря, расщеплялось. Последний термин в данном случае подразумевает не только отщепление атомов, но и больших по размеру фрагментов. Это наблюдение соответствует общепринятым представлениям. В колбе с сильно откачанным воздухом электричество снимается с электрода независимыми носителями, которые отчасти являются атомами или молекулами окружающей атмосферы, отчасти атомами, молекулами или фрагментами, отбрасываемыми от самого электрода. Если электрод изготовлен из веществ разного характера и если одно из них расщепляется легче остальных, большая часть подаваемой электрической энергии рассеивается через это вещество, которое тогда нагревается до более высокой температуры, чем прочие, и это тем более так, поскольку при повышении температуры вещество расщепляется еще легче.

Мне кажется весьма вероятным, что сходный процесс имеет место в колбе даже с однородным электродом, и я считаю его основной причиной разрушения электрода.

Некоторых несовершенств не избежать, даже если поверхность очень гладкая, что, конечно, невозможно для большинства огнеупорных веществ, используемых в качестве электродов. Предположим, что некая точка электрода нагревается. Большая часть разряда тут же начинает проходить сквозь эту точку, и крошечная его частичка плавится и испаряется. Возможно, что вследствие интенсивного расщепления температура подвергающегося атаке места снижается или создается противодействующая сила, как в дуге. Во всяком случае, локальный спад сталкивается с ограничениями, характерными для данного эксперимента, после чего процесс начинается в другом месте. Взгляду электрод кажется равномерно ярким, но на нем есть точки, постоянно мигрирующие и смещающиеся, в которых температура намного превышает среднюю, что существенно ускоряет процесс расщепления. Тому, что такие процессы происходят, по крайней мере тогда, когда электрод имеет меньшую температуру, можно получить весомое экспериментальное доказательство, если поступить следующим образом. Очень сильно откачивайте воздух из колбы, так чтобы при действительно высоком потенциале разряд не мог пройти, то есть не лучистый разряд, поскольку слабый невидимый разряд возникает, по всей вероятности, всегда. Теперь медленно и осторожно повышайте потенциал, пуская первичный ток не более чем на мгновение. В определенный момент на поверхности колбы возникают две, три или полдесятка фосфоресцентных точек. Эти места на стекле явно подвергаются большей бомбардировке, чем остальные, что является результатом неравномерного распределения плотности электрического заряда, усиленной, разумеется, острыми выступами или, вообще говоря, неровностями электрода. Но светящиеся пятна постоянно перемещаются, что особенно хорошо заметно, если удается получить небольшое их число, и это указывает на то, что структура электрода быстро изменяется.

Благодаря опытам такого рода я пришел к выводу, что **для того, чтобы огнеупорная головка в колбе была более долговечной, она должна быть выполнена в форме шара с глад-**

ко отполированной поверхностью. Такой маленький шарик можно изготовить из алмаза или другого кристалла, но наилучший способ — расплавить, применяя экстремально высокие температуры, какой-либо оксид, как, например, двуокись циркония, в маленькую каплю, а затем поместить ее в колбу при температуре несколько ниже точки плавления этого вещества.

Несомненно, интересные и полезные результаты можно получить при исследованиях в области крайне высоких температур. Как можно таких температур достичь? А как достигаются высочайшие степени нагрева в природе? Путем воздействия звезд, больших скоростей и столкновений. При столкновении можно получить любую степень нагрева. В химических средствах мы ограниченны. Когда кислород и водород соединяются, они, метафорически выражаясь, падают с определенной высоты. Мы не можем продвинуться достаточно далеко ни с помощью горелки, ни нагнетая жар в горне, но в вакуумной колбе мы можем сконцентрировать любое количество энергии на крошечной головке. Не рассматривая вопросы практической осуществимости, хочу сказать, что это могло бы стать тем средством, которое, по моему мнению, даст нам возможность достигать самых высоких температур. Но великая трудность на этом пути состоит в том, что в большинстве случаев вещество улетучивается быстрее, чем может расплавиться и образовать каплю. Эта сложность возникает в основном с оксидами, такими как диоксид циркония, потому что их нельзя спрессовать в такую твердую массу, которая не разрушится слишком быстро. Я неоднократно пытался расплавить цирконий, помещая его в угольную чашу или угольную дугу, как показано на рис. 23. Он сиял очень ярким светом, и поток частиц, вырывавшихся из угольной чаши, был ярко-белым. Но вне зависимости от того, был ли он спрессован в плотный кусок или растерт в порошок с углем, улетучивался он быстрее, чем успевал расплавиться. Угольную чашу, содержащую цирконий, надо было размещать в горловине большой колбы как можно ниже, поскольку нагрев стекла отбрасываемыми

частицами происходил настолько быстро, что при проведении первого опыта колба треснула почти сразу же, как только я включит ток. Нагрев стекла летящими частицами оказывался всегда более интенсивным, когда угольная чаша содержала быстро испарявшееся вещество, — полагаю, потому, что в таких случаях при том же потенциале достигались более высокие скорости, а также потому, что на единицу времени «выстреливалось» больше материи, то есть большее количество частиц ударялось о стекло. Вышеупомянутое затруднение, однако, не возникало, когда вещество, помещенное в угольную чашку, оказывало стойкое сопротивление распаду. Например, когда оксид был предварительно расплавлен в кислородной горелке, а потом помещен в колбу, он легко расплавился в каплю.

Как правило, во время процесса плавления отмечались чудесные световые эффекты, о которых трудно было бы дать адекватное представление на словах. Рис. 18 задуман как иллюстрация эффекта, полученного с помощью рубиновой капли. Сначала можно видеть узкий столбик белого света, направленный к вершине колбы, где он об разует фосфоресцентное пятно неровных очертаний. Когда кончик рубина начинает плавиться, фосфоресценция становится очень мощной. Но поскольку теперь атомы отбрасываются от поверхности капли с гораздо большей скоростью, то вскоре стекло нагревается и «устает», и тогда остается светящейся только внешняя граница этого пятна. Таким образом получается интенсивно фосфоресцирующая, четко очерченная линия *l*, соответствующая очертаниям капли, которая медленно расползается по колбе по мере того, как капля становится больше. Когда вся масса начинает кипеть, в ней формируются небольшие пузырьки и впадинки, что вызывает перемещение по поверхности колбы темных пятен. Колбу можно перевернуть, не боясь, что капля выпадет из чаши, поскольку расплав обладает значительной вязкостью.

Могу упомянуть здесь другую довольно интересную черту, которую, как я полагаю, мне удалось заметить в ходе этих экспериментов, хотя имеющихся наблюдений

недостаточно для полной уверенности. Похоже, что под молекулярным воздействием, вызванным быстропеременным потенциалом, вещество плавилось и оставалось в этом состоянии при более низкой температуре в хорошо откаченной колбе, чем когда процесс шел при нормальном давлении и применении нагрева обычным способом — по крайней мере если судить по количеству испускаемого света. Один из проведенных экспериментов можно упомянуть в качестве иллюстрации. Маленький кусочек пемзы был укреплен на платиновом проводе и сначала приварен к ней в пламени газовой горелки. Затем провод был помещен между двумя кусочками древесного угля, и с помощью горелки достигалась температура, достаточная для того, чтобы расплавить пемзу в маленькую стекловидную каплю. Платиновый провод надо было брать достаточной толщины, чтобы предотвратить его расплавление в огне. При нагреве как в огне древесного угля, так и в пламени горелки, где я держал головку, чтобы получить лучшее представление о степени нагрева, она сияла ярким светом. После этого провод с головкой были помещены в колбу, и после сильного откачивания воздуха я медленно стал подавать ток, чтобы не спровоцировать растрескивания головки. Головка нагрелась до точки плавления, и когда она таяла, то явно сияла не столь интенсивно, как раньше, что указывало на более низкую температуру. Оставляя без рассмотрения возможную и даже вероятную ошибку наблюдателя, зададимся вопросом: может ли тело при таких условиях быть переведено из твердого в жидкое состояние с меньшим выделением света?

Когда потенциал тела быстро колеблется, его структура разрушается. Когда потенциал очень высок, хотя количество колебаний может быть и небольшим — скажем, 20000 в секунду, — его влияние на структуру может быть значительным. Предположим, например, что рубин расплавлен в каплю при постоянном энергетическом воздействии. Когда капля формируется, она испускает видимые и невидимые волны, находящиеся в определенном соотношении, и для глаза свечение капли будет обладать

определенной степенью яркости. Далее, предположим, что мы уменьшим до любой желаемой степени постоянно поступающую энергию, а вместо этого будем подавать энергию, которая нарастает и ослабевает в соответствии с определенным законом. Теперь, когда капля сформирована, она будет испускать три различных вида колебаний — обычные видимые и два вида невидимых волн, то есть обычные темные волны всех длин и, в дополнение, волны вполне определенного характера. Последние не появлялись бы при постоянной подаче энергии, и все же они помогают разрушать и расшатывать структуру. Если это действительно так, тогда рубиновая капля будет испускать сравнительно меньшее количество видимых и большее — невидимых волн, чем раньше. Таким образом, может показаться, что когда платиновый провод, например, расплавляется при помощи токов, колеблющихся с крайней высокой скоростью, он испускает в точке плавления меньше света и больше невидимого излучения, чем когда его расплавляют постоянным током, хотя общее количество затраченной на этот процесс энергии одинаково в обоих случаях. Приведу другой пример: нить лампы накаливания неспособна выдерживать так долго при токах крайне высокой частоты, как при постоянных токах, при условии, что она будет работать с той же интенсивностью свечения. Это означает, что **для переменных токов высокой частоты нить должна быть короче и толще**. Чем выше частота, то есть чем больше отклонения от постоянно-го тока, тем хуже для нити. Но если бы справедливость этого замечания была продемонстрирована на опыте, то было бы ошибкой сделать вывод, что такая огнеупорная головка, какая используется в этих лампах, разрушалась бы быстрее при токах крайне высокой частоты, чем при постоянных или низкочастотных токах. По собственному опыту могу сказать, что действует прямо противоположное правило: головка выдерживает бомбардировку лучше при токах очень высокой частоты. Но это — следствие того факта, что высокочастотный разряд проходит сквозь разреженный газ с гораздо большей легкостью, чем разряд

постоянного тока или тока низкой частоты, и это должно говорить о том, что в первом случае мы можем работать с токами более низкого потенциала или с менее интенсивным воздействием. Значит, пока газ не оказывает влияния, постоянный или низкочастотный ток оказывается лучше; но если желательно и важно воздействие газа, то высокие частоты предпочтительны.

В ходе этих экспериментов во множестве опытов были испытаны все виды углеродных головок. Электроды, сделанные из обычных угольных стержней, оказались значительно более выносливыми, когда головки формовались с применением огромного давления. Электроды, изготовленные путем осаждения угля хорошо известными способами, зарекомендовали себя не слишком хорошо: от них колба слишком быстро чернела. Из результатов многих опытов я сделал вывод, что **нити накаливания, полученные таким способом, могут быть с выгодой использованы только при низких потенциалах и токах низкой частоты.** Некоторые виды углерода настолько тугоплавки, что для того, чтобы довести их до точки плавления, необходимо применять очень маленькие головки. В этом случае наблюдение очень затрудняется из-за сильного нагрева. Тем не менее не может быть сомнений в том, что все виды углерода плавятся под воздействием молекулярной бомбардировки, но их жидкое состояние крайне нестабильно. **Из всех испробованных веществ наибольшей стойкостью отличаются два — алмаз и карборунд.** Они проявили себя примерно одинаково, но из них последний предпочтителен, и по многим причинам. Поскольку более чем вероятно, что это вещество пока еще не всем известно, я решился обратить на него ваше внимание.

Оно было недавно получено Э.Г. Ачесоном из Мононгахилы, штат Пенсильвания, США. Карборунд был призван заменить обычную алмазную пыль для полирования драгоценных камней и тому подобных целей, и, насколько мне известно, он справляется с этой задачей весьма успешно. Не знаю, почему его назвали именно карборундом — разве что какой-то момент в процессе производства

оправдывает этот выбор. Благодаря любезности его изобретателя я недавно получил некоторое количество образцов, которые хотел протестировать на предмет их фосфоресцентных качеств и способности выдерживать высокие степени нагрева.

Карборунд может быть получен в двух формах — кристаллов и порошка. Кристаллы на невооруженный взгляд кажутся темноокрашенными, но очень яркими; порошок на вид почти такого же цвета, как обычная алмазная пыль, но гораздо тоньше по структуре. При изучении под микроскопом подаренные мне образцы кристаллов казались не имеющими определенной формы, скорее они напоминали кусочки раскрошенной яичной скорлупы отлично-го качества. Большинство их были непрозрачны, но попадались и прозрачные, и даже цветные. Эти кристаллы представляют собой вид углерода с вкраплениями; они крайне твердые и долгое время выдерживают даже пламя кислородной горелки. При направлении на них пламени горелки они сначала образуют слоистую массу — возможно, из-за плавления имеющихся в них вкраплений. Получившаяся масса долгое время противостоит пламени, не расплавляясь дальше; но медленное испарение или горение все же происходит, и, наконец, остается небольшое количество стеклоподобного осадка, представляюще-го собой, как я полагаю, расплавленный глинозем. При сильном спрессовывании они хорошо проводят ток, но не так хорошо, как обычный углерод. Порошок, каким-то образом получаемый из кристаллов, практически не проводит ток. Он является прекрасным полировальным материалом для камней. У меня было слишком мало вре-мени для проведения удовлетворительных исследований качеств этого вещества, но за те несколько недель, что я с ним экспериментировал, был получен опыт, достаточный для того, чтобы констатировать, что он обладает во многих отношениях замечательными свойствами. Он выдерживает крайне высокие степени нагрева, он мало расщепляется молекулярной бомбардировкой, он не коптит колбу, как делает обычный углерод. Единственная сложность, ко-

торую я обнаружил, используя его в этих экспериментах, была в том, чтобы найти связующий материал, который выдержал бы нагревание и воздействие бомбардировки столь же успешно, как и сам карборунд.

У меня имеется ряд ламп, которые я снабдил головками из карборунда. Чтобы изготовить такую головку из кристаллов карборунда, я поступаю следующим образом: беру обычную нить накаливания и обмакиваю ее кончик в смолу или другую густую субстанцию или краску, которая легко обугливается. Затем пропускаю кончик нити сквозь кристаллы, а потом держу ее вертикально над разогретой пластииной. Смола размягчается и формирует на кончике нити каплю, к поверхности которой прилипают кристаллы. При регулировании расстояния до пластины смола медленно высыхает, и головка становится плотной. Затем я вновь обмакиваю головку в смолу и снова держу ее над пластииной, пока смола не испарится, оставив лишь твердую массу, надежно удерживающую кристаллы. Когда требуется головка большего размера, я повторяю эту операцию несколько раз, а также обычно покрываю кристаллами нить на определенную длину ниже головки. После того как головка помещена в колбу и хорошенько откачен воздух, сквозь колбу пропускается сперва слабый, а потом мощный разряд, чтобы обуглить смолу и исключить присутствие всех газов, а позже головка чрезвычайно интенсивно накаляется.

При использовании порошка я обнаружил, что лучше всего действовать так: я делаю густую пасту из карборунда и смолы и пропускаю сквозь нее нить накаливания. Сняв затем большую часть пасты трением о кусок замши, держу нить над разогретой пластииной, пока смола не испарится, а покрытие не затвердеет. Повторяю этот процесс столько раз, сколько необходимо для получения определенной толщины покрытия. На кончике обработанной нити таким же способом формирую головку.

Несомненно, такая головка из карборунда, правильно изготовленная с применением большого давления, особенно если она сделана из порошка лучшего качества,

выдержит воздействие бомбардировки ничуть не хуже любого известного нам материала. Сложность заключается в том, что не выдерживает связующий материал, и через некоторое время карборунд постепенно осыпается. Поскольку от него, кажется, лампа вообще не покрывается копотью, он может оказаться полезным для покрытия нитей накаливания обычных ламп, и я даже думаю, что можно изготавливать тонкие нити или стержни из карборунда, которые заменят обычные нити в лампах накаливания. Карборундовое покрытие, похоже, намного прочнее других, не только потому, что карборунд может выдерживать высокие степени нагрева, но также потому, что он лучше соединяется с углеродом, чем любой другой материал из тех, что я испробовал. Покрытие из циркониевого ангидрида или любого другого оксида, например, разрушается гораздо быстрее. Я изготавливал головки из алмазной пыли тем же способом, что и из карборунда, и по прочности они не уступали карборундовым, но связующая паста не выдерживала в алмазных головках намного раньше. Этот недостаток, однако, я отношу на счет размера и неправильной формы алмазных частиц.

Мне было интересно выяснить, обладает ли карборунд способностью к фосфоресценции. Разумеется, надо быть готовым к двум трудностям: во-первых, что касается сырья, то есть кристаллов, они хорошо проводят ток, а это признанный факт, что проводники не фосфоресцируют. Во-вторых, порошок карборунда, имея чрезвычайно тонкую структуру, не смог бы отчетливо демонстрировать это качество, поскольку мы знаем, что когда кристаллы, даже такие как алмаз или рубин, превращены в тонкий порошок, они в значительной степени теряют способность к фосфоресценции.

Здесь сам собой возникает вопрос: может ли проводник фосфоресцировать? Что такого есть в веществе, подобном, например, металлу, что лишает его способности к фосфоресценции, если только это не то свойство, которое характеризует его как проводник? Ибо это известный факт, что большинство фосфоресцентных веществ утра-

чивают это качество, когда нагреваются в достаточной степени, чтобы стать более или менее проводящими. Тогда, если металл в большой степени или полностью лишить этого качества, он должен стать способным к фосфоресценции. Поэтому вполне возможно, что при некой крайне высокой частоте, ведя себя практически как непроводник, металл или любое другое проводящее вещество может демонстрировать способность к фосфоресценции, даже если она полностью отсутствовала под воздействием низкочастотных токов. Есть, однако, и другой возможный вариант того, как проводник может по крайней мере казаться фосфоресцирующим.

До сих пор существуют определенные сомнения по поводу того, что на самом деле представляет собой фосфоресценция и действительно ли все разнообразные феномены, объединенные под этим названием, обязаны своим существованием одним и тем же причинам. Предположим, что в вакуумной колбе под молекулярным воздействием поверхность кусочка металла или другого проводника сильно светится, но в то же время обнаруживается, что она остается сравнительно холодной — разве не назовем мы это свечение фосфоресценцией? А ведь такой результат, по крайней мере теоретически, возможен, поскольку это всего лишь вопрос потенциала или скорости. Предположим, что потенциал электрода и соответственно скорость отброшенных атомов чрезвычайно высоки, тогда поверхность кусочка металла, о которую ударяются отброшенные атомы, сильно раскалятся, поскольку процесс выработки тепла будет происходить гораздо быстрее, чем процесс излучения или оттока тепла от поверхности столкновения. В глазах наблюдателя одно-единственное столкновение атомов породит мгновенную вспышку, но если столкновения будут повторяться с существенной скоростью, они окажут продолжительное воздействие на сетчатку глаз. Наблюдателю поверхность металла будет казаться раскаленной постоянно и с постоянной насыщенностью свечения, тогда как на самом деле свечение будет либо прерывистым, либо по крайней мере периодически меняющим

яркость. Температура кусочка металла будет расти, пока не будет достигнуто равновесие, то есть пока постоянно излучаемая энергия не сравняется с той, которая подается с перерывами. Но подаваемой энергии может при таких условиях оказаться недостаточно, чтобы довести вещество до большей, чем очень умеренная средняя, температуры, особенно если частота атомных столкновений очень низка — едва достаточна для того, чтобы флуктуации интенсивности излучаемого света не были заметны для взгляда. Тогда вещество благодаря способу подачи энергии испускало бы сильное свечение и все же имело бы сравнительно низкую среднюю температуру. Как наблюдатель может назвать полученное таким образом свечение? Даже если анализ этого света даст ему какие-то определенные данные, он все же, вероятно, зачислит его в ранг феноменов *фосфоресценции*. Вполне вероятно, что таким образом как проводящие, так и непроводящие вещества могут поддерживаться в состоянии определенной интенсивности свечения, но необходимое для этого количество энергии варьировалось бы в широких пределах в зависимости от природы и свойств конкретных веществ.

Эти и некоторые последующие замечания умозрительного характера сделаны только для выявления любопытных свойств переменных токов или электрических импульсов. С помощью этих токов и импульсов мы можем заставить предмет испускать *больше* света при определенной средней температуре, чем он бы излучал, доведенный до этой температуры при постоянной подаче энергии. И, опять-таки, мы можем довести вещество до точки плавления и заставить его испускать *меньше* света, чем когда оно плавится при помощи подачи энергии обычным путем. Все это зависит от того, как мы подаем энергию и какого рода колебания вызываем: в одном случае колебания больше пригодны для воздействия на наше зрение, в другом — меньше.

Некоторые эффекты, полученные при первых опытах с карборундом, которые раньше мне не доводилось наблюдать, я вначале приписывал фосфоресценции, но при последующих опытах выяснилось, что карборунд такого

качества лишен. Эти кристаллы обладают свойством, которое стоит упомянуть. В колбе, снабженной единственным электродом в форме, например, маленького округлого металлического диска, при определенной степени вакуумирования электрод покрывается млечной пленкой, которая отделена темным пространством от сияния, наполняющего колбу. Когда металлический диск покрыт карборундовыми кристаллами, эта пленка выглядит гораздо ярче и приобретает снежно-белый цвет. Это, как я позже выяснил, всего лишь эффект яркой поверхности кристаллов, поскольку когда алюминиевый электрод был тщательно отполирован, он демонстрировал примерно тот же феномен. Я провел ряд экспериментов с полученными образцами кристаллов в основном потому, что мне было особенно интересно обнаружить их способность к фосфоресценции, учитывая их проводниковые способности. Я не сумел добиться отчетливой фосфоресценции, но должен заметить, что решительный вывод не может быть сделан, пока другие экспериментаторы не проведут исследования в этой области.

Порошок карборунда в некоторых экспериментах вел себя так, будто содержал глинозем, но не демонстрировал с достаточной отчетливостью красноватого оттенка последнего. Его мертвенный цвет становится существенно ярче под воздействием молекулярной бомбардировки, но теперь я убежден, что он не фосфоресцирует. И все же эти опыты с порошком нельзя назвать решающими, поскольку измельченный карборунд может вести себя не так, как, например, фосфоресцентный сульфид, который может быть превращен в порошок и при этом не потерять способности к фосфоресценции, а скорее как порошковый рубин или алмаз. Поэтому с целью провести решающие опыты было бы необходимо получить карборунд большим куском и отполировать его поверхность.

Если карборунд действительно окажется полезен в связи с этими и другими похожими экспериментами, его главное достоинство проявится в производстве покрытий,

тонких проводников, головок и других видов электродов, способных выдерживать экстремальные степени нагрева.

Получение маленького электрода, способного противостоять огромным температурам, я рассматриваю как дело величайшей важности в производстве света. Он дал бы нам возможность получать посредством токов очень высокой частоты в 20 — если не более — раз большее количество света, чем то, которое мы получаем от современной лампы накаливания, при тех же затратах энергии. Эта оценка может показаться завышенной, но на самом деле, думаю, это далеко не так. Поскольку данное утверждение может быть неверно понято, думаю, необходимо ясно изложить проблему, которая стоит перед нами в этой области работы, и тот путь, которым, по моему мнению, можно подойти к ее разрешению.

Любой, кто начинает изучение этой проблемы, склонен думать, что главное, что требуется от лампы с электродом, — это очень высокая степень раскаленности электрода. И здесь кроется ошибка. Сильная раскаленность электрода — это необходимое зло, а что действительно требуется — так это сильная раскаленность газа, окружающего головку. Другими словами, проблема такой лампы в том, чтобы довести массу газа до самой высокой возможной степени раскаленности. Чем она выше, чем больше средняя скорость колебаний, тем больше экономия в производстве света. Но чтобы удерживать газ на высоком уровне накала в стеклянном сосуде, всегда необходимо удерживать раскаленную массу газа подальше от стекла, то есть ограничить область ее распространения, насколько возможно, центральной частью лампы.

В одном из экспериментов, показанных этим вечером, кистевой разряд образовывался на конце провода. Эта кисть была пламенем, источником тепла и света. Она не испускала хорошо ощущимого тепла, не сияла ярким светом; но перестает ли пламя быть пламенем, если оно не обжигает мне руку? Престает ли оно быть пламенем, если не слепит мои глаза своим блеском? Проблема состоит именно в том, чтобы получить в лампе такое пламя, го-

раздо меньшее по размеру, но несравненно более мощное. Будь у нас под рукой средства для производства и передачи электрических импульсов достаточно высокой частоты, от колбы можно было бы вообще отказаться, если только не использовать ее для защиты электрода или для экономии энергии путем ограничения области нагрева. Но поскольку таких средств в нашем распоряжении нет, возникает необходимость помещать электрод в лампу и откачивать из нее воздух. Это делается просто для того, чтобы дать аппарату возможность выполнить работу, которую он не в состоянии выполнять при обычном атмосферном давлении. Внутри колбы мы можем усилить действие до любой желательной степени — вплоть до того, чтобы кисть излучала мощный свет.

Яркость излучаемого света зависит в основном от частоты и потенциала импульсов, а также от плотности электрического заряда на поверхности электрода. Чрезвычайно важно применять самую маленькую из возможных головку, чтобы сделать эту плотность как можно большей. Под мощным воздействием молекул окружающего газа маленький электрод, разумеется, нагревается до экстремальной температуры, но вокруг него находится масса раскаленного газа, пламенная фотосфера, чей объем во много раз превышает объем электрода. С применением алмазной, карборундовой или циркониевой головки фотосфера может быть в целую тысячу раз объемнее головки. Не особенно углубляясь в раздумья, можно решить, что при таком сильном наращивании накала электрода тот должен немедленно испариться. Но по зрелом размышлении выясняется, что теоретически этого произойти не должно, и именно этот факт, который, кстати, можно продемонстрировать опытным путем, является фундаментом будущей ценности такой лампы.

Сперва, когда бомбардировка начинается, большая часть работы совершается на поверхности головки, но когда формируется высокопроводящая фотосфера, нагрузка на головку сравнительно снижается. Чем сильнее раскалена фотосфера, тем более она приближается по проводи-

ности к электроду и, следовательно, тем в большей степени твердое вещество и газ формируют одно проводящее тело. Следствие этого таково, что чем выше накал, тем большая сравнительная работа приходится на долю газа, и меньшая — на долю электрода. Соответственно формирование мощной фотосферы — то самое средство, которое нужно для защиты электрода. Эта защита, конечно, относительна, и не следует думать, что при большем накале электрод действительно меньше разрушается. И все же, теоретически, при крайне высоких частотах этот результат должен быть достижим, хотя, возможно, и только при температуре, слишком высокой для большинства известных тугоплавких веществ. Поэтому электрод, который в высшей степени стойко противостоит эффекту бомбардировки и внешней нагрузке, останется неповрежденным вне зависимости от того, насколько запредельными будут нагрузки. К лампе накаливания применимы совершенно иные соображения. Там газ вообще ни при чем: вся работа совершается на нити накаливания, и с возрастанием степени накала жизнь лампы укорачивается столь быстро, что экономические причины обязывают нас работать с лампой при небольшом накаливании. Но если лампа накаливания будет питаться токами очень высокой частоты, то действием газа пренебрегать уже нельзя, и принципы наиболее экономичной эксплуатации должны быть существенно переработаны.

Для того чтобы работа такой лампы с одним или двумя электродами была близка к совершенству, необходимо применять импульсы очень высокой частоты. Высокая частота, помимо прочего, обеспечивает два главных преимущества, которые имеют важнейшее значение в экономичности производства света. Во-первых, разрушение электрода уменьшается по той причине, что мы применяем огромное количество мелких воздействий вместо немногих сильных, которые быстро разрушают структуру. Во-вторых, упрощается формирование обширной фотосферы.

С целью свести разрушение электрода к минимуму желательно, чтобы колебания были гармоничными, поскольку любое резкое воздействие ускоряет процесс разрушения. Электрод проживет гораздо дольше, если его поддерживать в раскаленном состоянии с помощью токов или импульсов, получаемых от генератора переменного тока, нарастания и ослабления которых носят более или менее гармонический характер, чем когда он питается импульсами от катушки пробойного разряда. В последнем случае, несомненно, большая часть вреда наносится именно такими сильными внезапными разрядами.

Один из элементов, способствующих потерям в такой лампе, — это **бомбардировка колбы**. Поскольку потенциал очень высок, молекулы отбрасываются с большой скоростью; они ударяются о стекло и обычно вызывают сильную фосфоресценцию. **Итоговый эффект очень красив, но по причинам экономического порядка следует предотвращать или, по крайней мере, сводить к минимуму бомбардировку колбы, поскольку, как правило, в таких случаях возбуждение фосфоресценции не является самоцелью, а результатом бомбардировки становится некоторая потеря энергии.** Эти потери в лампе преимущественно зависят от потенциала импульсов и плотности электрического заряда на поверхности электрода. Путем применения очень высоких частот потери энергии от бомбардировки резко уменьшаются, и тому есть две причины. Во-первых, намного меньше становится потенциал для выполнения заданного количества работы. Во-вторых, с помощью создания высокопроводящей фотосферы вокруг электрода получается тот же результат, как если бы электрод был гораздо больше размером, что равнозначно меньшей плотности электрического заряда. Но будь то за счет уменьшения максимального потенциала или плотности заряда, выигрыш мы получаем сходным образом, а именно — избегаем сильных возмущений, воздействие которых на стекло далеко превосходит пределы его эластичности. Если бы частоту удалось достаточно повысить, потери, происходящие в результате

несовершенной эластичности стекла, стали бы совершен-
но несущественны.

Однако потери из-за бомбардировки можно умень-
шить, применяя два электрода вместо одного. В этом слу-
чае каждый из электродов можно соединить с одной из
клемм; а еще, если желательно применение только одно-
го провода, один электрод можно соединить с клеммой,
а второй заземлить или соединить с изолированным пред-
метом определенной площади поверхности — например
с абажуром лампы. В последнем случае, если не провести
расчеты, один из электродов может светиться более ярко,
чем другой.

Но в целом я считаю более предпочтительным при
применении таких высоких частот работать с одним элек-
тродом и одним соединительным проводом. Я убежден,
что осветительный прибор ближайшего будущего не пот-
ребует для работы более чем одного линейного провода,
и в любом случае он не будет иметь провода подводки,
поскольку необходимая энергия с успехом может переда-
ваться сквозь стекло. В экспериментальных лампах про-
вод подводки большей частью применяется ради удобства,
так как при применении обкладок конденсатора таким,
например, образом, как показано на рис. 17, есть неко-
торая трудность в подгонке составных частей (но если бы
промышленно производилось большое количество ламп,
такой трудности не существовало бы). Если бы не это,
энергию можно было бы передавать сквозь стекло с тем
же успехом, что и по проводу, и при таких высоких частотах
потери были бы очень малы. Подобные осветительные
приборы непременно потребуют применения очень вы-
соких потенциалов, и это в глазах человека практического
может показаться моментом, вызывающим возражения.
Однако на самом деле возражать против высоких потен-
циалов не следует — и уж точно не в том, что касается бе-
зопасности работы устройств.

**Есть два способа сделать электрический прибор безо-
пасным. Один из них — применение низких потенциалов,
другой — такое решение пропорций аппарата, при котором**

он безопасен вне зависимости от значения потенциала. Из этих двух второй путь кажется мне лучшим, поскольку тогда безопасность абсолютна и не подвержена влиянию любой возможной комбинации обстоятельств, которые могут сделать даже низковольтный прибор опасным для жизни и собственности. Но практические условия требуют не только тщательного расчета размеров аппарата: они также настоятельно требуют применения энергии определенного рода. Легко, к примеру, сделать трансформатор, который может давать, питаясь от обычного генератора переменного тока низкого напряжения, скажем, 50000 вольт, что требуется для работы вакуумной фосфоресцентной трубки. Легко при этом сделать его таким, что, несмотря на высокий потенциал, он будет совершенно безопасным и удар током от него не причинит никаких неудобств. И все же такой трансформатор был бы дорог и сам по себе неэффективен; кроме того, использовать полученную от него энергию в производстве света было бы неэкономично.

Экономия требует применения энергии в форме крайне быстрых колебаний. Проблема производства света сродни проблеме поддержания с помощью колокола звука очень высокого тона. Следовало бы даже сказать — звука *на пределе слышимости*, — и даже эти слова не в силах выразить смысл сравнения, настолько удивительной чувствительностью обладает зрение. Мы можем наносить сильные удары через долгие интервалы, теряя добрую толику энергии, и не достичь желаемого. А можем поддерживать звук благодаря частым легким постукиваниям и приблизиться к искомой цели при гораздо меньших затратах энергии. В производстве света, насколько дело касается осветительного прибора, может существовать только одно правило, а именно — применять самые высокие частоты, какие только можно получить. Но средства производства и передачи импульсов такого характера накладывают, по крайней мере в настоящее время, значительные ограничения. Как только принимается решение использовать очень высокие частоты, обратный провод становится не-

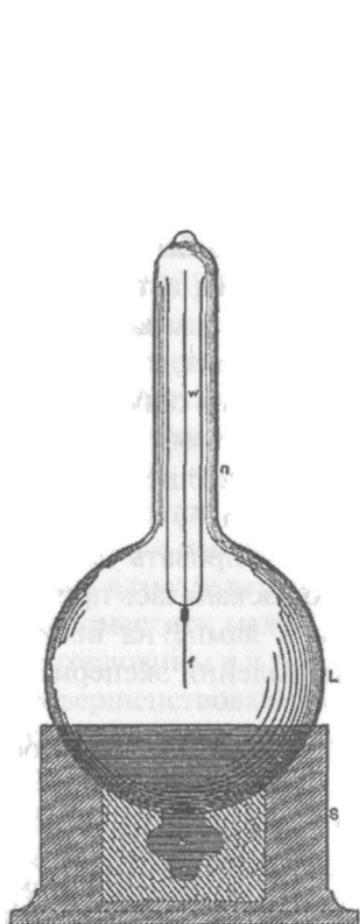


Рис. 19. Лампа без провода подводки, демонстрирующая эффект отбрасывания частиц вещества

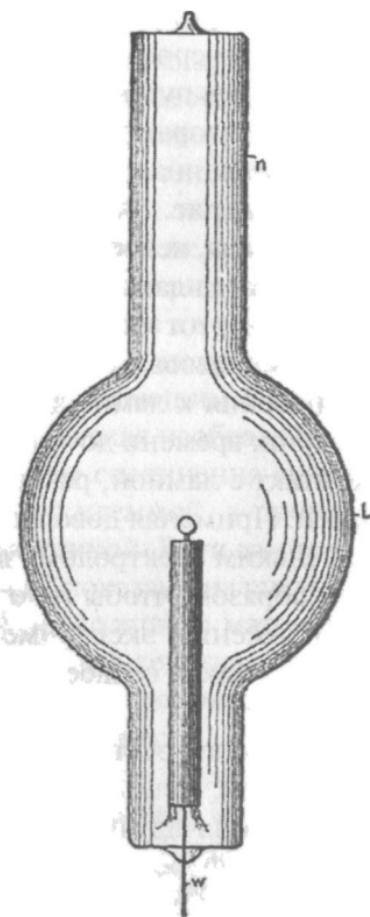


Рис. 20. Улучшенная экспериментальная лампа

нужным, и все конструкции упрощаются. При применении очевидных средств получается такой же результат, как если бы использовался обратный провод. Для этой цели достаточно соединить с лампой или просто расположить вблизи нее изолированный предмет с определенной площадью поверхности. Эта поверхность, разумеется, должна быть тем меньше, чем выше применяемые частота и потенциал, и тем выше, соответственно, экономичность лампы или другого устройства.

К этому плану работы мы несколько раз обращались сегодня вечером. Так, например, когда свечение головки достигалось путем прикосновения руки к колбе, тело экспериментатора служило только для усиления воздействия. Использованная при этом лампа похожа на ту, что изображена на рис. 14, и катушка возбуждалась до небольшого потенциала, недостаточного для того, чтобы раскалить головку, когда лампа висела на проводе. И, кстати, с целью провести этот опыт наиболее показательным способом была использована такая большая головка, что после прикосновения к лампе должен был пройти ощутимый промежуток времени до того, как головка смогла накалиться. Контакт с лампой, разумеется, был совершенно необязателен. Применяя довольно большую колбу с чрезвычайно маленьким электродом, легко отрегулировать условия таким образом, чтобы головка ярко раскалялась при одном приближении экспериментатора к лампе на несколько футов и накал ослабевал бы при удалении экспериментатора.

В другом эксперименте, когда возбуждалась фосфоресценция, использовалась похожая лампа. Опять-таки, и здесь поначалу потенциал был недостаточен для возбуждения фосфоресценции, пока воздействие не было усилено — в этом случае, однако, ради демонстрации иной особенности, путем прикосновения к патрону металлическим предметом, зажатым в руке. Электрод в колбе представлял собой углеродную головку, настолько большую, что она не могла раскалиться и тем самым разрушить эффект, производимый фосфоресценцией.

Опять же, в еще одном из показанных ранее экспериментов использовалась такая лампа, какая изображена на рис. 7. В этом примере, когда я касался колбы одним или двумя пальцами и на стекло отбрасывалась одна или две тени стержня, находившегося внутри, прикосновение пальца играло ту же роль, что и подключение дополнительного внешнего отрицательного электрода при обычных условиях.

Во всех этих экспериментах действие усиливалось путем увеличения емкости на конце линейного провода, соединенного с клеммой. Как правило, нет необходимости прибегать к таким средствам, и уж совершенно никакой необходимости в этом не возникло бы при использовании высоких частот. Но когда это желательно, то лампу или трубку можно легко приспособить для этой цели.

На рис. 19, например, показана экспериментальная лампа L , снабженная длинной горловиной n в верхней части для наложения внешнего станилевого покрытия, которое может быть соединено с телом, имеющим большую площадь поверхности. Такую лампу, какая изображена на рис. 20, можно также зажигать путем соединения станилевого покрытия на горловине n с клеммой, а провода подводки w — с изолированной пластиной. Если лампа установлена в гнезде вертикально, как показано на рисунке, можно поместить малую толику проводящего материала внутрь горловины n и тем самым усилить действие.

Усовершенствованная конструкция, использованная в нескольких таких лампах, показана на рис. 21. В данном случае конструкция лампы такая же, как была описана и показана раньше, когда я ссылался на рис. 14. Цинковый лист Z с цилиндрическим выступом T надет на металлический патрон S . Лампа висит вертикально вниз, соединенная с клеммой t , и цинковый лист Z исполняет двойную функцию усилителя и отражателя. Отражатель отделен от клеммы t выступом изолирующей пробки P .

Похожая схема с фосфоресцентной трубкой показана на рис. 22. Трубка T изготовлена из двух коротких трубок разного диаметра, которые запаяны на концах. На нижнем конце размещена проводящая обкладка C , соединенная с проводом w . У провода на верхнем конце имеется крюк для подвешивания; он проходит через центр внутренней трубки, наполненной хорошим, плотно утрамбованным изолятором. Снаружи на верхнем конце трубки T расположена еще одна проводящая обкладка C_1 на нее надет металлический отражатель Z , который должен быть отделен толстым слоем изоляции от конца провода w .

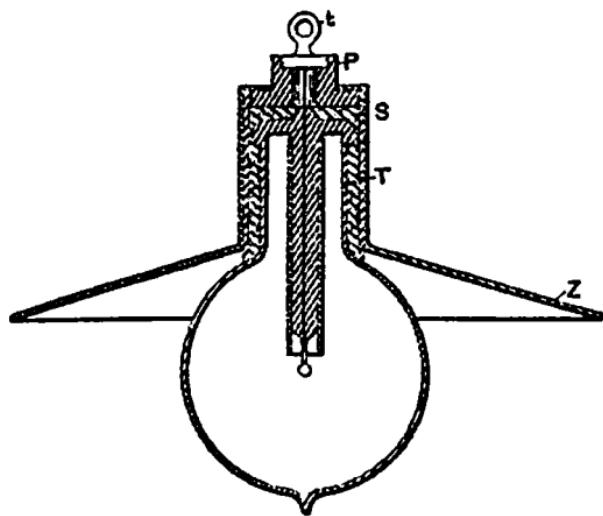


Рис. 21. Улучшенная лампа с усиливающим отражателем

Экономный способ применения такого отражателя или усилителя требует, чтобы вся энергия, подаваемая на воздушный конденсатор, была восполнимой, или, другими словами, чтобы не было никаких потерь, ни в газообразной среде, ни вследствие ее действия где-либо еще. На деле это далеко не так, но, к счастью, эти потери могут быть снижены до желаемого предела. Необходимо сделать несколько замечаний на эту тему, чтобы совершенно прояснить результаты, полученные в ходе исследований.

Предположим, что маленькая спираль с большим количеством хорошо изолированных витков, как в эксперименте, изображенном на рис. 12, одним концом соединена с одной из клемм индукционной катушки, а другим — с металлической пластиной или, ради простоты, с шаром, изолированным в пространстве. Когда катушка начинает работать, потенциал шара становится переменным, и спираль теперь ведет себя, как если бы ее свободный конец был соединен с другой клеммой индукционной катушки. Если ввести внутрь спирали железный прут, то он быстро нагреется до высокой тем-

пературы, указывая на прохождение через спираль мощного тока. Как в таком случае ведет себя изолированный шар? Он может выступать в качестве конденсатора, запасая и возвращая подаваемую на него энергию, а может просто служить стоком для энергии: преобладание той или иной роли определяется условиями конкретного опыта. Когда шар заряжен до высокого потенциала, он индуктивно воздействует на окружающий воздух или любую другую возможную газообразную среду. Молекулы или атомы, находящиеся ближе всего к шару, конечно, притягиваются сильнее и пролетают большее расстояние, чем дальние. Когда ближайшие молекулы ударяются о шар, они отбрасываются и во всех направлениях в пределах области индуктивного воздействия шара происходят столкновения. Теперь становится ясно, что если бы потенциал был постоянным, то таким путем терялась бы совсем небольшая доля энергии, поскольку ближайшие к шару молекулы, приобретая дополнительный заряд, сообщенный им при контакте, не притягивались бы вновь, пока не расстались бы если не со всем, то хотя бы с частью дополнительного заряда, что может произойти только после большого числа столкновений. Такой вывод неизбежно следует из того факта, что при постоянном потенциале в сухом воздухе потери ничтожно малы. Когда потенциал шара вместо постоянного становится переменным, условия совершенно меняются. В этом случае возникает ритмичная бомбардировка, вне зависимости от того, теряют ли молекулы после контакта с шаром приобретенный заряд или нет. Более того, если заряд не утерян, столкновения от этого становятся лишь яростнее. И все же, если частота импульсов будет очень маленькой, вызываемые столкновениями потери будут не столь серьезны, если только не будет чрезмерным потенциал. Но когда используются крайне высокие частоты и более-менее высокие потенциалы, потери могут быть огромны. Суммарная энергия потерь в единицу времени пропорциональна произведению числа столкновений в секунду, или частоты, и энер-

гии, теряемой при каждом столкновении. Но энергия столкновения должна быть пропорциональна квадрату плотности электрического заряда шара, отсюда следует, что сообщенный молекуле заряд пропорционален этой плотности. Отсюда я делаю вывод, что суммарная потеря энергии должна быть пропорциональна произведению частоты и квадрата плотности электрического заряда, но этот закон требует экспериментального подтверждения. Допустим, что предыдущие соображения верны; тогда, заставив потенциал тела, погруженного в изолирующую газообразную среду, быстро колебаться, можно рассеять в пространстве любое количество энергии. Тогда большая часть энергии, полагаю, рассеивается не в форме длинных эфирных волн, распространяющихся на значительное расстояние, как обычно считают, но поглощается (например, в случае с изолированным шаром) в потерях при столкновениях (то есть тепловых колебаниях) на поверхности шара и вблизи него. Чтобы уменьшить рассеяние, необходимо работать с маленькой плотностью электрического заряда — и тем меньшей, чем выше частота.

Но поскольку на основе прежде сделанного допущения потери уменьшаются соответственно квадрату плотности, и поскольку токи очень высокой частоты подразумевают значительные затраты при прохождении через проводник, следует, что в целом лучше применять один провод, чем два. Поэтому, если двигатели, лампы или любого рода устройства будут усовершенствованы, сделавшись способными к выгодному использованию токов крайне высокой частоты, по экономическим соображениям будет желательно использовать только один провод, в особенности если расстояние до источника велико.

Когда энергия поглощается конденсатором, он ведет себя, как если бы его емкость возросла. Поглощение в большей или меньшей степени присутствует всегда, но, как правило, оно невелико и не имеет последствий, пока не слишком велика частота. При использовании же крайне высоких частот и, по необходимости в таком случае, так-

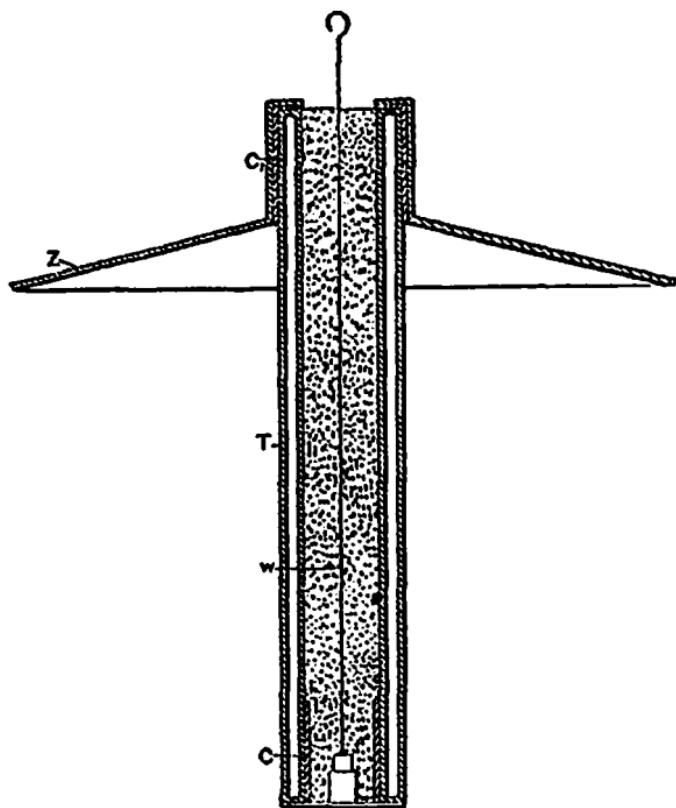


Рис. 22. Фосфоресцентная трубка с усиливающим отражателем

же высоких потенциалов поглощение — или, что в данном случае более точно подразумевается под этим термином, потеря энергии в результате присутствия газообразной среды — является важным фактором, с которым приходится считаться, поскольку энергия, поглощенная воздушным конденсатором, может составлять любую часть подаваемой энергии. Может показаться, что очень трудно отличить номинальную или расчетную емкость воздушного конденсатора от его реальной емкости, или колебательного периода, особенно если конденсатор имеет очень маленькую площадь поверхности и заряжен до очень высокого потенциала. Поскольку от правильности оценки колебательного периода зависят очень многие важные результаты, этот предмет требует самого тщательного

рассмотрения со стороны других исследователей. Чтобы уменьшить до минимума возможную ошибку в экспериментах такого рода, желательно использовать шары или пластины с большой площадью поверхности, чтобы плотность электрического заряда была чрезвычайно низкой. В противном случае там, где это практически возможно, предпочтительнее использовать масляный конденсатор. В масляных или других жидкостных диэлектриках, похоже, не происходит таких потерь, как в газообразной среде. Поскольку невозможно полностью исключить присутствие газа в конденсаторах с плотными диэлектриками, такие конденсаторы следует погружать в масло, если не ради чего иного, то хотя бы по причинам экономического порядка: тогда они могут переносить максимальные нагрузки и оставаться при этом холодными. В лейденских банках воздушные потери сравнительно малы, поскольку станиловые обкладки имеют большую площадь поверхности, находятся близко друг к другу, а заряженные поверхности не полностью открыты для прямого воздействия. Но когда потенциалы очень высоки, потери могут быть более-менее значительными на верхней границе обкладки или вблизи нее, где в основном имеет место воздействие на воздух. Если банка будет погружена в прокипяченное масло, она будет способна выполнять в четыре раза большую работу за любой взятый промежуток времени, чем когда она эксплуатируется обычным способом, а потери будут незначительными.

Не следует думать, что потери энергии в виде тепла в воздушном конденсаторе обязательно связаны с формированием видимых потоков или кистевых разрядов. Если маленький электрод, заключенный в неоткаченную колбу, соединен с одной из клемм катушки, то видны потоки, исходящие из электрода, и воздух в колбе нагревается. Если вместо маленького электрода в колбу поместить большой шар, никаких потоков не наблюдается, но воздух нагревается все равно.

Также не следует думать, что температура воздушного конденсатора в состоянии дать хотя бы приблизительное

представление о потерях в виде тепла: в таком случае тепло может отдаваться вовне гораздо быстрее, поскольку в дополнение к обычному излучению происходит активное рассеивание тепла с помощью независимых носителей и поскольку не только сам аппарат, но и воздух на некотором расстоянии от него нагревается вследствие неизбежно возникающих молекулярных столкновений.

Вследствие этого в экспериментах с такой индукционной катушкой повышение температуры отчетливо различимо лишь тогда, когда предмет, соединенный с катушкой, очень мал. Но при использовании аппарата большего размера может нагреться даже тело значительного объема — как, например, человеческое тело. Я думаю, что опытные врачи могли бы сделать полезные наблюдения в ходе таких экспериментов, которые при правильном устройстве аппарата не будут представлять ни малейшей опасности.

Здесь возникает вопрос, представляющий некоторый интерес — в основном для метеорологов. Как ведет себя Земля? Земля — воздушный конденсатор, но какой это конденсатор — совершенный или очень несовершенный, просто сток энергии? Не может быть сомнений, что по отношению к таким незначительным возмущениям, какие могут возникнуть в процессе эксперимента, Земля ведет себя как почти совершенный конденсатор. Но все может быть совсем не так, когда ее заряд подвергается колебаниям в результате каких-либо резких возмущений, возникающих в небесах. В таком случае, как уже говорилось раньше, возможно, лишь *малая* часть энергии возникших колебаний будет потеряна в пространстве в виде длинных эфирных волн. Но большая ее часть, полагаю, будет потрачена на молекулярные столкновения и уйдет в пространство в форме коротких тепловых, а возможно, и световых волн. Поскольку и частота колебаний заряда, и напряжение, по всей вероятности, огромны, энергия, превращенная в тепло, может оказаться значительной. Поскольку плотность заряда должна быть распределена неравномерно — либо вследствие неровности земной поверхности, либо из-за

различия атмосферных условий в разных местах, произведенный эффект будет соответственно варьироваться в зависимости от конкретного места. Таким образом могут быть вызваны значительные разницы температур и атмосферного давления в любой точке земной поверхности. Эти изменения могут быть постепенными или внезапными, в зависимости от природы главного возмущения, и вызывать дождь и бури или локально изменять погоду в любом направлении.

Из сделанных прежде замечаний можно понять, насколько **важным фактором в потерях энергии становится воздух, окружающий заряженные поверхности, когда плотность электрического заряда велика, а частота импульсов — крайне высока**. Но такое объяснение процесса подразумевает, что воздух является изолятором, то есть состоит из независимых носителей, погруженных в изолирующую среду. Это действительно так, только когда воздух находится под обычным, или большим, чем обычное, или исчезающе малым давлением. Когда воздух слегка разрежен и обладает свойствами проводника, тогда также проявляются потери за счет проводимости. В таком случае, разумеется, значительное количество энергии может быть рассеяно в пространстве даже при постоянном потенциале или импульсах низкой частоты, если плотность электрического заряда при этом очень велика.

Когда газ находится под очень низким давлением, электрод нагревается сильнее, потому что могут быть достигнуты более высокие молекулярные скорости. Если газ вокруг электрода сильно сжат, то смещения, а соответственно и скорости молекул очень малы и нагрев незначителен. Но если бы в этом случае частота была достаточно увеличена, электрод бы нагрелся до высокой температуры точно так же, как если бы газ был под очень низким давлением. На самом деле, вакуумирование лампы необходимо только потому, что мы не умеем производить (а возможно, и передавать) токи требуемой частоты.

Вернемся к теме электродных ламп. В такой лампе максимально возможное ограничение нагрева самим электродом, путем предотвращения циркуляции газа в колбе, обладает очевидными преимуществами. Если взять очень маленькую лампу, она будет ограничивать область нагрева лучше, чем большая, но может не обладать достаточной емкостью, чтобы питаться от катушки, а если и обладает, то стекло может нагреться слишком сильно. Простой путь усовершенствования в этом направлении — взять колбу требуемого размера, но поместить над оgneупорной головкой, заключенной в нее, маленькую колбу, диаметр которой должен быть тщательно вычислен. Эта конструкция изображена на рис. 23.

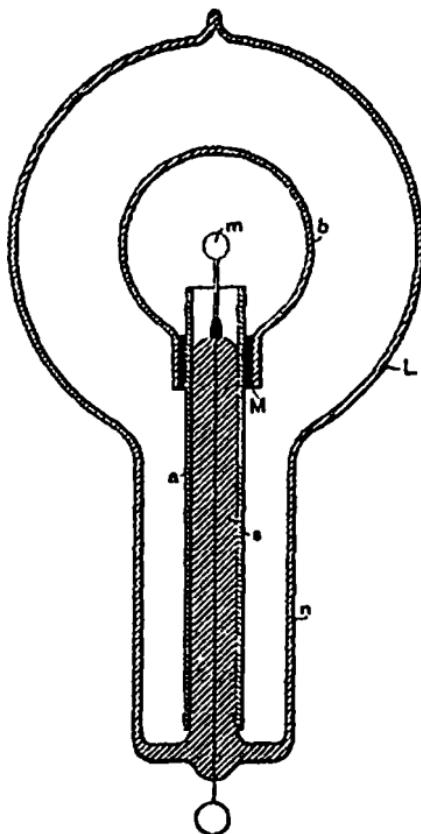


Рис. 23. Лампа с вспомогательной колбой для ограничения нагрева в центральной части

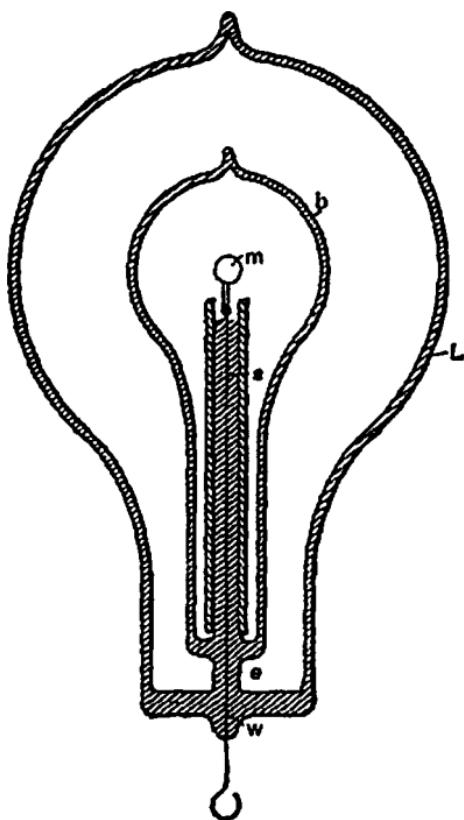


Рис. 24. Лампа с независимой вспомогательной колбой

Колба L в данном случае имеет широкую горловину n , позволяющую вставить внутрь маленькую колбу b . В остальном конструкция такая же, как показано, например, на рис. 13. Маленькую колбу b удобно разместить на стержне s , поддерживающем огнеупорную головку m . Она отделена от алюминиевой трубы a несколькими слоями слюды M , с целью предотвратить растрескивание горловины из-за быстрого нагрева алюминиевой трубы после резкого включения тока. Когда желательно получить свет только путем накаливания электрода, внутренняя колба должна быть как можно меньшего размера. Если требуется добиться фосфоресценции, колба должна быть побольше, иначе она может чересчур нагреться, и тогда

фосфоресценция прекратится. При такой конструкции фосфоресценция обычно появляется только в меньшей колбе, поскольку бомбардировка внешней колбы практически отсутствует. В некоторых лампах, имеющих такую конструкцию, как на рис. 23, меньшая колба была покрыта фосфоресцентной краской, и получались очень красивые эффекты. Вместо того чтобы делать внутреннюю колбу большой, желая избежать ненужного нагрева, этой цели можно достигнуть, сделав электрод *m* больше размером. В этом случае бомбардировка ослабляется за счет меньшей плотности электрического заряда.

По схеме, показанной на рис. 24, мною было изготовлено много ламп. Вот маленькая лампа *b*, содержащая огнеупорную головку *m*, которая после достижения высокой степени вакуумирования была запаяна в большой колбе *L*, которая затем была умеренно откачана и также запаяна. Принципиальное достоинство этой конструкции заключалось в том, что она позволяла достичь крайне высокого вакуума и в то же время использовать большую колбу. В ходе экспериментов с лампами типа изображенной на рис. 24 обнаружилось, что хорошо бы делать стержень *s* возле стеклянной перемычки *e* очень толстым, а провод подводки *w* — тонким, поскольку иногда случалось, что стержень в этом месте перегревался и лампа трескалась. Часто внешняя колба *L* была откачана лишь едва достаточно для того, чтобы позволить разряду пройти, и пространство между колбамиказалось малиновым, создавая весьма любопытный эффект. В некоторых случаях, когда вакуум в колбе *L* был очень низким, для того чтобы добиться сильной раскаленности головки *m*, оказывалось необходимо разместить (лучше всего — в верхней части горловины колбы) покрытие из оловянной фольги, соединенное с изолированным предметом, землей или другой клеммой катушки, поскольку высокопроводящий воздух несколько ослаблял эффективность работы, возможно, из-за индуктивного воздействия провода *w* в том месте, где он входил в колбу через перемычку *e*. Другая сложность — которая, правда, всегда возникает, если огнеупорная го-

ловка помещена в очень маленькую колбу, — проявлялась в конструкции, изображенной на рис. 24, а именно — вакуум в колбе *b* понижался через сравнительно небольшой промежуток времени.

Главной целью двух описанных последними конструкций было ограничить область нагрева центральной частью лампы, предотвращая циркуляцию воздуха. Это преимущество было обеспечено, но из-за нагрева внутренней колбы и медленного испарения стекла вакуум трудно поддерживать, даже если выбрана конструкция с рис. 23, в которой обе колбы сообщаются между собой.

Но гораздо лучшим способом — идеальным способом — было бы достичь существенно высоких частот. Чем выше частота, тем медленнее циркуляция воздуха, и я думаю, что возможно достичь такой частоты, при которой вообще никакой циркуляции молекул воздуха вблизи электрода не будет. Мы тогда получили бы пламя, в котором не происходило бы никаких затрат вещества, и странное то было бы пламя — упругое! При таких высоких частотах в игру включается инерция частиц. Поскольку кистевой разряд, то есть огонь, становился бы жестким за счет инерции частиц, обмен последних был бы предотвращен. Это неизбежно произошло бы, поскольку при увеличении числа импульсов потенциальная энергия каждого из них уменьшилась бы, так что наконец остались бы только атомные колебания, а передающее движение в измеримом пространстве прекратилось бы. Таким образом, эффективность обычной газовой горелки, соединенной с источником быстропеременного потенциала, до определенной степени возросла бы, и тому есть две причины: дополнительно сообщенные колебания и замедление процесса расходования вещества. Но восполнение вещества было бы затруднено, а ведь поскольку оно необходимо для поддержания горения, то постоянное увеличение частоты импульсов, если допустить, что они могли бы передаваться и воздействовать на пламя, привело бы к «гашению» последнего, подразумевая под этим термином лишь прекращение химических процессов.

Я, однако, думаю, что в случае, если электрод погружен в жидкую изолирующую среду и окружен независимыми носителями электрического заряда, на которые можно воздействовать индуктивно, достаточно высокая частота импульсов, вероятно, привела бы к притягиванию всего окружающего газа к электроду. Для этого надо только допустить, что независимые носители имеют несимметричную форму; тогда они поворачивались бы к электроду той своей стороной, на которой плотность электрического заряда больше, а это было бы то самое положение, при котором сопротивление жидкости их приближению было бы меньше, чем сопротивление удалению.

Не сомневаюсь, общее мнение таково, что не может быть и речи о том, чтобы достигнуть таких частот, которые сумели бы — если принять прежде высказанные взгляды как истинные — привести к любому из тех результатов, на которые я указывал как на чисто теоретические возможности. Возможно, это так и есть, но в ходе этих исследований, на основе наблюдений множества феноменов я вынес убеждение, что такие частоты были бы гораздо ниже, чем можно ожидать по предварительным оценкам. В пламени мы возбуждаем световые колебания, заставляя молекулы или атомы сталкиваться. Но каково соотношение частоты столкновений и частоты вызванных колебаний? Наверняка оно должно быть несравненно меньше соотношения частоты ударов по колоколу и звуковых колебаний или соотношения количества разрядов и колебаний конденсатора. Мы можем заставить молекулы газа сталкиваться, применяя импульсы переменного тока высокой частоты, и так имитировать процесс, происходящий в пламени; и судя по опытам с теми частотами, которые мы сейчас способны получать, думаю, что этот результат достижим при помощи импульсов, которые можно передавать через конденсатор.

В связи с мыслями такого рода мне показалось очень интересным продемонстрировать **упругость выбирирующего газового столба**. Хотя при таких низких частотах, как, скажем, 10000 колебаний в секунду, которые я без труда сумел

получить от специально сконструированного генератора переменного тока, задача поначалу выглядела обескураживающе трудной, я все же провел серию экспериментов. Опыты с воздухом под обычным давлением не дали результата, но с умеренно разреженным воздухом я получил то, что считаю безошибочным экспериментальным свидетельством искомого свойства. Поскольку результат такого рода может привести способного исследователя к важным выводам, я опишу один из проведенных опытов.

Хорошо известно, что когда трубка слегка откачана, разряд может проходить сквозь нее в форме тонкой световой нити. Когда разряд вызван токами низкой частоты, полученными от работающей в обычном режиме катушки, эта нить инертна. Если к ней поднести магнит, ближайшая к нему часть нити притягивается или отталкивается, в зависимости от направления силовых линий магнита. Мне пришло в голову, что если такую нить получить с помощью токов очень высокой частоты, то она будет более или менее упругой, а поскольку она различима для глаза, то ее можно легко изучать. Соответственно я подготовил трубку около 1 дюйма в диаметре и 1 м длиной, имеющую внешнее покрытие на обоих концах. Трубка была вакуумирована до той стадии, на которой разряд можно было получить без особого труда. Здесь следует заметить, что общий вид этой трубки и степень разреженности воздуха в ней сильно отличаются от тех, которые обычно применяются при использовании низких частот. Поскольку я счел более предпочтительным работать с одной клеммой, приготовленная трубка был подвешена на конце провода, соединенного с клеммой, станилевое покрытие было соединено с проводом, а к нижнему покрытию я иногда присоединял маленькую изолированную пластину. Когда формировалась нить, она протягивалась из верхней части трубки, уходя в нижний ее конец. Если она и обладала упругостью, то напоминала не эластичный шнур, туго натянутый между двумя опорами, а шнур, подвешенный с опоры вертикально вниз, с небольшим грузом на конце. Когда я подносил палец или магнит к верхнему концу световой нити, она

в этом месте смещалась в сторону благодаря электростатическому или магнитному воздействию. А когда объект возмущений быстро убирался, то результат был похож на то, как если бы подвешенный шнур смещали и быстро отпускали в точке подвеса. Световая нить в результате начинала вибрировать, и на ней формировались два четко очерченных узла и один расплывчатый. Однажды установившись, колебания продолжались полных восемь минут, постепенно затихая. Скорость колебаний часто ощутимо варьировалась, и можно было заметить, что электростатическое притяжение со стороны стекла воздействовало на колеблющуюся нить, но было ясно, что не оно причина вибрации, поскольку нить большую часть времени была неподвижна и всегда начинала вибрировать, если быстро провести пальцем возле верхнего конца трубы. С помощью магнита нить можно было разделить на две, и обе части вибрировали. При поднесении руки к нижнему покрытию трубы или к изолированной пластине, если она была подключена, колебания учащались — как и при увеличении потенциала, насколько я мог заметить. Таким образом, увеличение частоты либо прохождение более мощного разряда той же частоты вызывало тот же эффект, что и натяжение шнура. Я не получил никакого экспериментального свидетельства этого с применением разрядов конденсатора. Световая нить, возбуждаемая в колбе лампы разрядами лейденской банки, должна обладать упругостью, а если ее искривить и резко отпустить, то она должна вибрировать. Но, возможно, количество вибрирующего вещества настолько мало, что, несмотря на крайне высокую скорость, инерция не может выражено проявить себя.

Демонстрация того факта, который все еще нуждается в экспериментальном подтверждении, что вибрирующий газовый столб обладает упругостью, может коренным образом изменить взгляды мыслящих людей. Если уж при низких частотах и незначительных потенциалах можно заметить признаки этого свойства, то как должна вести себя газообразная среда под влиянием огромных электростати-

ческих нагрузок, которые, возможно, являются действующими силами межзвездного пространства и могут колебаться с невообразимой скоростью? Существование такой электростатической, ритмично пульсирующей силы, силы колеблющегося электростатического поля, может указать вероятный способ, которым твердые тела образовывались из сверхгазообразной праматерии, и объяснить, как попечные и все прочие виды колебаний могут передаваться сквозь газообразную среду. Тогда эфир может оказаться истинной жидкостью, лишенной упругости и пребывающей в покое, необходимой просто как связующее средство для осуществления взаимодействий. Что определяет упругость тела? Должно быть, скорость и количество движущейся материи. В газах скорость может быть значительной, но плотность исчезающе мала; в жидкости скорость, вероятнее всего, мала, хотя плотность может быть значительной, и в обоих случаях инерционное сопротивление смещению практически равно нулю. **Но поместите газообразный (или жидкий) столб в мощное, быстро колеблющееся электростатическое поле, заставьте частицы вибрировать с огромной скоростью, и инерционное сопротивление заявит о себе. Тело может двигаться сквозь вибрирующую массу с большей или меньшей свободой, но в целом она будет упругой.**

Есть тема, которую я обязан упомянуть в связи с этими экспериментами, — тема высокого вакуума. Это предмет, изучение которого не только интересно, но и полезно, поскольку может привести к результатам большой практической важности. В промышленных устройствах, таких как лампы накаливания, питающихся от обычных средств распределения, гораздо более высокий вакуум, чем доступен сейчас, не обеспечил бы значительного преимущества. В подобном случае работа приходится на нить накаливания, а газ мало участвует в процессе; соответственно, усовершенствование оказалось бы совсем незначительным. Но когда мы начинаем применять очень высокие частоты и потенциалы, действие газа приобретает первостепенную важность, и степень разрежения существенно изменяет

результаты. До тех пор, пока использовались обычные катушки, даже очень большие, изучение этого вопроса имело свои границы, поскольку ровно в тот момент, когда оно становилось особенно интересным, его приходилось прерывать из-за того, что был достигнут «неударный» вакуум. Но в настоящее время мы можем получать от маленькой катушки пробойного разряда потенциалы гораздо более высокие, чем могла дать даже самая большая катушка, и, более того, мы можем заставить этот потенциал колебаться с огромной скоростью. Оба эти фактора дают нам возможность провести светящийся разряд через вакуум почти любой степени, и поле наших исследований необычайно расширяется.

Если разобраться, из всех возможных направлений разработки практического источника света в настоящее время **наиболее многообещающим является направление высокого вакуума**. Но для достижения его крайних степеней приборы должны быть гораздо более совершенными, **а решительного совершенства нельзя достичь до тех пор, пока мы не откажемся от механического насоса и не усовершенствуем электрический вакуумный насос**. Молекулы и атомы могут выбрасываться из колбы под действием огромного потенциала — именно это станет принципом устройства вакуумного насоса будущего. Сейчас мы пытаемся делать лучшее, на что способны, при помощи механических устройств. В этом отношении, возможно, нeliшним будет сказать пару слов о способе и аппарате для достижения чрезвычайно высоких степеней разреженности, которым я обзавелся в ходе этих исследований. Весьма вероятно, что другие экспериментаторы пользуются такими же или похожими устройствами; но поскольку возможно, что в описании моего аппарата есть интересные моменты, я счел допустимым сделать несколько замечаний, которые дополнят отчет об этих исследованиях.

Вот аппарат, о котором идет речь. Одна из его частей — насос Шпренгеля, специально сконструированный так, чтобы как можно лучше соответствовать требованиям работы. Обычно применяемый запорный кран отсутству-

ет, а вместо него в горловину резервуара вставлен полый стопор. В стопоре есть маленькое отверстие, сквозь которое вытекает ртуть; размер выходного отверстия должен быть точно рассчитан в соответствии с сечением выводящей трубки, которая не соединена с резервуаром обычным способом, а припаяна к нему. В этой конструкции преодолены несовершенства и исключены проблемы, которые часто возникают при использовании запорного крана при резервуаре и в соединении последнего с выводящей трубкой.

Насос соединен посредством U-образной трубы с очень большим резервуаром. Подгонка трущихся поверхностей стопоров была проведена с особой тщательностью, и оба стопора и ртутные чашки над ними были сделаны очень длинными. После того как подогнана и установлена на место U-образная трубка, ее нагревают, чтобы смягчить и снять напряжение, имеющееся в результате недостатков подгонки. U-образная трубка снабжена запорным краном и двумя отводами, один из которых подключается к маленькой колбе, обычно заполняемой едким кали, а другой — с приемным резервуаром, из которого надо откачивать воздух.

Резервуар соединен посредством резиновой трубы с резервуаром чуть большего размера. Каждый из двух резервуаров снабжен запорным краном соответственно. Второй резервуар можно поднимать и опускать с помощью колеса и штатива, а диапазон его перемещений определен таким образом, чтобы, когда он заполнен ртутью и запорный кран закрыт для образования в нем торричеллиевой пустоты, его можно было поднять настолько, чтобы уровень ртути в первом резервуаре находился чуть выше запорного крана. А когда этот кран закрыт, первый резервуар опускается для образования торричеллиевой пустоты в резервуаре, чтобы его можно было опустить так, чтобы полностью опустошить резервуар, а ртуть при этом заполняла второй резервуар до уровня чуть выше запорного крана.

Емкость насоса и соединительных трубок должна быть как можно меньше относительно емкости первого резервуара, поскольку, разумеется, степень вакуумирования зависит от соотношения этих количественных показателей.

В сочетании с этим аппаратом я использовал обычные средства, на необходимость применения которых указывали предыдущие эксперименты по созданию высокого вакуума. В большинстве этих экспериментов было удобно применять едкое кали. В отношении его применения осмелюсь заметить, что можно сэкономить массу времени и обеспечить более совершенную работу насоса, если едкое кали расплавить и довести до кипения сразу же, как только устанавливается насос или даже раньше. Если этого не сделать, то, применяемое как обычно, оно может медленно выделять влагу, вследствие чего насос будет работать много часов, не создавая действительно высокого вакуума. Кали можно нагреть либо спиртовкой, либо пропустив сквозь него разряд, либо подав ток на погруженный в него провод. Преимущество последнего способа в том, что нагревание можно повторять быстрее.

Обычно процесс создания вакуума происходил следующим образом. Вначале, когда запорные краны открыты, а все остальные соединения закрыты, второй резервуар поднимался так, чтобы ртуть заполняла первый резервуар и часть узкой соединительной U-образной трубки. Когда насос начинал работать, ртуть в трубке, конечно, быстро поднималась, и второй резервуар опускался, причем я поддерживал уровень ртути прежним. Второй резервуар был уравновешен длинной пружиной, которая облегчала процесс, а трения отдельных частей было, как правило, достаточно, чтобы удерживать его практически в любом положении. Когда насос Шпренгеля завершал свою работу, второй резервуар опускался еще ниже, и ртуть вытекала из первого резервуара и заполняла второй резервуар, после чего запорный кран закрывался. Частицы воздуха, удерживавшиеся на стенках первого резервуара и поэтому поглощенные ртутью, удалялись, и чтобы освободить ртуть от всего воздуха без остатка, второй резервуар в течение

долгого времени поднимался и опускался. Во время этого процесса тот воздух, который собирался под запорным краном, изгонялся из второго резервуара, когда я опускал его достаточно низко и открывал запорный кран, вновь закрывая перед тем, как поднять резервуар. Когда весь воздух был изгнан из ртути и больше не собирался во втором резервуаре при его опускании, я прибегал к помощи едкого кали. Второй резервуар теперь вновь поднимался, пока уровень ртути в первом резервуаре не устанавливался выше запорного крана. Едкое кали я расплавлял и доводил до кипения, и влага частично удалялась с помощью насоса, а частью вновь всасывалась. Этот процесс нагревания и охлаждения повторялся много раз, и всякий раз после того, как влага поглощалась или удалялась, я многократно поднимал и опускал второй резервуар. Таким образом из ртути удалялась вся влага, и оба резервуара теперь приходили в нужное для работы состояние. Тогда я вновь поднимал второй резервуар на самый верх и надолго включал насос. Когда была достигнута наивысшая возможная с данным насосом степень вакуума, я обычно оборачивал колбу с кали хлопком, сбрызнутым эфиром, чтобы сохранять очень низкую температуру кали, затем опускал второй резервуар и после опустошения первого резервуара быстро закупоривал приемную емкость r .

Когда я вставлял новую емкость, ртуть всегда поднималась выше запорного крана, который был закрыт, чтобы постоянно поддерживать ртуть и оба резервуара в хорошем состоянии. Ртуть никогда не выливается из первого резервуара, кроме того момента, когда с помощью насоса достигнута высшая степень вакуумирования. Для обеспечения успешной эксплуатации аппарата это правило необходимо принимать во внимание.

Благодаря такой конструкции мне удавалось осуществлять процесс очень быстро, и, когда аппарат был в совершенном порядке, можно было достичь фосфоресцентной стадии в маленькой колбе менее чем за 15 минут, что действительно является очень быстрой работой для маленько-го лабораторного устройства, требующего на все про все

около 100 фунтов ртути. При использовании обычных маленьких колб соотношение емкости насоса, приемного резервуара и соединительных трубок составляло примерно 1 : 20, и достигнутые уровни вакуумирования поэтому были очень высоки, хотя я и не могу привести точных и достоверных данных о том, насколько именно высоки.

Что более всего впечатляет исследователя в ходе таких экспериментов — это поведение газов, подвергнутых действию сильнейших, быстро колеблющихся электростатических нагрузок. Но ему не следует полностью отбрасывать сомнения по поводу того, молекулы ли, атомы ли газа, чей состав обнаруживает химический анализ, являются виновниками этих эффектов или здесь вступает в игру какая-либо другая среда газообразной природы, состоящая из молекул или атомов, погруженных в жидкость, пронизывающую пространство. Такая среда, несомненно, должна существовать, и я убежден, что, например, даже при отсутствии воздуха поверхность тела и соседнее с ней пространство нагревались бы благодаря быстрому изменению потенциала тела. Но никакого такого нагрева не могло бы происходить, если бы все свободные атомы были удалены и оставалась лишь однородная, несжимаемая и эластичная жидкость, такая, какой полагается быть эфиру, поскольку тогда не было бы никаких столкновений. В таком случае, насколько это касается самого тела, имели бы место лишь потери за счет внутреннего трения.

Поразительным фактом является то, что **разряд в газообразной среде устанавливается со всевозрастающей легкостью, когда увеличивается частота импульсов**. Газ ведет себя в этом отношении совершенно противоположно металлическому проводнику. В последнем сопротивление отчетливо вступает в силу, когда возрастает частота, но газ ведет себя очень похоже на последовательное соединение конденсаторов: легкость прохождения разряда, похоже, зависит от скорости перемены потенциала. Если он действует таким образом, то в вакуумной трубке даже большой длины и вне зависимости от силы тока самоиндукция не могла бы проявиться в сколько-нибудь замет-

ной степени. Значит, насколько мы можем понять, в лице газа у нас есть проводник, способный передавать электрические импульсы любой частоты, которую мы могли бы обеспечить. Сумей мы достаточно повысить частоту, и тогда оригинальная система распределения электрической энергии, вполне способная заинтересовать газовые компании, была бы у нас в руках: заполненные газом металлические трубы, где металл — изолятор, а газ — проводник, снабжающие питанием фосфоресцентные лампы или устройства, которые, возможно, еще не изобретены. Определенно нет ничего невозможного в том, чтобы взять полый медный сердечник, разредить в нем газ и, пропуская импульсы достаточно высокой частоты по цепи вокруг него, довести газ внутри трубы до сильной раскаленности. Но относительно природы этих действующих сил не могло бы быть полной уверенности, поскольку есть сомнения в том, будет ли при таких импульсах медный сердечник вести себя как статический экран. С такими парадоксами и явной невозможностью отдельных опытов мы сталкиваемся в этой области работы на каждом шагу, и в огромной степени именно в этом заключается очарование таких исследований.

Взгляните на эту короткую и широкую трубку, из которой сильно откачен воздух, покрытую внушительным слоем бронзового напыления, едва пропускающим свет. К середине трубы прикреплен металлический зажим с крюком для подвешивания, соединенный контактом с бронзовым покрытием. Теперь я собираюсь зажечь газ внутри трубы, подвесив ее к проводу, соединенному с катушкой. Любой, кто впервые попытается провести этот эксперимент, не имея никакого предварительного опыта, вероятно, позаботится о том, чтобы заняться этим в одиночестве, из страха сделаться посмешищем собственных помощников. И все же трубка загорается, несмотря на металлическое покрытие, и сквозь слой бронзы его можно отчетливо разглядеть. Длинная трубка, покрытая алюминиевой бронзой, светится довольно сильно, если держать ее в одной руке — другая при этом прикасается к клемме

катушки. Можно возразить, что покрытия не особенно охотно проводят ток, и все же, даже если они обладают сильным сопротивлением, они должны экранировать газ. Покрытия действительно прекрасно экранируют его в состоянии покоя, но далеко не так хорошо справляются, когда на покрытие действует разряд. Но потери энергии, имеющие место внутри трубки, несмотря на экран, происходят именно благодаря присутствию газа. Если бы мы взяли большой полый металлический шар и наполнили его отличным несжимаемым жидкостным диэлектриком, внутри шара потерять бы не происходило, хотя бы потенциал при этом и быстро колебался. Даже будь шар заполнен маслом, потери были бы несравненно меньше, чем когда жидкость заменяется газом, поскольку в последнем случае действующая сила вызывает молекулярные смещения, то есть столкновения внутри шара.

Не имеет значения, каково давление газа — он становится важным фактором в нагреве проводника, когда плотность электрического заряда очень велика, а частота — очень высока. То, что в нагревании проводников огромную роль играют светящиеся разряды, почти так же точно, как и любой экспериментально доказанный факт. Я могу продемонстрировать действие воздуха при помощи следующего эксперимента. Я беру умеренно вакуумированную короткую трубку, в середине которой из одного конца в другой тянется платиновый провод. Пропускаю через провод постоянный или переменный низкочастотный ток, и провод равномерно нагревается по всей длине. Нагрев здесь — следствие проводниковых или фрикционных потерь, и газ вокруг проводника не выполняет, насколько мы можем судить, никакой функции. Но теперь позвольте мне пропустить сквозь провод резкие разряды или переменный ток высокой частоты. Провод снова нагрелся, на этот раз — преимущественно на концах, а меньше всего — в середине. И если частота импульсов или скорость колебаний достаточно высоки, провод вполне можно перерезать посередине, поскольку практически весь нагрев происходит благодаря раз-

реженному газу. Здесь газ может действовать только как проводник с нулевым сопротивлением, отводящий ток от провода, поскольку сопротивление последнего чрезвычайно возрастает, и просто нагревающий концы провода по причине их сопротивления прохождению разряда. Но газ в трубке совсем необязательно должен быть проводником; он может быть под крайне низким давлением, и все равно концы провода будут нагреваться (что, кстати, подтверждается опытным путем), только два конца провода не будут в таком случае электрически соединяться через газообразную среду. Итак, то, что происходит при высоких частотах и потенциалах в вакуумной трубке, происходит и в разрядах молнии при обычном давлении. Мы только должны помнить об одном факте, полученном в ходе этих исследований, а именно — что **на импульсы очень высокой частоты газ при обычном давлении реагирует примерно так же, как если бы он был под умеренно низким давлением.** Я думаю, что часто при разрядах молнии провода или проводящие предметы испаряются просто потому, что присутствует воздух и что, будь проводник погружен в изолирующую жидкость, он бы уцелел, поскольку тогда энергии пришлось бы искать себе другой выход. Из реакции газов на резкие импульсы высокого напряжения я делаю вывод, что не может быть более верного способа отвести разряд молнии, чем позволить ему пройти через некоторый объем газа, если это в принципе осуществимо на практике.

Есть еще два момента, на которых, думаю, необходимо остановиться в связи с этими экспериментами — «лучистое состояние» и «неударный вакуум».

У любого, кто изучал работы Крукса, должно быть, сложилось впечатление, что «лучистое состояние» — это свойство газа, неразрывно связанное с крайне высокими степенями разреженности. Но следует помнить, что феномены, наблюдаемые в вакуумном сосуде, определяются характером и мощностью используемого аппарата. Думаю, что в колбе лампы молекула или атом движутся точно по прямой не потому, что не встречают на своем пути пре-

пятствий, а потому что сообщенная им скорость достаточна, чтобы двигать их по достаточно прямой линии. Средняя длина свободного пробега — это одно, но быстрота, то есть энергия, связанная с движущимся телом, — другое, и при обычных обстоятельствах, думаю, это просто вопрос потенциала или скорости. Катушка пробойного разряда, когда потенциал очень сильно повышен, возбуждает фосфоресценцию и отбрасывает тени при сравнительно низких степенях разреженности. При разряде молнии материя движется по прямым линиям при обычном давлении, когда средняя длина свободного пробега крайне мала, и часто частицами, отброшенными по прямым линиям, образуются изображения-отпечатки проводов или других металлических предметов.

Я изготовил лампу, чтобы продемонстрировать на опыте истинность этих утверждений. В колбу *L* (рис. 25) я поместил на ламповую нити накаливания *f* кусочек извести *l*. Нить накаливания соединена с проводом, ведущим внутрь лампы, общая конструкция которой изображена на рис. 14, описанном прежде. Лампа подвешена на проводе, соединенном с клеммой катушки, и когда она начинает работать, кусочек извести *l* и выступающие части нити накаливания *f* подвергаются бомбардировке. Степень разреженности ровно такая, чтобы при том потенциале, который способна выдать катушка, произошла фосфоресценция стекла, но исчезала бы, как только вакуум ослабевает. Известь содержит влагу, которая выделяется при нагреве, поэтому фосфоресценция длится всего несколько мгновений. Когда известь достаточно нагревается, она может выделить достаточно влаги, чтобы существенно ослабить вакуум в колбе. Поскольку бомбардировка продолжается, одна точка на поверхности кусочка извести нагревается сильнее других, и в результате практически весь разряд проходит сквозь эту точку, которая еще интенсивнее нагревается, и затем из нее вырывается белый поток частиц извести (рис. 25). Этот поток состоит из «лучистой материи», хотя степень вакуумизации колбы невысока. Но частицы движутся по прямым лини-

ям, потому что сообщенная им скорость огромна, и это является следствием трех причин: огромной плотности электрического заряда, высокой температуры маленького участка и того факта, что частицы извести легко отрываются и отбрасываются — гораздо легче, чем частицы углерода. При тех частотах, которые мы можем получить, частицы во множестве отщепляются и отбрасываются на значительное расстояние. Но при существенно высоких частотах этого не будет: в таком случае будет распространяться только напряжение или колебания сквозь лампу. Если допустить, что атомы двигаются со скоростью света, о достижении таких частот не могло бы быть и речи, но полагаю, что это невозможно — слишком огромный для этого требовался бы потенциал. При потенциалах, которые мы можем получить, даже применяя катушку пробойного разряда, скорость атомов должна быть совсем незначительной.

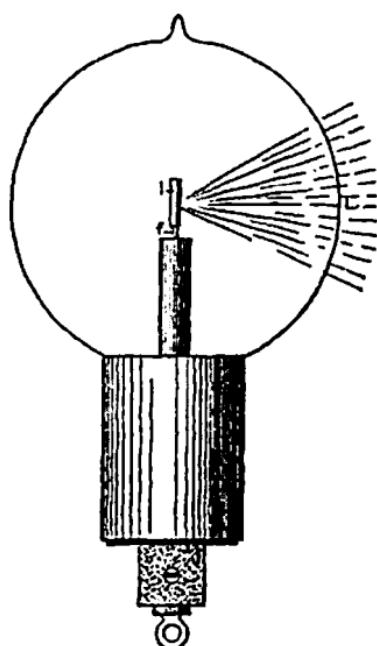


Рис. 25. Лампа, демонстрирующая поток лучистых частиц извести при низком вакууме

Что касается «неударного вакуума», здесь следует отметить, что он может возникнуть только при низкочастотных импульсах. Это так из-за невозможности рассеять достаточно энергии такими импульсами при высоком вакууме, поскольку немногие атомы, окружающие клемму, после контакта с ней отталкиваются и удерживаются на расстоянии в течение сравнительно долгого периода времени, и осуществляется слишком малое количество работы, чтобы ее эффект был различим глазом. Если разность потенциалов между клеммами повышается, происходит пробой диэлектрика. Но при очень высокочастотных импульсах нет никакой необходимости в таких пробоях, поскольку любое количество работы может быть выполнено путем возбуждения атомов в вакуумном сосуде, при условии, что частота достаточно высока. Даже при частотах, получаемых от такого генератора переменного тока, как используемый здесь, легко достичь той стадии, когда разряд не проходит между двумя электродами в узкой трубке, каждый из которых соединен с одной из клемм катушки, но трудно достичь такой стадии, когда светящийся разряд вокруг электрода не образуется.

Мысль, которая естественным образом возникает в связи с токами высокой частоты, — это использовать их мощное электродинамическое индукционное воздействие для производства световых эффектов в запаянной стеклянной колбе. Провод подводки — один из недостатков современной лампы накаливания, и если не проводить других улучшений, то с этим недостатком, по крайней мере, надо покончить. В продолжение этой мысли я проводил эксперименты в разных направлениях, некоторые из них были обозначены в моей предыдущей лекции. Могу сейчас упомянуть еще одну-две линии проведенных опытов.

Многие лампы имели такую конструкцию, какая иллюстрирована рис. 26 и 27. На рис. 26 широкая трубка *T* была приварена к меньшей *W*-образной трубке *U* из фосфоресцентного стекла. В трубку *T* была помещена обмотка *C* из алюминиевой проволоки, концы которой были снабжены маленькими алюминиевыми шариками *t*

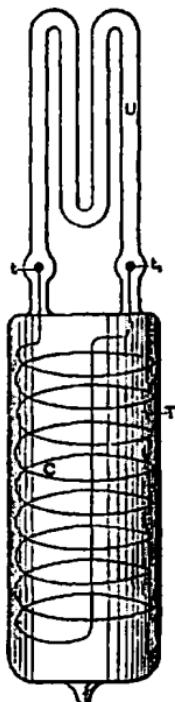


Рис. 26. Электродинамическая индукционная трубка

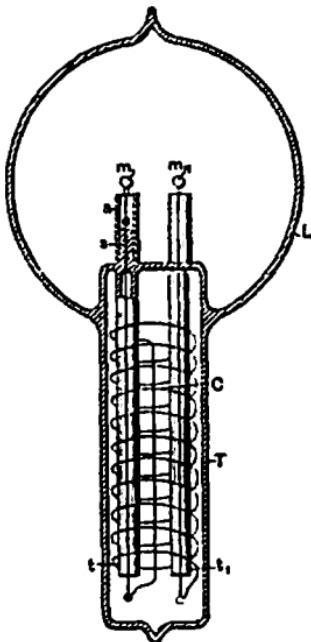


Рис. 27. Электродинамическая индукционная лампа

и t_1 вдававшимися в трубку U . Трубка T была вставлена в гнездо, содержащее первичную обмотку, сквозь которую обычно направлялись разряды лейденских банок, и разреженный газ в маленькой трубке U возбуждался до сильного свечения токами высокого напряжения, индуцированными в обмотке C . Когда разряды лейденской банки использовались для возбуждения токов в обмотке C , оказалось, что необходимо плотно набивать трубку T порошковым изолятором, поскольку разряд часто возникал между витками обмотки, особенно когда первичная обмотка была толстой, а воздушный промежуток, через который разряжалась банки, широким, и это причиняло немало неприятностей.

На рис. 27 показана другая форма специально сконструированной лампы. В этом случае трубка T приварена

к шару L . Трубка содержит обмотку C , концы которой пропущены через две маленькие стеклянные трубочки t и t_1 приваренные к трубке T . Две огнеупорные головки m и m_1 укреплены на нитях накаливания, которые, в свою очередь, прикреплены к концам проводов, проходящих через стеклянные трубочки t и t_1 . Обычно в лампах, изготовленных по этой схеме, шар L сообщается с трубкой T . Для этой цели концы маленьких трубочек t и t_1 были слегка прогреты на газовой горелке, только чтобы закрепить провода, не мешая при этом сообщению между сосудами. Сначала трубка T , вместе с маленькими трубочками, проводами в них и огнеупорными головками m и m_1 была полностью подготовлена, а затем припаяна к шару L , после чего внутрь была пропущена обмотка C , а к ее концам присоединены провода. После этого трубка была набита порошковым изолятором, причем его надо было утрамбовать как можно плотнее почти до самого конца трубы, затем закрыта — оставалось только крошечное отверстие, сквозь которое досыпался остаток порошка, и после этого конец трубы полностью закрывался. Обычно в лампах такой конструкции, какая показана на рис. 27, к верхним концам трубочек t и t_1 крепились алюминиевые трубы a , с целью защитить эти концы от нагрева. Головки m и m_1 можно было довести до любой степени накала, пропуская разряды лейденских банок по обмотке C . В таких лампах с двумя головками получается очень интересный эффект в виде образования теней каждой из двух головок.

Другая линия экспериментов, которыми я усердно занимался, имела целью **возбуждение с помощью электродинамической индукции тока или светящегося разряда в вакуумной трубке или колбе**. Этот предмет получил такую тщательную разработку в трудах профессора Дж. Дж. Томсона, что я мало что мог бы добавить к тому, что он выяснил, даже если бы сделал данный вопрос темой сегодняшней лекции. И все же, поскольку эксперименты в этом направлении постепенно привели меня к моим сегодняшним воззрениям и результатам, нельзя не посвятить этой теме несколько слов.

Наверняка многим приходило в голову, что когда вакуумная трубка делается длиннее, электродвижущая сила на единицу длины трубы, необходимая для прохождения сквозь нее светящегося разряда, последовательно уменьшается. Поэтому если сделать вакуумную трубку достаточно длинной, то даже при низких частотах в трубке, замкнутой на себя, можно возбудить светящийся разряд. Такую трубку можно пустить по периметру зала или по потолку, и мы получим простой прибор, способный дать значительное количество света. Но такой прибор трудно изготовить и совершенно невозможно регулировать. Не годится собирать такую трубку из небольших отрезков, потому что при обычных частотах возникали бы значительные потери на покрытиях, а кроме того, если уж использовать покрытия, лучше было бы подавать ток непосредственно на трубку, соединив покрытия с трансформатором. Но даже если бы все препятствия такого рода были преодолены, все же при низких частотах само по себе преобразование света было бы неэффективным, как я уже говорил раньше. При применении крайне высоких частот длину вторичной обмотки — иными словами, размер сосуда — можно уменьшить до любой желательной величины, и эффективность преобразования света возрастет при условии, что будут изобретены средства для эффективного получения таких высоких частот. Таким образом, мы приходим, из теоретических и практических соображений, к использованию высоких частот, а значит, высоких значений электродвижущей силы и слабых токов в первичной обмотке. Когда мы работаем с зарядами конденсатора — а это единственное известное на сегодняшний день средство достижения таких экстремальных частот, — мы получаем электродвижущую силу в несколько тысяч вольт на один виток обмотки. Мы не можем умножить электродинамический индуктивный эффект, сделав в первичной обмотке больше витков, поскольку приходим к выводу, что наилучший путь — это работа с одним витком (хотя порой нам приходится отклонять-

ся от этого правила), и мы вынуждены обходиться тем индуктивным эффектом, который можно получить при одном витке. Но еще задолго до того, как число опытов, проведенных нами с крайне высокими частотами, которые требуются для возбуждения в маленькой лампе электродвижущей силы в несколько тысяч вольт, станет действительно большим, мы осознаем исключительную важность электростатических эффектов, и их значение по отношению к электродинамическим нарастает параллельно росту частоты.

Итак, что нам действительно нужно — увеличение частоты, а это ухудшило бы электродинамические эффекты. С другой стороны, электростатическое действие легко усилить до желаемой степени, применив большее количество витков во вторичной обмотке или сочетая самоиндукцию и емкость для повышения потенциала. Следует также помнить, что, **уменьшая силу тока до минимального значения и увеличивая потенциал, можно с большей легкостью передавать электрические импульсы высокой частоты через проводник.**

Эти и похожие мысли поддержали мою решимость уделить больше внимания электростатическим феноменам и попытаться получить как можно более высокие потенциалы, причем переменяющиеся с насколько возможно большей частотой. Тогда я обнаружил, что могу возбуждать вакуумные трубы на значительном расстоянии от проводника, соединенного с правильно сконструированной катушкой, а также могу, преобразуя колебательный ток конденсатора с повышением потенциала, установить электростатические переменные поля, которые действуют во всем объеме помещения, зажигая трубы, в каком бы месте те ни находились. Я понял, что сделал шаг вперед, и продолжал упорно держаться этого направления. Но хочу сказать, что я делю со всеми любителями науки и прогресса общее и единственное желание — достигать результатов, несущих пользу людям, в любом направлении, в каком могут повести размышление или эксперимент. Я думаю, что выбрал правильную

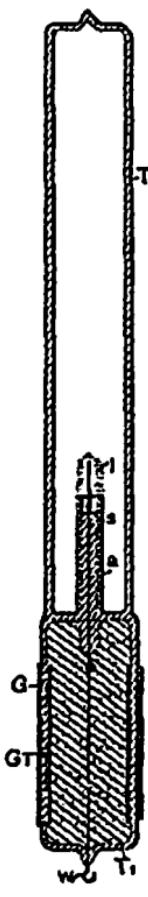


Рис. 28. Трубка с раскаленной нитью накаливания в электростатическом поле

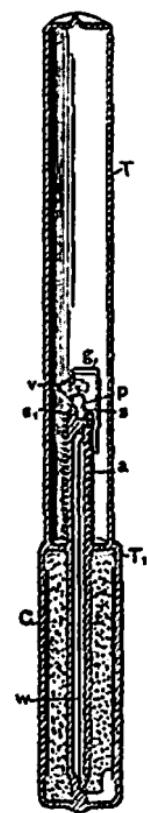


Рис. 29. Эксперимент Крукса в электростатическом поле

отправную точку, поскольку из результатов наблюдения феноменов, проявляющихся по мере увеличения частоты, не вижу, что еще могло бы действовать между двумя цепями, передающими, например, импульсы в несколько сот миллионов колебаний в секунду, кроме электростатических сил. Даже при ничтожных частотах практически вся энергия будет потенциальной, и я твердо убежден в том, что вне зависимости от того, какого рода движение является источником света, оно вызвано огромным элек-

тростатическим напряжением, колеблющимся с крайне высокой частотой. Из всех феноменов, наблюдаемых при использовании токов или электрических импульсов высокой частоты, более других восхищают публику те, которые наблюдаются в электростатическом поле, действующем со значительного расстояния, и лучшее, что может сделать неопытный лектор, — это начать с показа этих уникальных эффектов и им же закончить. Я беру в руку трубку и передвигаю ее, и она горит, где бы я ее ни держал: во всем пространстве действуют невидимые силы. Но я могу взять другую трубку, и она не загорится, потому что в ней заключен высокий вакуум. Я возбуждаю ее при помощи катушки пробойного разряда, и теперь она будет светиться в электростатическом поле. Я могу отложить ее на несколько недель или месяцев, и она по-прежнему сохранит способность возбуждаться. Какие перемены я произвел в этой трубке, возбудив ее? Если дело в движении, сообщенном атомам, то трудно понять, каким образом оно может так долго сохраняться, не затухая благодаря потерям при трении. Если же дело в напряжении, возникшем в диэлектрике, таком, какое может вызвать простая электризация, тогда легко понять, как оно может существовать неопределенно долгое время, но очень трудно понять, каким образом это состояние должно способствовать возбуждению, когда нам приходится работать с высокочастотными потенциалами. С тех пор как я впервые демонстрировал эти феномены, мне удалось получить некоторые другие интересные эффекты. Например, я добивался накала головки, нити или провода, заключенных в трубку. Чтобы достичь такого результата, было необходимо экономить энергию, получаемую от поля, и направлять большую ее часть к небольшому предмету, который предполагалось накалить. Вначале эта задача казалась сложной, но накопленный опыт позволил мне с легкостью добиться цели. На рис. 28 и 29 изображены две трубки, изготовленные специально по этому случаю. Изображенная на рис. 28 короткая трубка T_1 припаянная ко второй длинной трубке T , снабже-

на стержнем s с запаянным в нем платиновым проводом. Очень тонкая ламповая нить накаливания l прикреплена к этому проводу, а внешнее соединение сделано при помощи тонкого медного провода w . Трубка имеет внешнее и внутреннее покрытия, C и C_1 соответственно, и заполнена до уровня границы покрытий проводящим, а выше этого уровня — изолирующим порошком. Эти покрытия нужны только для того, чтобы дать возможность воспроизвести с трубкой два эксперимента, а именно — вызвать желаемый эффект либо посредством прямого соединения тела экспериментатора или другого предмета с проводом w , либо индуктивным воздействием через стекло. Стержень s снабжен алюминиевой трубочкой a по уже упоминавшимся причинам, и только маленькая часть нити выступает за пределы трубочки. Если держать трубку T_1 в любом месте в пределах электростатического поля, то нить накаляется.

Более интересный вариант аппарата представлен на рис. 29. Конструкция здесь такая же, как и прежде, только вместо нити накаливания небольшая платиновая проволочка p , запаянная в стержень s и согнутая над ним петлей, соединена с медным проводом w , который подключен к внутреннему покрытию C . Маленький стерженек S_1 снабжен иглой, на кончике которой укреплена и может свободно вращаться очень легкая слюдяная вертушка v . Чтобы вертушка не падала, тонкий стеклянный стерженек g подобающим образом согнут и прикреплен к алюминиевой трубочке. Если стеклянную трубку держать где угодно в пределах электростатического поля, платиновая проволока раскалятся, и слюдяная вертушка будет очень быстро вращаться.

Интенсивную фосфоресценцию в трубке можно возбудить, просто соединив ее с пластиной, находящейся внутри поля, и эта пластина может быть не больше, чем обычный ламповый абажур. Фосфоресценция, возбуждаемая такими токами, несравненно мощнее, чем при применении обычного аппарата. Маленькая фосфоресцен-

тная лампа, если ее подвесить на провод, соединенный с катушкой, испускает достаточно света, чтобы при нем читать обычный печатный шрифт на расстоянии пятидесяти шагов. Мне интересно было посмотреть, как станут вести себя при таких токах фосфоресцентные лампы, сконструированные профессором Круксом, и он проявил любезность, одолжив мне по такому случаю несколько штук. Полученные эффекты великолепны, особенно если использовался сульфид кальция и сульфид цинка. От действия катушки пробойного разряда они ярко светятся, если их просто взять в руку и коснуться другой рукой клеммы катушки.

К каким бы результатам ни привели исследования такого рода, их главный интерес в настоящее время лежит в области возможностей, которые они предоставляют в получении эффективного осветительного прибора. Прогресс в производстве света более желанен, чем в любой другой отрасли электрической промышленности. Любой мыслящий человек, оценив применяемые ныне варварские методы и прискорбно огромные потери, имеющие место в наших лучших системах производства света, должно быть, задавался вопросом: каков же будет свет будущего? Будет ли это раскаленное твердое тело, как в современных лампах, или раскаленный газ, или фосфоресцентное вещество, или что-то вроде горелки, но несравненно более эффективное?

Усовершенствовать газовую горелку шансов немного. Возможно, не потому, что человеческая изобретательность билась над этой проблемой целые столетия без радикального прорыва, хотя этот аргумент нещен убедительности, но потому, что в горелке невозможно получить более высокую частоту колебаний, не пройдя вначале через все низшие стадии. Ибо как можно получить пламя, если не уронить поднятый груз? Такой процесс нельзя поддерживать без обновления, а обновление — это повторяющийся процесс перехода через низкие колебания к высоким. В усовершенствовании горелки, похоже, остался лишь

один открытый путь — это попытки добиться более высоких степеней накала. Более сильный накал — это эквивалент более быстрых колебаний; это означает получение большего количества света при том же количестве вещества, а это, в свою очередь, означает большую экономию. В этом направлении уже сделаны некоторые улучшения, но продвижение вперед тормозится множеством ограничений. В таком случае оставим в стороне горелку, и у нас остается три первых упомянутых пути, по природе исключительно электрических.

Предположим, что источник света в ближайшем будущем — это твердое тело, раскаленное воздействием электричества. Разве не кажется, что лучше использовать маленькую головку, чем хрупкую нить накаливания? Из множества соображений с неизбежностью следует вывод, что головка способна на большую экономию — при учете, конечно, что трудности, связанные с работой такой лампы, будут успешно преодолены. Но чтобы зажечь такую лампу, нам нужен высокий потенциал, а чтобы получить его экономичным способом, мы должны использовать высокие частоты.

Такие соображения еще более применимы к производству света путем накаливания газа или с помощью фосфоресценции. В обоих случаях нам требуются высокие частоты и высокие потенциалы. Эти мысли возникли у меня уже очень давно.

Кстати, благодаря использованию высоких частот мы получаем множество преимуществ, как то: более высокую степень экономии при производстве света, возможность работать с одним линейным проводом, возможность отказаться от провода подводки и т.д.

Вопрос в том, насколько высоко мы можем поднять частоту? Обычные проводники быстро теряют легкость в передаче электрических импульсов, когда частота очень сильно возрастает. Предположив, что средства получения импульсов огромной частоты доведены до полного совершенства, каждый естественным образом задастся

вопросом: как передавать их, коль скоро появится такая необходимость? В передаче подобных импульсов через проводники мы должны помнить, что нам приходится иметь дело с *давлением* и *потоком* в обычном смысле этих терминов. Пусть давление возрастает до огромной величины и пусть поток соответственно уменьшается, тогда такие импульсы — просто вариации давления, если можно так выразиться, несомненно, могут передаваться через провод, даже если их частота составляет много сот миллионов колебаний в секунду. Конечно, не может быть и речи о передаче таких импульсов через провод, погруженный в газообразную среду, даже если провод будет снабжен превосходной толстой изоляцией, ибо большая часть энергии будет потеряна в молекулярной бомбардировке и результирующем нагреве. Конец провода, соединенного с источником, нагреется, а дальний его конец получит лишь незначительную часть поданной энергии. Таким образом, если иметь в виду использование таких импульсов, первостепенной важностью становится поиск средств, позволяющих свести рассеивание энергии к минимуму.

Первая мысль — использовать самый тонкий провод из возможных, окруженный самой толстой изоляцией из практически осуществимых. Следующая — применить электростатические экраны. Изоляция провода может быть покрыта тонким проводящим заземленным покрытием. Но это нам не подходит, поскольку тогда вся энергия будет уходить через проводящее покрытие в землю и до конца провода никакая ее часть не доберется. Если уж делать заземление, тогда оно должно быть сделано через проводник, обладающий огромным сопротивлением, или через конденсатор исключительно малой емкости. Это, однако, не поможет справиться с остальными трудностями.

Если длина волны импульсов гораздо меньше, чем длина провода, тогда соответствующие короткие волны возбуждаются в проводящем покрытии, и это будет при-

мерно то же самое, что соединить покрытие напрямую с землей. Поэтому необходимо расчленять покрытие на секции, гораздо более короткие, чем длина волны. Такая конструкция по-прежнему не будет обеспечивать совершенное экранирование, но это в десять тысяч раз лучше, чем ничего. Я полагаю, что предпочтительнее разбить проводящее покрытие на маленькие секции, даже если длина волны намного больше, чем длина покрытия.

Если бы провод был снабжен совершенным электростатическим экраном, это было бы то же самое, как если бы все предметы были удалены от него на бесконечное расстояние. Емкость системы тогда уменьшилась бы до емкости самого провода, которая очень мала. Тогда было бы возможно посыпать через провод колебания тока очень высокой частоты на огромные расстояния, не особенно сильно влияя на характер колебаний. Совершенный экран, конечно, вещь недостижимая, но я полагаю, что с таким экраном, который я только что демонстрировал, можно было бы осуществить телефонную связь через Атлантику. Исходя из моей идеи, покрытый гуттаперчей провод должен быть снабжен третьим проводящим покрытием, разделенным на секции. Поверх этого покрытия снова должен быть слой гуттаперчи и другого изолятора, а поверх всего этого провод должен быть армирован. Но такой кабель так и не будет создан, ибо вскоре информация, передаваемая без проводов, будет пульсировать сквозь Землю, как сердцебиение живого организма. Удивительно то, что при теперешнем состоянии знания и накопленном опыте не делается никаких попыток возбуждать электростатическое или магнитное поле Земли и передавать если не что-либо иное, так информацию.

Моей главной целью в представлении этих результатов исследований было указать на феномены или особенности, отличающиеся новизной, и озвучить идеи, которые, я надеюсь, послужат отправными точками новых исследований. Главным моим желанием было развлечь вас некоторыми новыми опытами. Ваши аплодисменты,

раздававшиеся столь часто и столь щедро, говорят мне, что в своих задачах я преуспел.

В заключение позвольте мне сердечно поблагодарить вас за ваши любезность и внимание и уверить вас, что я никогда не забуду оказанную мне честь обратиться к столь избранной аудитории и удовольствие, с которым я представлял результаты своих исследований собранию столь многих талантливых людей, и в их числе тем, в чьих работах я много лет находил источник озарений и бесконечного наслаждения.

О СВЕТЕ И ДРУГИХ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ФЕНОМЕНАХ

*Лекция, прочитанная в Институте
Франклина в Филадельфии,
в феврале 1893 г., и в Национальной
ассоциации электрического освещения
в Сент-Луисе, в марте 1893 г.*

ВСТУПЛЕНИЕ. МЫСЛИ О ЗРЕНИИ

Когда мы глядим на все, что нас окружает, на Природу, нас поражают ее красота и великолепие. Всякий предмет, который мы воспринимаем, пусть даже бесконечно малый, сам по себе представляет целое мироздание. То есть, подобно всей Вселенной, это материя и энергия, управляемые законами, — это мир, созерцание которого наполняет нас ощущением чуда и с неодолимой силой побуждает нас к непрестанным размышлениям и исследованиям. Но из всего, что есть в этом просторном мире, из всех явлений, воспринимаемых нашими органами чувств, самое чудесное, самое возбуждающее для нашего воображения — это высокоразвитое живое устройство, мыслящее существо. Что, как не этот непостижимый механизм, совершающий неисчислимые движения в ответ на внешние влияния, может заставить нас восхищаться творением Природы! Понять его работу, глубже проникнуть в суть этого естественного шедевра — вот какая цель всегда пленяла мыслителей, и после многих столетий ревностных изысканий люди наконец пришли к ясному пониманию функций его частей и органов чувств. К тому же во всей совершенной гармонии его составляющих, которые формируют материальную, осязаемую часть нашего существа,

из всех органов и чувств самое удивительное — это глаз. Глаза — драгоценнейший, необходимейший из воспринимающих или управляющих органов, это — великие врата, через которые в наш разум входят знания. Из всех органов они наиболее тесно связаны с тем, что мы называем интеллектом. Это настолько близкая связь, что часто мы говорим: глаза — зеркало души.

Можно принять как данность, составляющую часть общей теории функций зрения, что для восприятия каждого внешнего раздражителя, то есть каждого образа, проецируемого на сетчатку, окончания глазных нервов, участвующие в передаче этого образа в мозг, должны пребывать под особенным напряжением или в состоянии вибрации. Вполне вероятно, что когда сила мысли воскрешает какой-либо образ, она оказывает особое рефлекторное воздействие, пусть даже слабое, на определенные нервные окончания в глазу и, следовательно, на сетчатку. Возможно ли, что когда-нибудь в человеческих силах будет проанализировано состояние сетчатки в момент возбуждения мыслью или рефлекторным воздействием с помощью оптических или иных средств такой чувствительности, чтобы в любое время можно было получить ясное представление о ее состоянии? Если бы это было возможно, тогда задачу чтения чужих мыслей с полной точностью, как текста в открытой книге, можно было бы решить гораздо легче, чем множество иных проблем, относящихся к области описательной физики, в разрешение которых безоговорочно верят многие люди науки, если не их большинство. Гельмгольц доказал, что само по себе глазное дно светится, и был способен видеть в полной темноте движение руки при свете собственных глаз. Это один из наиболее замечательных экспериментов, вписанных в историю науки, и, возможно, лишь немногие могут успешно повторить его, поскольку очень вероятно, что светимость глаз связана с необычной активностью мозга и большой силой воображения. Это — флуоресценция действующей мысли, если можно так выразиться.

Есть и другой имеющий отношение к этой теме факт, возможно, многими отмечавшийся, поскольку он даже нашел отражение в популярных разговорных выражениях, хотя я не могу припомнить, чтобы он где-нибудь регистрировался как результат наблюдений. Я говорю о том, что временами, когда внезапная мысль или образ появляются в уме, то в глазах возникает явственное и порою болезненное ощущение световой вспышки, что заметно даже при свете дня.

Так что пословица: глаза — зеркало души имеет прочное обоснование, и мы чувствуем, что выражает она великую истину. Она имеет глубинное значение даже для тех, кто, подобно поэту или художнику, лишь следует врожденному инстинкту любви к Природе, находит наслаждение в бесцельных мыслях и самом созерцании природных феноменов. Но еще глубже это значение ощущается тем, кто одержим духом научного исследования, доискивается причин этих эффектов. В первую очередь это относится к естествоиспытателю, к физику, для которого зрение является предметом наибольшего восхищения.

Два факта, имеющих отношение к зрению, должны производить неизгладимое впечатление на ум физика, несмотря на то что он может думать или говорить, что это лишь несовершенный оптический прибор, забывая при этом, что само понятие о том, что является или кажется ему совершенным, получено благодаря этому самому прибору. Во-первых, глаз, насколько нам известно, является единственным органом, на который непосредственно воздействует тонкая среда, которая, как учит нас наука, заполняет собой все пространство. Во-вторых, это наиболее чувствительный из наших органов, несравненно более чувствительный к внешним воздействиям, чем любой другой.

Орган слуха воспринимает взаимодействие обладающих массой тел; орган обоняния — перемещение частиц вещества; органы вкуса и осязания — непосредственный контакт или, по крайней мере, некое воздействие обладающих массой предметов, и все это верно даже по отноше-

нию к организму животного, в котором некоторые из этих органов развиты до поистине восхитительной степени совершенства. Пусть это так; тем более удивительно то, что один только орган зрения способен воспринимать раздражитель, которые прочие органы бессильны определить. Источник этого раздражителя тем не менее играет главенствующую роль во всех природных явлениях, передает всю энергию и поддерживает всякое движение и, что еще удивительнее, жизнь, но при этом обладает такими свойствами, что даже закаленный научным знанием ум не может не провести различие между ним и всем, что мы называем материей. Только задумаемся над этим, и сам факт того, что глаза, благодаря их чудесным способностям, расширяют горизонт нашего восприятия далеко за пределы принадлежащего нам узкого мирка, чтобы объять мириады иных миров, солнц и звезд в бесконечных глубинах Вселенной, дает нам право утверждать, что зрение есть орган высшего порядка. Не обладай мы зрением, и этот горизонт был бы слишком ограничен. Характер и поведение органа зрения находятся за пределами нашего понимания. Природа, насколько нам известно, никогда не производила ничего более удивительного. Мы можем получить лишь смутное представление о его изумительной силе, анализируя и сравнивая его действия.

Когда эфирные волны сталкиваются с человеческим телом, они вызывают ощущения тепла или холода, удовольствия или боли, а возможно, и другие ощущения, о которых мы не догадываемся, и любую степень интенсивности ощущений, при безграничном количестве этих степеней, а следовательно, и бесконечное число различных ощущений. Но наше чувство осязания, или чувство силы, не может открыть нам эти различия в степени интенсивности, если только они не очень велики. Мы можем легко представить себе, как организм, подобный человеческому, в ходе вечного процесса эволюции или, выражаясь более философски, приспособления к природе, будучи вынужден пользоваться только одним чувством осязания или силы, мог бы развить его до такой степени чувстви-

тельности или совершенства, что был бы способен даже на расстоянии различать мельчайшие изменения температуры предметов, составляющие сотые, тысячные или миллионные доли градуса. Однако даже такие, заведомо невероятные способности, не идут ни в какое сравнение со способностями глаза, который может различать и передавать мозгу в единое мгновение бесчисленные характерные черты предмета, будь то форма, цвет или другие его аспекты. Эта сила зрения опирается на два фактора, а именно на его чувствительность, с одной стороны, и прямолинейность распространения возбудителя, который оказывает на него воздействие, — с другой. Просто сказать, что глаз чувствителен — значит не сказать ничего. По сравнению с ним все остальные органы чудовищно примитивны. Орган обоняния, который ведет собаку по следу оленя; орган осязания, который руководит насекомым в его странствиях; орган слуха, на который действуют легчайшие возмущения воздуха, — все они, безусловно, чувствительные органы, но что они такое по сравнению с человеческим глазом! Несомненно, глаз отзывается на мельчайшие вибрации и реверберации среды; несомненно, он приносит нам вести из иных миров, бесконечно далеких, пусть и на языке, который мы пока не научились понимать. А все почему? Потому что мы живем в среде, заполненной воздухом и другими газами, испарениями и густыми массами твердых частиц, летающих повсюду вокруг нас. Они играют важную роль во многих феноменах; они «расстаскивают» энергию колебаний прежде, чем те успевают достигнуть наших глаз; они также действуют в роли носителей разрушительных микробов; они проникают в наши легкие и другие органы, забивают сосуды и неощутимо, хотя и неизбежно, замедляют течение жизни. Если бы мы только смогли избавиться от всей этой обладающей массой материи, мельтешащей на линии обзора телескопа, и нам бы открылись чудеса, о которых мы и не мечтали. Думаю, даже невооруженный глаз был бы способен различить в чистой среде мелкие предметы на расстояниях, измеряемых сотнями, а возможно, и тысячами миль.

Но есть еще кое-что, свойственное зрению, что впечатляет нас даже больше, чем упомянутые удивительные черты, которые мы рассматриваем с точки зрения физики просто как свойства оптического прибора, — нечто, что привлекает нас более, чем чудесная способность глаза непосредственно воспринимать колебания среды без вмешательства плотной материи, и более, чем его необъяснимая чувствительность и способность к распознаванию. Это — важность зрения для самого процесса жизни. Не имеет значения, каковы взгляды человека на Природу и жизнь, — он все равно испытывает потрясение, когда впервые осознает важность зрения для физических и умственных процессов человеческого организма. И как может быть иначе, когда понимаешь, что зрение является средством, благодаря которому род людской приобрел все знание, которым обладает, что оно управляет всеми нашими движениями и, более того, нашими действиями.

Нет никаких способов приобрести знание помимо зрения. На чем основаны все философские системы прошлого и современности — если уж на то пошло, вся человеческая философия вообще? *Я существую, я мыслю; я мыслю — следовательно, я существую.* Но как мог бы я мыслить и откуда бы мне знать, что я существую, когда бы не зрение? Ибо знание подразумевает сознание; сознание подразумевает идеи и представления; представления состоят из картин или образов, для образов нужно зрение, а следовательно, орган зрения. А как же тогда слепые, спросите вы? Да, слепец может описывать формы и сцены действительности, образы мира, который он физически не видит, в чудесных стихах. Слепец может касаться клавиш музыкального инструмента с безошибочной точностью, может сконструировать самый быстрый корабль, может открывать и изобретать, вычислять и строить, но все слепые, которые были на такие вещи способны, произошли от зрячих. Природа может добиваться одного и того же результата разными способами. Как волна в физическом мире, в бесконечном океане всепроникающей среды, так и в мире организмов, в жизни: импульс, однажды родившись, устремляется впе-

ред. Временами он может двигаться со скоростью света, временами так медленно, что кажется, он веками остается на одном месте. Проходя сквозь процессы невообразимой для человека сложности, во всех своих формах, на всех стадиях его энергия присутствует постоянно и неизменно. Единственный луч света от далекой звезды, отразившийся в глазу тирана давно минувшей эпохи, мог изменить ход его жизни, изменить судьбы народов, изменить самую поверхность земного шара — настолько запутанными, настолько невообразимо сложными являются все природные процессы. Никаким иным образом мы не можем получить столь ошеломляющего представления о величии Природы, как когда мы принимаем во внимание, что в согласии с законом сохранения энергии во всей бесконечности Вселенной все силы находятся в совершенном равновесии и потому энергия одной-единственной мысли может определить движение Вселенной. Вовсе необязательно, чтобы каждый индивидуум, даже каждое поколение или несколько поколений обладали физическим инструментом зрения, чтобы быть способными к формированию образов и мышлению, то есть формированию идей и представлений; но в тот или иной момент в процессе эволюции глаз как таковой обязан был появиться, иначе мышление, как мы его понимаем, не могло бы существовать. Можно представить себе, что где-то в другом мире, у каких-то других существ глаза заменяет какой-либо другой орган, столь же или более совершенный, но эти существа никак не могут быть людьми.

Итак, что побуждает нас к осознанным движениям и действиям любого рода? Опять-таки зрение. Если я осознаю движение, то у меня должна быть идея или представление о движении, то есть образ, а следовательно, глаза. Если я не вполне осознаю движение, то это потому, что его образы смутны или неразличимы, затуманены наложением нескольких образов. Но когда я совершаю движение, идет ли импульс, побуждающий меня к действию, изнутри или извне? Величайшие физики не гнушились попытками ответить на этот и другие схожие вопросы и временами

предавались радостям чистой и не связанной ограничениями мысли. Такие вопросы обычно считают не относящимися к царству описательной физики, но пройдет не так уж много времени, как они станут его составной частью. Гельмгольц, возможно, думал о жизни более всех остальных современных ученых. Лорд Кельвин выразил свою уверенность в том, что жизнь — процесс электрический и что существует сила, неотделимая от организма и определяющая его движения, точно так же, как я убежден в любой истине из области физики. Я уверен, что мотивационный импульс должен приходить извне. Возьмите, например, низший из известных нам организмов, а возможно, есть и много еще более примитивных, состоящий всего из нескольких клеток. Если он способен на преднамеренное действие, то он может совершать бесконечное число движений, сколь определенных, столь и точных. Но ведь механизм, состоящий из конечного числа частей, и притом небольшого, не может совершать неопределенное число определенных движений, следовательно, импульсы, управляющие его движениями, должны исходить из окружающей среды. Так атом, невидимый элемент структуры Вселенной, вечно мечется в пространстве — игрушка внешних воздействий, как лодка в бурном море. Прекрати он свое движение — и он бы умер. Материя, пребывающая в состоянии покоя, если она вообще могла бы существовать, была бы мертвой материей. Смерть материи! Не было еще на свете изречения, наполненного более глубоким философским смыслом. Именно такое сильное выражение употребил профессор Дьюар в описании своих поразительных экспериментов, в которых он обращался с жидким кислородом, как с водой, и заставлял воздух при обычном давлении конденсироваться и даже затвердевать при помощи интенсивной заморозки. Эти эксперименты, как он сам выразился, должны были продемонстрировать последние слабые проявления жизни, последнюю дрожь умирающей материи. Но человеческие глаза не увидят такой смерти. Смерти материи не существует, ибо повсюду

в бесконечной Вселенной все должно двигаться, все должно колебаться, а значит, жить.

Я рискнул ступить на метафизическую почву, начав с этих утверждений, потому что желал представить тему этой лекции аудитории, к которой имею честь обращаться, в не слишком скучной манере. Но теперь, возвращаясь к теме, зададимся вопросом: этот божественный орган зрения, этот незаменимый инструмент мысли и интеллектуального наслаждения, который открывает нам чудеса Вселенной и который возбуждает и направляет всю нашу физическую и умственную деятельность, — какому влиянию он подвержен? Влиянию света! А что такое свет?

Мы с вами свидетели гигантских шагов, которые совершили все отрасли науки в последние годы. Эти достижения столь велики, что мы не можем не спрашивать себя: неужели это правда или всего лишь сон? Столетия назад люди жили, мыслили, совершали открытия, изобретали и верили, что взлетают ввысь, тогда как на самом деле они продвигались вперед черепашьим шагом. Так же можем ошибаться [насчет своего продвижения] и мы. Но, принимая истинность наблюдаемых событий как один из неоспоримых фактов науки, мы должны радоваться уже совершенному колossalному прогрессу, и еще больше тому, что еще впереди, если судить по возможностям, открывшимся в ходе современных исследований. Однако есть одно достижение, которому мы были свидетелями и которое должно быть особенно приятно для каждого ценителя прогресса. Это не отдельное открытие, или изобретение, или достижение в одном конкретном направлении. Это шаг вперед сразу во всех направлениях научной мысли и эксперимента. Я имею в виду обобщение естественных сил и явлений, маячащее на научном горизонте очертание некой широкой идеи. Именно к этой идее, которая давно уже захватила наиболее продвинутые умы, я хочу привлечь ваше внимание. Именно ее я хочу проиллюстрировать в общем виде в своих экспериментах — как первый шаг в ответе на вопрос «Что есть свет?» — и наглядно показать современное значение самого этого слова.

В цели этой лекции не входят пространные рассуждения о свете вообще, поскольку моей задачей было просто представить вашему вниманию определенный класс световых эффектов и ряд феноменов, наблюдавшихся в ходе исследований этих эффектов. Но для соблюдения последовательности высказывания необходимо сказать, что в соответствии с этой идеей, ныне принятой большинством людей науки как положительный результат теоретических и практических изысканий, **разнообразные формы проявлениями энергии, которые обычно описывались как «электрические» или, точнее, «электромагнитные», являются проявлениями энергии той же природы, что и тепловое и световое излучение.** Поэтому феномены света, тепла и других подобных явлений могут называться **электрическими феноменами.** Таким образом, наука об электричестве стала матерью всех наук, и ее изучение приобрело основополагающее значение. Тот день, когда мы точно выясним, что собой представляет «электричество», будет, возможно, отмечен в календарях как величайшее и важнейшее из всех событий, вписанных в историю человечества. Придет время, когда удобство, да и самая жизнь человека, возможно, будут зависеть от этого чудесного посредника. Для жизнедеятельности и комфорtnого существования нам требуются тепло, свет и механическая энергия. Как мы все это получаем сейчас? Из топлива, путем материальных затрат. Что будут делать люди, когда леса исчезнут, а угольные залежи истощатся? Судя по нашему сегодняшнему знанию, нам останется только одно — передавать энергию на большие расстояния. Люди обратятся к водопадам, к приливам, в которых запасена бесконечно малая часть неизмеримой природной энергии. Они обуздают эту энергию и станут передавать ее в свои поселения, чтобы она обогревала дома, давала свет и заставляла работать покорных рабов человека — машины. Но как люди будут передавать энергию, если не посредством электричества? Теперь судите сами, будут ли удобства — нет, самое существование человека зависеть от электричества! Я знаю, что такой взгляд нельзя назвать точкой зрения инженера-практика, но это

и не фантазии мечтателя, ибо совершенно ясно, что передача электроэнергии, которая в настоящее время является лишь стимулом к предпринимательству, однажды станет насущной необходимостью.

Для изучающего световые феномены важнее тщательно ознакомиться с определенными современными взглядами на проблему, чем перерыть горы книг, посвященных свету как таковому, в отрыве от этих взглядов. И поэтому, если бы я устраивал сегодняшнюю демонстрацию перед студентами, ищущими информацию (позвольте мне сделать такое допущение ради тех немногих студентов, которые действительно могут здесь присутствовать), главное, что я попытался бы сделать, — запечатлеть эти взгляды в их сознании с помощью данной серии экспериментов.

Возможно, для этой цели было бы достаточно провести простой и хорошо известный опыт. Я мог бы взять всем знакомое устройство — лейденскую банку, зарядить ее от фрикционного генератора, а затем разрядить. Объяснив вам ее постоянное состояние при зарядке, а также временное состояние при разрядке, привлекая ваше внимание к действованным силам и разнообразным феноменам, которые эти силы вызывают, и указывая на связь этих сил и феноменов, я мог бы вполне преуспеть в иллюстрировании этого современного представления. Но эта демонстрация задумана как экспериментальная, и она должна обладать, помимо познавательных, еще и развлекательными чертами. А поскольку это так, то простой эксперимент, подобный только что упомянутому, не слишком помог бы лектору в достижении поставленной цели. Посему я должен избрать иной способ иллюстрации, определенно более зрелищный, но, возможно, и более познавательный. Вместо фрикционного генератора и лейденской банки в этих экспериментах я буду пользоваться индукционной катушкой, обладающей необычными свойствами, которые детально описаны мною в лекции, прочитанной в лондонском Институте инженеров-электриков в феврале 1892 года. Эта индукционная катушка способна вырабатывать токи с огромной разностью потенциалов, колеблющиеся

с чрезвычайной скоростью. С помощью этого аппарата я попытаюсь показать вам три различных класса эффектов или явлений, и мое желание таково, чтобы каждый эксперимент, служа иллюстративным целям, в то же время научил нас какой-то новой истине или показал нам некий новый аспект этой восхитительной науки. Но прежде чем приступить к делу, думаю, будет уместно и полезно остановиться на самом широко применяемом аппарате и методе получения высоких потенциалов и высокочастотных токов, которые использованы в этих экспериментах.

ОБ УСТРОЙСТВАХ И СПОСОБАХ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ

Эти **высокочастотные токи** мы получаем довольно своеобразным путем. Используемый метод был предложен мною около двух лет назад в экспериментальной лекции в Американском институте инженеров-электриков. Ряд способов получения таких токов, применяемых в лабораторных условиях. **Общий план действий состоит в том, чтобы заряжать конденсаторы от источника постоянного или переменного тока, предпочтительно выдающего высокое напряжение, а затем разряжать их пробоем, наблюдая при этом хорошо известные условия, необходимые для поддержания колебаний тока.**

Учитывая общий интерес к токам высокой частоты и получаемым благодаря им эффектам, мне кажется желательным потратить некоторое время на описание данного метода преобразования. С целью дать вам ясное представление о процессе я предлагаю использовать генератор постоянного тока, что часто оказывается весьма удобно. Желательно, чтобы этот генератор вырабатывал напряжение, достаточное для пробоя сквозь небольшой воздушный промежуток. Если это не так, то придется использовать вспомогательные средства, некоторые из них будут впоследствии указаны. Когда конденсаторы заряжаются до определенного потенциала, воздух, или изолирующее пространство, разрывается, и происходит пробойный раз-

ряд. Тогда возникает резкий скачок тока и тратится большое количество аккумулированной энергии. Вскоре после этого конденсаторы заряжаются, и весь процесс повторяется в более или менее быстрой последовательности. Чтобы добиться таких резких скачков тока, необходимо соблюдать некоторые определенные условия. Если скорость, с которой разряжаются конденсаторы, соответствует скорости их зарядки, тогда, очевидно, конденсаторы не играют роли. Если скорость разрядки будет меньше скорости зарядки, тогда конденсаторы опять же не играют особой роли. Но если, наоборот, скорость разрядки больше скорости зарядки, тогда мы получаем последовательность скачков тока. Очевидно, что если скорость рассеяния энергии при разрядах намного больше скорости подачи тока на конденсаторы, то резких скачков тока будет немного, а между ними будут довольно длинные интервалы. Так всегда бывает, когда конденсатор определенной емкости заряжается посредством сравнительно небольшого генератора. Если скорости подачи и рассеяния энергии не очень сильно различаются, тогда скачки тока следуют друг за другом в более быстрой последовательности — и тем более быстрой, чем меньше разница указанных скоростей, пока не вступают в силу ограничения, характерные для каждого конкретного случая и зависящие от ряда причин. Таким образом, мы можем получить от генератора постоянного тока настолько быструю последовательность разрядов, насколько захотим. Разумеется, чем выше напряжение, выдаваемое генератором, тем меньше должна быть емкость конденсаторов, и в основном по этой причине выгодно использовать генератор очень высокого напряжения. Кроме того, такой генератор позволяет добиться большей скорости колебаний.

При ранее принятых условиях скачки тока могут иметь одно и то же направление, но, как правило, проявляются колебания, наложенные на основные колебания тока. Когда созданы такие условия, что наложенные колебания отсутствуют, то импульсы тока имеют единое направление, и таким образом мы получаем средство преобразо-

вания постоянного тока высокого напряжения в постоянный ток более низкого напряжения, чему, как я полагаю, можно найти практическое применение.

Этот метод преобразования необычайно интересен, и я был весьма впечатлен его красотой, когда впервые применил его. В некоторых отношениях этот способ идеален. Для него не нужны никакие механические приспособления, и он позволяет получать токи любой желаемой частоты в обычной цепи постоянного или переменного тока. Частота основных разрядов, зависящая от относительной скорости подачи и рассеяния энергии, может быть легко варьирована в широких пределах путем простой подстройки количественных показателей, а частота наложенных колебаний — путем правильного определения емкости, самоиндукции и сопротивления цепи. Опять же, потенциал этих токов может быть повышен до того предела, какой может безопасно выдержать любая изоляция, путем соединения емкости и самоиндукции либо путем индукции во вторичной обмотке, которая должна состоять из сравнительно немногих витков.

Поскольку часто условия таковы, что прерывания или колебания тока не способны установиться самостоятельно, особенно когда задействован источник постоянного тока, имеет смысл использовать дуговой прерыватель. Так я делал некоторое время назад, демонстрируя применение воздушного потока или магнита, или любого другого устройства, которое есть под рукой. Особенно хорошо применять магнит в преобразовании постоянных токов, поскольку он действует весьма эффективно. Если первичным источником энергии является генератор переменного тока, тогда частота должна быть низкой, чтобы сделать действие магнита более эффективным.

Скорость прерываний тока с помощью магнита зависит от мощности магнитного поля и разности потенциалов на концах дуги. Прерывания обычно так быстро следуют друг за другом, что издают мелодичный звук. Много лет назад было замечено, что, когда мощная индукционная катушка разряжается между полюсами мощного магнита,

разряд издает громкий звук, напоминающий пистолетный выстрел. Тогда несколько туманно говорили, что искра в присутствии магнитного поля усиливается. Теперь же ясно, что протекающий некоторое время разрядный ток множество раз прерывался магнитом, что и вызывало этот звук. Этот феномен проявляется особенно отчетливо, когда возбуждающая цепь большого магнита или динамо прерывается в мощном магнитном поле.

Когда сила тока, проходящего сквозь воздушный промежуток, сравнительно велика, имеет смысл надеть на концы разрядных стержней колпачки из очень твердого углерода и позволить дуге играть между ними. Это предохраняет стержни, а кроме того, воздушный промежуток имеет более высокую температуру, поскольку тепло через углерод рассеивается не так быстро, а в результате требуется меньшая ЭДС в искровом промежутке, чтобы поддерживать последовательность разрядов.

Воздух также можно сделать диэлектрически слабым с помощью разрежения. Разрядники такого типа использовались мною в сочетании с магнитом. Для этой цели изготавливается широкая трубка с тяжелыми электродами из углерода или металла, между которыми пропускается разряд; трубка помещается в мощное магнитное поле. Из трубы откачивается воздух до той стадии, когда разряд может легко пробиться, но давление должно быть больше чем 75 мм, при которых возникает обычный нитевидный разряд. В еще одной форме разрядника, сочетающей уже упомянутые черты, разряд должен был проходить между двумя подвижными полюсными выступами магнита, а воздушное пространство между ними подогревалось.

Здесь следует заметить, что когда применяются такие или иного рода прерывающие устройства и токи проходят сквозь первичную обмотку катушки пробойного разряда, то, как правило, не стоит делать количество прерываний тока в секунду большим, чем естественная частота колебаний в питająщей цепи динамо, которая, как правило, невелика. Следует также указать, что в то время, как упомянутые в связи с пробойным разрядом устройства выгод-

но использовать при определенных условиях, иногда они могут быть источником неприятностей, поскольку вызывают прерывания и другие нарушения колебаний, которые было бы весьма желательно преодолеть [в некоторых случаях].

Увы, вынужден сказать, что в этом прекрасном методе преобразования есть один дефект, к счастью не фатальный, с которым мне постепенно удалось совладать. Мне будет легче всего продемонстрировать этот дефект и указать плодотворное направление работы путем сравнения электрического процесса с его механическим аналогом. Это можно сделать следующим образом. Представьте себе бак с широким отверстием в днище, которое удерживается закрытым с помощью пружинной задвижки и резко распахивается, когда жидкость в баке достигает определенного уровня. Пусть жидкость поступает в бак по трубе с определенной скоростью. Когда достигнут критический уровень жидкости, пружина подается и дно бака открывается. Жидкость резко устремляется сквозь широкое отверстие, и пружина, становясь на место, вновь захлопывает днище. Теперь бак наполняется, и через определенный промежуток времени весь процесс повторяется. Ясно, что если труба подает жидкость быстрее, чем донный клапан способен ее выпускать, дно постоянно будеткрыто, а бак все равно переполнится. Если скорости подачи и вытекания совершенно равны, тогда донный клапан будет постоянно приоткрыт и не будет происходить никаких колебаний — ни самого клапана, ни столба жидкости, хотя их можно вызвать с помощью некоторых средств. Но если питающая труба подает жидкость со скоростью меньшей, чем у выпускного клапана, тогда колебания будут постоянными. Опять-таки, в данном случае всякий раз, как донный клапан захлопывается или открывается, если эластичность пружины и инерция движущихся частей были подобраны правильно, пружина и столб жидкости будут совершать независимые колебания. В этой аналогии жидкость может быть уподоблена электричеству или электрической энергии, бак — конденсатору, пружина — диэлектрику, а тру-

ба — проводнику, по которому электричество подается на конденсатор. Чтобы сделать эту аналогию совсем полной, необходимо принять допущение, что всякий раз, как дно распахивается, оно с большой силой ударяется о негибкий стопор, и это столкновение вызывает некоторую потерю энергии, а кроме того, некоторое рассеяние энергии происходит за счет фрикционных потерь. В предыдущей аналогии предполагается, что жидкость находится под постоянным давлением. Если мы примем как данность, что присутствие в баке жидкости ритмически варьируется, тогда получается соответствие с переменным током. Тогда процесс не так легко рассчитать, но принцип действия остается тем же.

С целью поддерживать колебания экономичным способом желательно уменьшить ударные и фрикционные потери, насколько возможно. Что касается последних, которые в электрическом аналоге соответствуют потерям сопротивления в цепях, то полностью исключить их невозможно, зато можно свести к минимуму путем верного подбора размеров цепей и применения тонких проводников в форме крученых кабелей. Но гораздо важнее преодолеть потери энергии, вызванные первым пробоем через диэлектрик, что в механическом аналоге соответствует сильному удару донного клапана о негибкий стопор. В момент пробоя воздушный промежуток обладает очень высоким сопротивлением, которое, возможно, уменьшается до очень небольшого значения, когда ток набирает силу и воздух нагревается до высокой температуры. Если бы в воздушном промежутке постоянно поддерживалась крайне высокая температура, это существенно сократило бы потери энергии, но тогда не получалось бы пробойного разряда. Умеренно нагревая воздух посредством лампы или другим способом, можно ощутимо увеличить экономию в той части процесса, которая включает образование дуги. Но применение магнита или другого прерывающего устройства не уменьшает потери в дуге. Точно так же и поток воздуха лишь облегчает рассеивание энергии. В этом отношении любопытно поведение воздуха и газа вообще.

Когда два предмета заряжены до очень высокого потенциала, при пробойном разряде сквозь воздушный промежуток в воздухе может теряться какое угодно количество энергии. Эта энергия, очевидно, рассеивается благодаря материальным носителям — в столкновениях и взаимовлиянии молекул друг на друга. Обмен молекул в пространстве происходит с невообразимой скоростью. При мощном разряде, происходящем между двумя электродами, они могут оставаться совершенно холодными, и все же в воздушных потерях будет рассеиваться почти любое количество энергии. При очень большой разнице потенциалов в воздушном промежутке вполне возможно потерять в разрядной дуге несколько лошадиных сил, не отметив ни малейшего повышения температуры электродов. Значит, практически все потери за счет трения происходят в воздухе. Если предотвратить обмен молекул в воздухе, например с помощью герметического укупоривания, то газ внутри сосуда быстро нагревается до высокой температуры, даже при очень небольшом разряде. Трудно оценить, сколько энергии теряется при мощном разряде в звуковых волнах, как слышимых, так и неразличимых для слуха. Когда сила тока, проходящего через искровой промежуток, велика, электроды могут быстро нагреться, но это нельзя считать надежным показателем потеряянной в дуге энергии, поскольку потери непосредственно в самом промежутке могут быть сравнительно малы. Воздух или газ вообще, по крайней мере при обычном давлении, — не лучшая среда для прохождения пробойного разряда. Воздух или другой газ под большим давлением, разумеется, подходит для такого разряда больше. Я долго проводил эксперименты в этой области, к сожалению, сложно осуществимые на практике из-за трудностей и больших денежных затрат, связанных с получением сжатого воздуха под большим давлением. Но даже если среда в разрядном промежутке будет плотной или жидкой, все же имеют место те же самые потери, хотя обычно меньшие, ибо как только устанавливается дуга, твердое тело или жидкость начинают испаряться. Нет ни одного известного вещества, которое

не разрушалось бы дугой, и для ученых пока открытым является вопрос, может ли вообще возникать дуга в воздухе без сопутствующего отрыва частиц от электродов. Когда сила тока в промежутке очень мала, а дуга очень длинна, полагаю, сравнительно большое количество тепла уходит на разрушение электродов, которые могут оставаться довольно холодными отчасти по этой причине.

Идеальная среда для искрового промежутка должна просто *разрываться*, а идеальный электрод должен быть из такого материала, который не может быть расщеплен. При слабых разрядных токах лучше всего использовать алюминий, но только не тогда, когда сила тока велика. Пробойный разряд в воздухе или любой другой обычной среде похож не на разрыв, а скорее на пробивание бесчисленным количеством пуль массы, оказывающей движению пуль огромное сопротивление за счет трения, из чего следуют значительные потери энергии. Среда, которая просто разорвалась бы при электростатическом напряжении — а это, возможно, случай полного вакуума, то есть чистого эфира, — вызывала бы крайне малые потери в искровом промежутке, настолько малые, что они почти не имели бы значения, по крайней мере теоретически, потому что разрыв может происходить при бесконечно малом смещении. С величайшей тщательностью откачивав воздух из продолговатой колбы с двумя алюминиевыми электродами, я сумел получить такой вакуум, что вторичный разряд катушки пробойного разряда возникал в колбе в виде красивых потоков искр. Любопытным моментом оказалось то, что разряд полностью игнорировал электроды и начинался далеко за их двумя алюминиевыми пластинками. Такой чрезвычайно высокий вакуум можно было поддерживать лишь очень недолгое время.

Вернемся к идеальной среде. В качестве иллюстрации представьте себе такой пример: кусок стекла или похожего вещества зажат в тиски, и они сжимаются все больше и больше. В определенный момент минимальное дополнительное повышение давления заставит стекло треснуть. Потеря энергии, участвующей в растрескивании стекла,

может быть практически ничтожной, поскольку хотя сила и велика, зато смещение крайне незначительно. А теперь представьте, что стекло обладало бы способностью полностью заращивать трещину в момент малейшего ослабления давления. Так должен вести себя диэлектрик в искровом промежутке. Но так как некоторые потери в промежутке всегда присутствуют, среда, будучи непрерывной, должна производить обмен в промежутке с огромной скоростью. В предыдущем примере, когда стекло было герметичным, это означало бы, что диэлектрик в разрядном промежутке обладает сильными изолирующими свойствами. Если бы стекло треснуло, это означало бы, что среда в промежутке — хороший проводник. Сопротивление диэлектрика должно изменяться в очень широких пределах при малейших изменениях ЭДС в разрядном промежутке. Это условие достижимо, хотя и крайне несовершенным образом, путем нагревания воздушного промежутка до определенной критической температуры, зависящей от ЭДС в промежутке, или ослабления изолирующих свойств воздуха каким-либо иным способом. Но, между прочим, воздух вообще никогда не пробивается *пробоем* в строгом смысле слова, поскольку перед резким скачком тока всегда бывает предшествующий слабый поток, нарастающий сперва постепенно, и только потом — сравнительно резко. Вот причина того, почему скорость колебаний намного больше, когда, например, пробивается стекло, чем когда пробой происходит через воздушный промежуток с эквивалентными диэлектрическими качествами. Поэтому в качестве среды для разрядного промежутка было бы предпочтительнее твердое или жидкое вещество. Довольно трудно было бы представить себе плотное тело, обладающее способностью мгновенно заращивать трещину после того, как она появилась. Но жидкость, особенно под большим давлением, ведет себя практически как плотное вещество, в то же время обладая способностью заращивать разрывы. Отсюда и мысль о том, что жидкий изолятор мог бы быть более подходящим диэлектриком, чем воздух. Следуя этой мысли, я экспериментировал с рядом различных форм раз-

рядников, в которых применялись разнообразные подобные изоляторы, иногда под большим давлением. Думаю, достаточно будет посвятить несколько слов одной из форм разрядника, с которыми проводились эксперименты.

Полый металлический шкив был укреплен на валу, который с помощью подходящего устройства вращался со значительной скоростью. Внутри шкива, но не соприкасаясь с ним, был установлен на опоре тонкий диск (который на рисунке изображен толстым для наглядности) из твердой резины, в который были вделаны два металлических сегмента *ss* с металлическими выступами, куда были вмонтированы проводящие электроды *tt*, покрытые толстыми трубками из твердой резины. Резиновый диск *b* с его металлическими сегментами *ss* был отшлифован на токарном станке, и вся его поверхность отполирована так, чтобы он оказывал наименьшее фрикционное сопротивление при движении сквозь жидкость. В полость шкива заливается изолирующая жидкость, например масло, так чтобы она почти достигала отверстия, оставленного во фланце *f*, который плотно прикручен к передней стороне шкива. Электроды *tt* были соединены с противоположными обкладками батареи конденсатора, чтобы разряд проходил через жидкость. Когда шкив вращался, жидкость плотно прилегала к ободу шкива, и в результате ее давление становилось значительным. Таким нехитрым способом разрядный промежуток заполнялся средой, которая вела себя практически как твердое вещество, в то же время обладала способностью мгновенно затягиваться после прохождения разряда и, более того, циркулировала в промежутке с огромной скоростью. С помощью разрядников такого рода с жидкостными прерывателями, целый ряд разных форм которых я изготовил, удалось получить очень мощные эффекты. Оказалось, как я и ожидал, что таким образом можно получить более длинную искру при заданной длине провода, чем при использовании воздуха в качестве прерывателя. Как правило, в описанной форме разрядника скорость, а поэтому и давление жидкости были ограничены по причине жидкостного трения, но практически

достижимой скорости было более чем достаточно для образования количества разрядов, приемлемого для обычно используемых цепей. В таких примерах шкив P был снабжен изнутри несколькими выступами, и тогда произошло определенное число разрядов, которое можно было вычислить исходя из скорости вращения шкива. Также проводились эксперименты с жидкостями, обладавшими разными изолирующими способностями, с целью уменьшить потери в дуге. Когда изолирующая жидкость умеренно нагревается, потери в дуге уменьшаются.

В ходе экспериментов с разнообразными разрядами такого рода был отмечен важный момент. Выяснилось, например, что в то время, как подобранные условия были благоприятны для образования искры большой длины, полученный таким образом ток не особенно подходил для производства световых эффектов. Опыт неопровергимо доказывает, что для этой цели лучше всего подходит гармоническое нарастание и спад напряжения. Будь то накаливание твердого тела, или фосфоресценция, или передача энергии посредством обкладки конденсатора сквозь стекло, совершенно ясно, что гармонически нарастающий и ослабевающий потенциал оказывает меньшее разрушительное воздействие, а вакуум дольше остается стабильным. Это было бы легко объяснимо, имей мы полную уверенность в том, что процесс, происходящий в вакуумном сосуде, имеет электролитическую природу.

Рассмотрим вначале преобразование постоянного тока. Если ЭДС генератора достаточна для пробоя сквозь маленький воздушный промежуток, по крайней мере когда он нагрет или его изолирующие качества ослаблены иным способом, тогда нетрудно поддерживать колебания весьма экономно, разумно настроив емкость, самоиндукцию и сопротивление цепи. Магнит можно в таком случае удачно сочетать с воздушным промежутком. Цепь вместе с соединениями и устройствами должна быть таких размеров, чтобы подходит для поддержания колебаний. Но обычно ЭДС в цепи или в ее ответвлении будет составлять примерно 100 вольт или около того, а в данном случае это-

го недостаточно для пробоя промежутка. Чтобы поправить дело, можно применить многие различные средства, повышающие ЭДС в промежутке. Возможно, простейшее из них — применить большую самоиндукционную катушку в последовательном соединении с основной цепью. Когда дуга устанавливается, например, с помощью разрядника, магнит прерывает дугу в то же мгновение, как она формируется. Теперь, когда дополнительный разрядный ток с высокой ЭДС пробивает через промежуток, вновь образуя путь низкого сопротивления для тока от динамо, происходит резкий скачок тока от динамо после ослабления или затухания дополнительного тока. Этот процесс повторяется в быстрой последовательности, и таким образом мне удавалось поддерживать колебания при ЭДС в 50 вольт через промежуток, и даже меньше. Но преобразование такого плана я бы не стал рекомендовать по причине слишком большой силы тока, идущего через промежуток, и вызываемого в результате нагрева электродов. Кроме того, получаемые подобным образом частоты очень низки из-за высокой самоиндукции, являющейся неотъемлемым свойством такой цепи. Очень желательно иметь настолько высокую ЭДС, насколько возможно: во-первых, с целью усилить экономичность преобразования, а во-вторых, чтобы получить высокие частоты. Разность потенциалов в этих электрических колебаниях, разумеется, является эквивалентом силы натяжения в механических колебаниях пружины. Чтобы получить очень быстрые колебания в цепи, обладающей некоторой инерцией, необходима большая сила натяжения или разность потенциалов. Кстати, когда ЭДС очень велика, конденсатор, который обычно применяется в соединении с цепью, может иметь совсем небольшую емкость, не говоря уже о других получаемых преимуществах. С целью повысить ЭДС до значения во много раз большего, чем можно получить от обычных распределительных цепей, применяется вращающийся трансформатор.

Также можно использовать отдельную машину высокого напряжения, приводимую в действие посредством

двигателя, питаемого от генератора. Последняя схема, на самом деле, предпочтительнее, поскольку в нее легче вносить изменения. В этих экспериментах обычно применялась регулируемая самоиндукционная катушка в последовательном соединении с цепью. Когда напряжение тока очень высокое, то магнит, обыкновенно используемый в сочетании с разрядником, должен быть сравнительно небольшой мощности, поскольку довольно легко отрегулировать размеры цепи таким образом, чтобы поддерживать колебания. Применение постоянной ЭДС в высокочастотном преобразовании обеспечивает некоторые преимущества перед применением переменной ЭДС, поскольку настройка в таком случае намного проще, а ход процесса легче контролировать. Но, к сожалению, тогда экспериментатор ограничен в работе доступной разностью потенциалов. Обмотка также легко пробивается вследствие появления искр, которые формируются между секциями якоря или коллектора, когда имеют место сильные колебания. Кроме того, конструировать такие трансформаторы дорого.

Опытным путем я выяснил, что лучше всего придерживаться схемы, в которой вращающийся трансформатор применяется для преобразования постоянных токов низкого напряжения в низкочастотные переменные токи, предпочтительно также низкого напряжения. Затем напряжение тока повышается в стационарном трансформаторе. Вторичная обмотка трансформатора соединена с подвижным конденсатором, который разряжается через промежуток или разрядник, размещенный любым из двух указанных способов, в первичную обмотку катушки пробойного разряда. Высокочастотный ток снимается с вторичной обмотки этой катушки, как описано в предыдущих случаях. Это, несомненно, самый дешевый и наиболее удобный способ преобразования постоянного тока.

Три ответвления цепи представляют обычные случаи, встречающиеся в практике преобразования переменных токов. Конденсатор, обычно большой емкости, соединен с цепью, содержащей устройства, которые должны обла-

дать высокой самоиндукцией, чтобы уравнивать в большей или меньшей степени частоту цепи и частоту динамо. В данном примере лучше всего, чтобы выдаваемое разрядником количество прерываний в секунду вдвое превышало частоту динамо. Если это не так, тогда это количество должно быть по крайней мере кратным или равным частоте динамо. Преобразование с повышением потенциала также происходит, когда разрядник отсутствует. Но эффекты, вызываемые токами, резко возрастающими до высоких значений, как при пробойном разряде, кардинально отличаются от тех, которые производит гармонически нарастающий и ослабевающий ток динамо-машины. Так, например, в каком-либо определенном случае разрядник может выдавать удвоенное по отношению к частоте динамо количество прерываний в секунду, или, другими словами, может наблюдаться то же число основных колебаний, которое получалось бы без разрядного промежутка, и даже могут отсутствовать более быстрые наложенные колебания. Однако разность потенциалов в разных точках цепи, сопротивление и прочие феномены, зависящие от скорости изменений, будут совершенно различными в этих двух случаях. **Так, при работе с токами, разряжающимися пробоем, элемент, с которым главным образом приходится считаться, — это не частота, как мог бы подумать начинающий ученый, но скорость изменений за единицу времени.** При низких частотах могут быть получены в определенной степени те же эффекты, что и при высоких частотах, при условии, что скорость перемен будет достаточно велика. Так что если потенциал низкочастотного тока повышается, скажем, до 75000 вольт и ток высокого напряжения пропускается сквозь ряд нитей накаливания, обладающих высоким сопротивлением, то важность присутствия разреженного газа вокруг нитей становится явно заметной, как мы увидим позже. Или если низкочастотный ток в несколько тысяч ампер пропускается сквозь металлический прут, то наблюдаются поразительные феномены сопротивления, такие же, как при токах высокой частоты. Но, разумеется, очевидно, что при низкочастотных токах не-

возможно получить такую скорость изменений в единицу времени, как при высоких частотах, поэтому вызванные высокочастотным током эффекты будут гораздо более заметными. Я счел уместным сделать предыдущие замечания, поскольку многие недавно описанные эффекты невольно ассоциировались с высокими частотами. На самом деле, частота сама по себе ничего не значит, кроме тех случаев, когда речь идет о спокойных гармонических колебаниях.

Некоторые из этих результатов были получены с применением генератора переменного тока высокой частоты. Описание таких машин можно найти в записи моей лекции в Американском институте инженеров-электриков и в периодических изданиях того времени, в частности в журнале «The Electrical Engineer» от 18 марта 1891 года.

А теперь я перейду к экспериментам.

О ЯВЛЕНИЯХ, ВЫЗЫВАЕМЫХ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЙ СИЛОЙ

Первая группа эффектов, которые я намерен вам продемонстрировать, — **эффекты, вызываемые электростатической силой**. Это сила, которая управляет движениями атомов, которая заставляет их сталкиваться и вырабатывать поддерживающую жизнь энергию тепла и света, которая заставляет их соединяться бесчисленными разнообразными способами в соответствии с прихотливыми замыслами Природы и формировать все те чудесные структуры и формы, которые мы видим вокруг себя. На самом деле, если наши теперешние взгляды верны, то это — самая важная природная сила, с которой нам приходится считаться. Поскольку термин «электростатический» может подразумевать устойчивое электрическое состояние, следует отметить, что в данных экспериментах эта сила не является постоянной, но изменяется со скоростью, которую можно считать умеренной, — примерно около миллиона раз в секунду. Это дает мне возможность вызывать

множество эффектов, которые невозможно получить при помощи неизменной силы.

Когда два проводящих тела изолированы и наэлектризованы, мы говорим, что между ними действует электростатическая сила. Эта сила проявляется в притяжении, отталкивании и напряжении в телах и пространстве или окружающей среде. Напряжение, возникающее в воздухе или любой среде, разделяющей два проводящих тела, может быть столь велико, что среда пробивается, и тогда мы наблюдаем искры или пучки света, или так называемые стримеры. Эти потоки, или стримеры, в изобилии образуются, когда действующая в воздухе сила быстро изменяется. Я продемонстрирую это действие электростатической силы в новом эксперименте, где буду пользоваться индукционной катушкой, о которой уже шла речь. Эта катушка помещается в заполненной маслом кювете, стоящей под столом. Два конца провода вторичной обмотки проходят сквозь два толстых столбика из твердой резины, несколько выступающих над столешницей. Концы или клеммы вторичной обмотки необходимо как следует заизолировать твердой резиной, поскольку даже сухое дерево является слишком слабым изолятором для таких токов с колоссальной разностью потенциалов. К одной из клемм катушки я прикрепляю большой шар из листовой латуни, который соединен с большей по площади поверхности изолированной латунной пластиной, чтобы обеспечить, как вы сами увидите, наиболее подходящие для этого эксперимента условия. Теперь яключаю катушку и приближаюсь к свободной клемме с металлическим предметом, зажатым в руке, — это нужно просто для того, чтобы избежать ожогов. Когда я подношу металлический предмет на расстояние 8—10 дюймов, поток ярких искр вырывается из конца провода вторичной обмотки, проходящего сквозь резиновый столбик. Искрение прекращается, когда металлический предмет в руке касается провода. Через мою руку сейчас проходит мощный электрический ток, колеблющийся со скоростью около одного миллиона раз в секунду. Повсюду вокруг меня чувствуется воздей-

тиве электростатической силы, молекулы воздуха и частицы пыли, летающие вокруг, испытывают это воздействие и яростно сталкиваются с моим телом. Возбуждение частиц столь велико, что, когда гаснет свет, вы видите, как на некоторых частях моего тела возникают потоки слабого света. Когда такой стример образуется на теле, он рождает ощущение покалывания, как будто от прикосновения иголки. Будь потенциалы достаточно высоки, а частота колебаний довольно низкой, кожа, возможно, прорвалась бы под чудовищным напряжением, и кровь устремилась бы наружу с огромной силой в форме мельчайших брызг или струи, настолько тонкой, что она была бы невидима, точно так же, как масло, если его поместить на положительную клемму машины Хольтца. Хотя такой разрыв кожи и кажется поначалу невозможным, он мог бы произойти, поскольку подкожные ткани обладают несравненно лучшей проводимостью. По крайней мере, если судить по некоторым наблюдениям, это кажется вполне правдоподобным результатом.

Я могу сделать эти световые потоки видимыми для всех, касаясь металлическим предметом одной из клемм, как и прежде, и поднеся свободную руку к латунному шару, который соединен со второй клеммой катушки. При приближении руки воздух между нею и шаром и в непосредственной близости от обоих возбуждается сильнее, и вы теперь видите, как световые потоки вырываются из кончиков моих пальцев и со всей поверхности ладони. Если бы я поднес руку ближе, мощные искры перескочили бы с латунного шара на мою руку, что могло бы нанести повреждения. Сами стримеры не причиняют особых неудобств, кроме того, что в кончиках пальцев чувствуется жжение. Не следует путать их с теми потоками, которые вырабатываются электрофорной машиной, потому что их поведение во многом различается. Я присоединил латунный шар и пластину к одной из клемм, чтобы предотвратить образование на ней видимых стримеров, а также исключить соскаивание искр на значительном расстоянии.

Кроме того, это соединение благотворно влияет на работу катушки.

Потоки света, которые, как вы видели, струились из моей руки, вызваны потенциалом примерно в 200000 вольт, колеблющимся с довольно неравномерными интервалами с частотой примерно в миллион колебаний в секунду. Вибрации той же амплитуды, но в четыре раза более быстрой, для поддержания которой требуется потенциал выше 3000000 вольт, было бы достаточно, чтобы целиком обернуть мое тело сплошным полотном пламени. Но это пламя не сожгло бы меня; совсем напротив, велика вероятность того, что я не получил бы ни малейших повреждений. Однако одной сотой доли этой энергии, но направленной иначе, было бы вполне достаточно, чтобы убить человека.

Количество энергии, которое можно таким образом пропустить сквозь человеческое тело, зависит от частоты и потенциала тока, и если поднять и то, и другое до очень большого значения, то можно пропустить огромное количество энергии сквозь тело, не причинив ни малейшего дискомфорта ни одной его части, кроме, пожалуй, руки, через которую проходит настоящий проводниковый ток. Причина того, что никакой боли в теле не ощущается и нет никаких заметных вредоносных эффектов, заключается в том, что если представить ток проходящим сквозь тело, то во всех его частях направление протекания тока перпендикулярно поверхности; поэтому тело экспериментатора представляет для тока проводник с большой площадью сечения, и плотность этого проводника очень мала, за исключением руки, где она может быть значительной. Но если бы даже малая доля этой энергии была приложена таким образом, что ток проходил бы сквозь тело так же, как это делает низкочастотный ток, то можно было бы получить смертельный удар. **Постоянный ток или переменный ток низкой частоты является смертельно опасным, полагаю, в основном потому, что его распределение в теле неравномерно.** Он может разделяться на небольшие ручейки исключительной плотности, вследствие чего отде-

льные органы могут получить несовместимые с жизнью повреждения. В том, что так оно и происходит, у меня нет ни малейших сомнений, хотя на этот счет не существует никаких видимых доказательств или экспериментальных подтверждений. Вернее всего ранит и убивает постоянный ток, но наиболее болезненные повреждения наносит переменный ток низкой частоты. То, что я высказываю эти взгляды, являющиеся плодом долгих экспериментов и наблюдений как над постоянными, так и над переменными токами, вызвано усилившимся в настоящее время интересом к данной теме и отчетливо ошибочными представлениями, которые постоянно пропагандируются в журналах, посвященных этому вопросу.

Я могу продемонстрировать действие электростатической силы с помощью другого поразительного эксперимента, но прежде я должен попросить вас обратить внимание еще на несколько фактов. Я прежде уже говорил о том, что когда среда между двумя имеющими противоположный электрический заряд телами подвергается напряжению, превышающему определенный предел, она не выдерживает, и, если использовать популярные выражения, противоположные электрические заряды соединяются и нейтрализуют друг друга. Этот пробой среды происходит в основном тогда, когда сила, действующая между двумя телами, носит постоянный характер или варьируется с умеренной скоростью. Будь эти изменения достаточно быстрыми, такой разрушительный пробой не произошел бы, вне зависимости от величины силы, поскольку вся энергия израсходовалась бы на излучение, конвекцию, механическое и химическое действие. Так что длина искры или наибольшее расстояние, через которое между наэлектризованными телами может проскочить искра, бывает тем меньше, чем больше отклонение или скорость изменения заряда. Но это правило верно только в общем, при сравнении сильно различающихся скоростей.

Я покажу вам на опыте разницу между эффектом, производимым быстро меняющейся и постоянной или умеренно быстро меняющейся силой. Здесь у меня есть две

свернутые в цилиндры латунные пластины, укрепленные на подвижных изолированных опорах, стоящих на столе, соединенные с концами вторичной обмотки катушки, похожей на ту, что использовалась прежде. Я размещаю пластины на расстоянии в десять-двенадцать дюймов друг от друга и включаю катушку. Вы видите, как все пространство между пластинами, а это почти два кубических фута, равномерно наполняется светом. Этот свет — результат появления стримеров, которые вы наблюдали в первом эксперименте, только они в настоящий момент гораздо более интенсивны. Я уже указывал на важность таких стримеров в промышленных аппаратах и еще большую их важность в некоторых чисто научных исследованиях. Часто они бывают слишком слабыми, чтобы их увидеть, но они присутствуют всегда, поглощая энергию и влияя на работу аппарата. Когда стримеры сильны, как сейчас, они в большом количестве вырабатывают озон, а также, как указал профессор Крукс, азотистую кислоту. Химическая реакция происходит настолько быстро, что, если катушка, такая как эта, будет работать долгое время, она сделает атмосферу в небольшой комнате непереносимой из-за вредного воздействия на глаза и горло. Но производимые в умеренном количестве стримеры чудесно освещают воздух, подобно грозе, и производят несомненный благотворный эффект.

В данном эксперименте сила, действующая между пластинами, меняется по интенсивности и направлению с очень большой скоростью. Теперь я сделаю скорость изменений в единицу времени намного меньшей. Этого я добиваюсь, сократив частоту разрядов сквозь первичную обмотку индукционной катушки, а также уменьшив скорость колебаний во вторичной обмотке. Первый результат можно обеспечить, понизив ЭДС в воздушном промежутке первичной цепи, а второй — сблизив латунные пластины на расстояние в 3—4 дюйма. Когда катушка включается, вы не видите никаких стримеров или света между пластинами, однако среда между ними находится под огромным напряжением. Я еще больше увеличиваю

это напряжение, усилив ЭДС в первичной цепи, и вскоре вы видите, как воздух пробивается и зал освещается дождем ярких и шумных искр. Такие вспышки также могут быть вызваны с помощью постоянной силы; этот феномен знаком нам уже в течение многих лет, хотя обычно его получали с помощью совершенно иных аппаратов. Описывая эти два столь различные на вид феномена, я намеренно говорил о «силе», действующей между пластинами. В соответствии с общепринятыми взглядами можно было бы сказать «переменная ЭДС». Это вполне подходящий термин, применимый ко всем случаям, когда есть доказательства хотя бы возможности существенной взаимозависимости между электрическим состоянием пластин или электрическим воздействием соседствующей с ними среды. Но если бы пластины были удалены на бесконечное или даже на конечное значительное расстояние, то для такой зависимости нет ни оснований, ни возможностей. Я предпочитаю использовать термин «электростатическая сила» и говорить, что такая сила действует вокруг *каждой* пластины и вообще любого наэлектризованного изолированного тела. Использовать этот термин несколько неудобно, поскольку он применяется для обозначения статичного электрического состояния, но правильная терминология со временем разрешит эту трудность.

Теперь вернемся к эксперименту, на который я уже ссылался и с помощью которого хочу теперь проиллюстрировать поразительный эффект, производимый быстропеременной электростатической силой. Я прикрепляю к концу провода, который соединен с одной из клемм вторичной обмотки индукционной катушки, вакуумную колбу. В этой колбе находится тонкая углеродная нить накаливания, прикрепленная к платиновому проводу, запаянному в стекло и ведущему наружу колбы, где он соединяется с первым проводом. Воздух из колбы можно откачать до любой степени, возможной с применением обычного аппарата. Всего несколько мгновений назад вы наблюдали пробой воздуха между заряженными латунными пластинами. Вы знаете, что пластина из стекла или

любого другого изолирующего материала пробивалась бы точно так же. Поэтому если бы я прикрепил снаружи колбы металлическую обкладку или поместил ее рядом и будь эта обкладка соединена с другой клеммой катушки, вы были бы готовы увидеть, как пробивается стекло, если существенно повысить напряжение. Даже если бы обкладка была соединена не с другой клеммой, а с изолированной пластиной, то все же если вы внимательно следили за предыдущими событиями, то, естественно, ожидали бы расстрескивания стекла.

Но вы определенно удивитесь, когда заметите, что под действием переменной электростатической силы стекло пробивается и тогда, когда все прочие предметы удалены от лампы. На самом деле, все окружающие предметы, которые мы видим, могут быть удалены на бесконечное расстояние, и это никоим образом не повлияет на результат. Когда катушка включается, стекло неизменно трескается в месте запаивания или в любом другом узком месте, и вакуум быстро нарушается. Такой вредоносный пробой не возник бы при действии неизменной силы, даже если она была бы во много раз больше. Пробой происходит в результате возбуждения молекул воздуха внутри колбы и снаружи ее. Это возбуждение, которое обычно сильнее всего в узком и еще более сужающемся канале возле перемычки, ведет к нагреву и растрескиванию стекла. Растрескивания, однако, не случилось бы даже при переменной силе, если бы среда, заполняющая колбу изнутри и окружающая ее снаружи, была совершенно однородной. Пробой происходит гораздо быстрее, если верхушка колбы вытянута в тонкий хвостик. Поэтому в работе с этими катушками следует избегать применения ламп, имеющих такие узкие заостренные каналы.

Когда проводящее тело погружено в воздушную или другую подобную изолирующую среду, состоящую из мелких свободно движущихся частиц, способных электризоваться, или содержащую их во множестве, и когда электризация тела изменяется с очень высокой скоростью, что равнозначно тому, что электростатическая сила, действу-

ющая вокруг тела, изменяется по интенсивности — кро-
шечные частицы притягиваются и отталкиваются, и их
яростные столкновения с телом могут вызвать механи-
ческое движение последнего. На феномены такого рода
стоит обратить внимание, потому что они не отмечались
прежде, при использовании обычных аппаратов. Если
очень легкий проводящий шар подвесить на чрезвычайно
тонком проводе и зарядить до постоянного, пусть сколько
угодно высокого потенциала, шар будет оставаться в по-
кое. Даже если этот потенциал будет быстро варьировать-
ся, при условии, что мелкие частицы вещества, молекулы
или атомы, будут распределены равномерно, не будет про-
исходить никакого движения шара. Но если одну сторону
проводящего шара покрыть толстым слоем изолятора, то
столкновения частиц заставят шар двигаться, обычно по
неровным кривым. Таким же образом, как я упоминал
ранее, будет вращаться вертушка из листового металла,
частично покрытая изолирующим материалом и разме-
щенная на клемме катушки так, чтобы она могла свободно
поворачиваться.

Все те феномены, которые вы уже видели, и другие, ко-
торые будут продемонстрированы позже, являются следс-
твием присутствия среды, подобной воздуху, и не возник-
ли бы в непрерывной среде. Действие воздуха еще лучше
можно проиллюстрировать в следующем эксперименте.
Я беру стеклянную трубку *t* (рис. 1), имеющую примерно
дюйм в диаметре, в нижний конец которой запаян плати-
новый провод *w*. К проводу прикреплена тонкая ламповая
нить накаливания *f*. Я соединяю провод с клеммой катуш-
ки и включаю катушку. Теперь платиновый провод заря-
жается положительно и отрицательно в быстрой последо-
вательности, и сам провод и воздух внутри трубы быстро
нагреваются благодаря столкновениям частиц, которые
могут быть настолько интенсивными, что нить раскалится.
Но если я налью в трубку масло, то, как только оно пок-
роет провод, процесс явно прекратится и не будет никаких
выраженных свидетельств нагрева. Причина этого заклю-
чается в том, что масло — это практически непрерывная

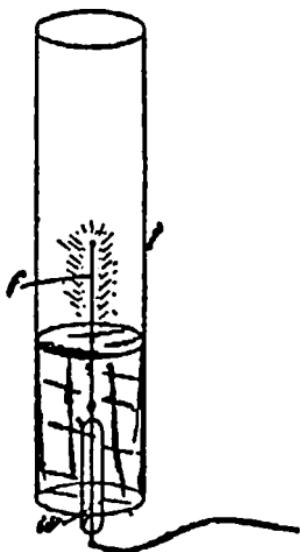


Рис. 1

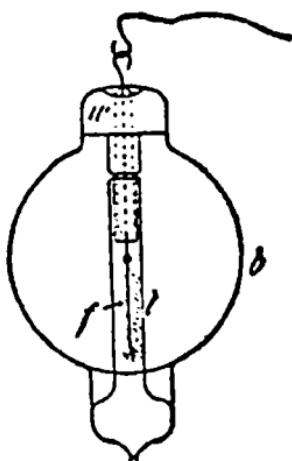


Рис.2

среда. Смещения в непрерывной среде при таких частотах, по всей видимости, несравненно меньше, чем в воздухе, поэтому работа в такой среде будет незначительной. Но масло вело бы себя совершенно иначе при во много раз более высоких частотах, потому что, даже несмотря на мизерность смещений, работа тогда была бы значительной.

Электростатическое притяжение и отталкивание между телами измеримых размеров — первые отмеченные среди всех проявлений этой силы так называемые электрические феномены. Но хотя они были знакомы нам в течение многих столетий, истинная природа механизма, участвующего в этих действиях, нам до сих пор неизвестна и пока даже не была удовлетворительно объяснена. К какому же типу относится этот механизм? Мы не можем не удивляться, когда видим, как два магнита притягивают и отталкивают друг друга с силой в сотни фунтов, когда между ними, кажется, ничего нет. В наших промышленных динамо-машинах мы применяем магниты, способные поднять в воздух тонны веса. Но что такое даже эти, действующие между магнитами силы, по сравнению с чудовищным при-

тяжением и отталкиванием, вызываемым электростатической силой, величине которой, по-видимому, не может быть предела! При попадании разряда молнии тела часто заряжаются до такого высокого потенциала, что их отбрасывает прочь с невообразимой силой и разрывает в клочья или они рассыпаются на куски. И все же даже эти эффекты не могут сравниться с притяжением и отталкиванием, которые существуют между заряженными молекулами или атомами и которых достаточно, чтобы отбрасывать их со скоростью во много километров в секунду, так что под их неистовым воздействием тела раскаляются добела и испаряются. Особенно интересно для мыслителя, который пытается проникнуть в природу таких сил, отметить, что, в то время как взаимодействия между отдельными молекулами и атомами происходят, по-видимому, при любых условиях, притяжение и отталкивание тел измеримых размеров подразумевают наличие среды, обладающей изолирующими свойствами. Так что если воздух либо путем разрежения, либо путем подогрева сделать более или менее проводящим, такое взаимодействие между двумя телами практически прекратится, в то время как взаимодействия между отдельными атомами продолжают проявляться.

В качестве иллюстрации и средства показа других интересных черт подойдет один эксперимент. Некоторое время назад я демонстрировал, как нить накаливания, помещенная в колбу лампы и соединенная с одной из клемм вторичной обмотки катушки высокого напряжения, вращается, причем верхушка нити обычно описывает круги. Эти колебания могут быть весьма энергичными, когда воздух в колбе находится под обычным давлением, и становятся менее энергичными, если воздух в колбе сильно сжат. Когда воздух разрежен настолько, что становится сравнительно хорошим проводником, вращение совершенно прекращается. В то время я обнаружил, что при очень сильной разреженности воздуха никаких колебаний вообще не происходит. Но я предположил, что эти колебания, которые я приписывал электростатическому взаимодействию между стенками колбы и нитью накаливания,

должны происходить и при высоком вакууме. Чтобы проверить это предположение при наиболее благоприятных условиях, была сконструирована лампа, которая изображена на рис. 2. Она состояла из колбы *b*, в горловину которой был запаян платиновый провод *w*, поддерживающий тонкую нить накаливания *f*. В нижнюю часть колбы была впаяна трубка *t*, окружавшая нить. Воздух из колбы был удален настолько, насколько позволял использовавшийся аппарат.

Эта лампа оправдала мои ожидания, поскольку нить начала вращаться, когда был пущен ток, и сильно раскалилась. Я также наблюдал еще одну интересную черту, имеющую отношение к предыдущим замечаниям, а именно — после того как нить некоторое время прошла раскаленной, температура узкой трубки и внутреннего пространства колбы стала повышаться и, когда газ в трубке стал проводящим, электростатическое притяжение между стеклом и нитью стало очень слабым или прекратилось, и вращение нити закончилось. Когда нить остановилась, она стала светиться гораздо ярче. Возможно, это результат того, что она заняла положение в центре трубки, где молекулярная бомбардировка была наиболее интенсивной, а также отчасти того факта, что отдельные столкновения сделались более сильными, и никакая часть подаваемой энергии не преобразовывалась в механическое движение. Поскольку в соответствии с принятыми взглядами в данном эксперименте накаливание следует относить на счет столкновений частиц, молекул или атомов в нагретом пространстве, то следует считать с целью объяснить такое действие, что эти частицы ведут себя как независимые носители электрических зарядов, погруженные в изолирующую среду. Однако сила притяжения между стеклянной трубкой и нитью отсутствует, потому что пространство внутри трубки является в целом проводящим.

В связи с этим интересно отметить, что в то время, как притяжение между двумя наэлектризованными телами может прекратиться благодаря ослаблению изолирующих

свойств среды, в которую они погружены, отталкивание между ними может наблюдаться по-прежнему. Этому есть правдоподобное объяснение. Когда тела находятся на некотором расстоянии в плохо проводящей среде, такой, как слегка подогретый или разреженный воздух, и резко электризуются, а при этом им сообщаются противоположные заряды, то эти заряды более или менее уравниваются благодаря утечке через воздух. Но если тела заряжены одинаково, то для такого рассеивания возможностей меньше, поэтому наблюдаемое в таком случае отталкивание сильнее, чем притяжение. Кстати, профессор Крукс доказал, что действие отталкивания в газообразной среде усиливается благодаря молекулярной бомбардировке.

О ТОКЕ ИЛИ ФЕНОМЕНАХ ДИНАМИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРИЧЕСТВА

До сих пор я рассматривал в основном эффекты, вызываемые изменяющейся электростатической силой в изолирующей среде, такой как воздух. Когда такая сила действует на проводящее тело измеримых пропорций, она вызывает в теле или на его поверхности **электрические смещения** и порождает **электрические токи**, а они, в свою очередь, производят другой род феноменов, часть которых я вскоре попытаюсь продемонстрировать. В представлении этой второй группы электрических эффектов я буду оперировать в основном теми, которые можно получить без применения обратной цепи, надеясь тем более заинтересовать вас, что покажу эти феномены с более или менее новой стороны.

Вследствие ограниченного опыта изучения колеблющихся токов уже давно стало привычным делом рассматривать электрический ток как нечто циркулирующее по замкнутому проводящему пути. Поначалу осознание того, что ток может проходить по проводящему пути, даже если он нарушен, явилось настоящим потрясением; и еще более удивительным открытием стало то, что

порой бывает даже легче заставить ток проходить при таких условиях, чем по замкнутому пути. Но упомянутое устаревшее представление постепенно исчезает даже среди практиков и вскоре будет полностью предано забвению.

Если я соединю изолированную металлическую пластину с одной из клемм индукционной катушки посредством провода, то даже если эта пластина будет очень хорошо изолирована, сквозь провод будет проходить ток, когда катушка заработает. Для начала я хочу представить вам доказательства того, что ток *действительно* проходит по соединительному проводу. Очевидный способ сделать это — ввести между клеммой катушки и изолированной пластиной очень тонкий платиновый или мельхиоровый провод *w* и заставить его раскалиться или расплавиться под действием тока. Для этого требуется довольно большая пластина или, как вариант, импульсы тока высокого потенциала и частоты. Другой способ — взять катушку, содержащую множество витков тонкого изолированного провода, и включить ее в цепь, через которую ток идет к пластине. Когда я соединяю один из концов катушки с проводом, ведущим к другой изолированной пластине, а второй конец — с клеммой индукционной катушки и включаю ее, ток проходит через дополнительную катушку, и присутствие тока можно выявить разными путями. Например, я ввожу железный сердечник внутрь катушки. Поскольку этот ток характеризуется очень высокой частотой и при условии, что он обладает достаточной силой, он вскоре нагреет железный сердечник до заметно более высокой температуры, поскольку запаздывание фаз и потери тока при такой высокой частоте очень велики. Можно взять сердечник определенного размера, слоистый или цельный — это не имеет особого значения; обычная железная проволока сечением $1/16$ или $1/8$ дюйма вполне подойдет для этой цели. Когда индукционная катушка работает, ток проходит по дополнительной катушке, и всего нескольких мгновений достаточно, чтобы нагреть железную проволоку до температуры, достаточной,

чтобы размягчить сургуч *s* и заставить бумажную полоску, с его помощью приклеенную к железной проволоке, отвалиться.

Но с помощью такого аппарата, который я сейчас использую, можно провести много других, гораздо более интересных демонстраций того же рода. Вот у меня вторичная обмотка из толстой проволоки, намотанная на катушку, похожую на первую. В предшествующих экспериментах ток в катушке был очень слабым, но тем не менее благодаря большому количеству витков оказанное на железную проволоку тепловое воздействие было очень сильным. Если бы я пропустил этот ток через проводник, чтобы продемонстрировать нагрев последнего, сила тока могла бы оказаться слишком слабой, чтобы добиться желаемого эффекта. Но при наличии катушки, снабженной вторичной обмоткой, я могу преобразовать слабый ток высокого напряжения, который проходит через первичную обмотку, в мощный вторичный ток низкого напряжения, и этот ток совершенно точно сделает то, чего я ожидаю. В маленькую стеклянную трубку я поместил свернутый в змеевик платиновый провод. Такая форма нужна лишь для защиты провода. На каждом конце стеклянной трубы впаяна клемма из толстой проволоки, к клеммам присоединены концы платинового провода. Я соединяю с этими клеммами клеммы вторичной обмотки и ввожу первичную обмотку между изолированной пластиной и клеммой индукционной катушки, как и раньше. Как только индукционная катушка включается, платиновый провод немедленно раскаляется и может расплавиться, даже если он очень толстый.

Теперь вместо платинового провода я беру обычную 50-вольтовую лампу на 16 свечей. Когда я включаю индукционную катушку, ламповая нить накаливания сильно раскаляется. Однако нет необходимости использовать изолированную пластину, поскольку лампа раскаляется, даже если пластина будет отсоединена. Вторичная обмотка также может быть соединена с первичной, чтобы более

или менее избавиться от электростатической индукции или как-либо еще изменить ее действие.

Сейчас я хотел бы привлечь ваше внимание к ряду интересных наблюдений, сделанных благодаря этой лампе. Для начала я отсоединяю одну из клемм лампы от вторичной обмотки. Когда индукционная катушка работает, заметно свечение, наполняющее всю колбу. Это свечение — результат электростатической индукции. Оно нарастает при охвате лампы рукой, и емкость тела экспериментатора таким образом добавляется к вторичной цепи. В результате вторичная обмотка становится эквивалентна металлической обкладке, размещенной рядом с первичной обмоткой. Если бы вторичная обмотка или ее эквивалент — обкладка — была размещена симметрично первичной обмотке, электростатическая индукция при обычных условиях была бы равна нулю, то есть при использовании первичной обратной цепи обе половины нейтрализовали бы друг друга. Вторичная обмотка и в самом деле размещена симметрично первичной, но действие двух половин последней, когда только один из ее концов соединен с индукционной катушкой, не вполне одинаково; поэтому имеет место электростатическая индукция, и поэтому же происходит свечение в колбе. Я могу почти уравновесить действие обеих половин первичной обмотки, соединив другой, свободный ее конец с изолированной пластиной, как в предыдущем эксперименте. Когда я подсоединяю пластину, сияние исчезает. Будь пластина меньше размером, оно исчезло бы не полностью и тогда вносило бы свой вклад в яркость свечения нити накаливания, нагревая воздух в колбе, когда вторичная обмотка была бы замкнута.

Чтобы продемонстрировать еще одну интересную особенность, я настроил используемые катушки определенным образом. Сначала я соединяю обе клеммы лампы с вторичной обмоткой; один конец первичной обмотки соединен с клеммой индукционной катушки, а второй — с изолированной пластиной, как и раньше. Когда включается ток, лампа начинает ярко светиться. Если изолированная пластина отсоединенена, благодаря чему один конец

первичной обмотки оказывается изолированным, нить либо полностью темнеет, либо ее яркость уменьшается. Вновь подключая пластину и увеличивая частоту тока, я заставляю нить совсем потемнеть или оставаться едва красноватой. Я снова отсоединяю пластину. Разумеется, напрашивается предположение, что когда пластина отсоединенится, ток в первичной обмотке ослабеет, следовательно, ЭДС во вторичной обмотке с упадет, и яркость лампы уменьшится. Так действительно может случиться, и этот результат можно обеспечить простой подстройкой катушек, а также варьированием частоты и потенциала тока.

Но, возможно, гораздо интереснее то, что лампа светится ярче, когда пластина отсоединяется. В этом случае вся энергия, которую получает первичная обмотка, в ней же и остается, как заряд батареи — в морском подводном кабеле, но большая часть этой энергии возвращается через вторичную обмотку и используется на свечение лампы. Ток, проходящий через первичную обмотку, сильнее всего на конце, соединенном с клеммой индукционной катушки, и уменьшается в силе по направлению к дальнему концу. Но динамическое индуктивное воздействие, оказываемое на вторичную обмотку с, теперь больше, чем прежде, когда подвешенная пластина была соединена с первичной обмоткой. Тому может быть несколько причин. Например, когда пластина была подключена, катушка С могла отреагировать таким образом, что уменьшала потенциал на клемме индукционной катушки, и таким образом ослаблялся ток в первичной обмотке катушки. Или отсоединение пластины могло уменьшить эффект емкости в отношении первичной обмотки до такой степени, что ток в ней уменьшался, хотя потенциал на клемме индукционной катушки мог оставаться тем же или даже возрасти. Или такой результат был вызван изменением фазы первичного и вторичного токов и последовавшей реакции. Но главный определяющий фактор — это соотношение самоиндукции и емкости катушки и пластины и частоты токов. Большая яркость нити, однако, частично является следствием нагрева разреженного газа в лампе за

счет электростатической индукции, которая, как было замечено раньше, возрастает при отсоединении подвешенной пластины.

Вот еще одна интересная черта, которую я могу сейчас представить вашему вниманию. Когда изолированная пластина отсоединенна и вторичная обмотка катушки разомкнута, то приближением к вторичной обмотке небольшого предмета можно вызвать появление маленьких искорок, указывающее на то, что электростатическая индукция в данном случае очень мала. Но после замыкания вторичной обмотки на себя или через лампу, когда нить ярко светится, на вторичной обмотке происходит мощное искрение. Электростатическая индукция теперь намного сильнее, потому что замыкание вторичной обмотки вызывает сильный поток тока в первичной обмотке, и особенно сквозь ту ее половину, которая соединена с индукционной катушкой. Если теперь охватить лампу ладонью, емкость вторичной обмотки по отношению к первичной увеличивается за счет тела экспериментатора, и свечение нити усиливается. Сила накаливания теперь является частью следствием прохождения тока через нить, а частью — молекулярной бомбардировки со стороны разреженного газа в колбе.

Предыдущие опыты должны были подготовить нас к следующим интересным результатам, полученным в ходе этих исследований. Поскольку я могу пропустить ток через изолированный провод, просто подключив один из его концов к источнику электрической энергии; поскольку я могу при его помощи возбудить другой ток, намагнитить железный сердечник и, коротко говоря, выполнить все и любые операции так, как если бы я пользовался обратным проводом, то ясно, что я также могу запустить двигатель с помощью только одного провода. В предыдущей лекции я описывал простую форму двигателя, состоящего из одной катушки возбуждения, железного сердечника и диска. Учитывая современное состояние этой отрасли прикладной науки, я решил, что будет достаточно описать эти схемы всего в нескольких словах.

Первичная обмотка соединена одним концом с линейным проводом, идущим от клеммы трансформатора высокого напряжения. В индуктивном соединении с первичной обмоткой находится вторичная обмотка из толстой проволоки, в цепь которой включена катушка. Токи, индуцированные во вторичной обмотке, заряжают железный сердечник, который лучше всего, хотя и необязательно, сделать подразделенным, и заставляют вращаться металлический диск. Такой двигатель я бы назвал «магнитным инерционным двигателем», но это выражение может вызвать возражения у тех, кто приписывает вращение диска действию *вихревых* токов, циркулирующих по малым путям, когда сердечник по-настоящему разделен. Для того чтобы работа двигателя по указанному плану была эффективной, не следует применять слишком высокие частоты — не более 4—5 тысяч колебаний в секунду, хотя вращение происходит и при 10000 колебаний в секунду или даже более.

Возможна также конструкция двигателя с двумя возбуждающими цепями *A* и *B*. Цепь *A* соединена с линейным проводом, в последовательном соединении с ней находится первичная обмотка, свободный конец которой подключен к изолированной пластине. Вторая цепь двигателя соединена с вторичной обмоткой, которая находится в индуктивном соединении с первичной обмоткой. Когда через клемму трансформатора подается переменный ток, он проходит по незамкнутому линейному проводу, а также цепи *A* и первичной обмотке. Токи в первичной обмотке индуцируют вторичные токи в цепи, которые проходят сквозь возбуждающую обмотку *B* двигателя. Токи во вторичной обмотке и в первичной различаются по фазе на 90° или около того и способны вращать якорь, находящийся в индуктивном соединении с цепями *A* и *B*.

Похожий вариант двигателя — также с двумя возбуждающими цепями *A* и *B*. Первичная обмотка, соединенная одним концом с линейным проводом, имеет вторичную обмотку, которую желательно намотать так, чтобы она обеспечила достаточно большую ЭДС, и к которой присо-

единены две возбуждающие цепи двигателя: одна — прямо к концам вторичной обмотки, а вторая — через конденсатор, под действием которого токи, проходящие через цепи *A* и *B*, становятся разными по фазе.

Существует и еще одна возможность соединения. В этом случае две первичных обмотки и подключены к линейному проводу: одна — через конденсатор малой емкости, а вторая — напрямую. Первичные обмотки снабжены вторичными, которые последовательно подключены к возбуждающим цепям *A* и *B* и к двигателю. Конденсатор и здесь служит для того, чтобы обеспечивать требуемую разницу фаз токов, проходящих по цепям двигателя. Поскольку такие фазовые двигатели с двумя и более цепями теперь хорошо известны, здесь они изображены схематично. Работать с двигателем по указанным и похожим схемам совсем нетрудно, и хотя такие эксперименты на сегодняшний день представляют лишь сугубо научный интерес, возможно, недалек тот день, когда они будут проводиться с практическими целями.

Мне показалось полезным сделать сейчас некоторые замечания относительно работы со всеми типами устройств с применением только одного ведущего провода. Совершенно очевидно, что, когда применяются токи высокой частоты, заземление использовать лучше, по крайней мере если ЭДС этих токов велика, чем обратный провод. Заземление не рекомендуется при использовании постоянных или низкочастотных токов из-за разрушительного химического воздействия первых и помех, которые вызывают и те, и другие в работе соседствующих с ними цепей. Но при высоких частотах такие воздействия практически отсутствуют. Все же даже заземление становится излишним, когда ЭДС очень велика, ибо вскоре достигается состояние, при котором более экономично пропускать ток через разомкнутые, чем через замкнутые проводники. Пусть человеку, не искушенному в этом направлении экспериментальных исследований, индустриальное применение таких однопроводных систем передачи энергии может показаться делом далекого будущего — для того,

кто некоторое время вел изыскания подобного рода, это совсем не так. Право, я не вижу причин, по которым такой план нельзя привести в действие. Не следует думать, что для выполнения такого плана категорически требуются токи очень высокой частоты, ибо как только достигнут и применяется потенциал, скажем, в 30000 вольт, однопроводная передача может действовать при низких частотах. Я сам проводил эксперименты, на основе которых пришел к этим выводам.

Из лабораторной практики выяснилось, что когда применяемые частоты очень высоки, то воздействия очень легко регулировать следующим способом. Две первичные обмотки, каждая соединена одним из концов с линейным проводом, а другим — с пластинами конденсатора. Рядом с ними размещены вторые пластины конденсатора, первая соединена с проводом, а вторая — с изолированной пластиной большего размера. На первичные обмотки намотаны вторичные из толстой проволоки. Варьируя расстояние между парами пластин конденсаторов, мы варьируем силу тока во вторичных обмотках. Любопытная черта такой схемы — необыкновенная чувствительность: малейшее изменение расстояния между пластинами вызывает значительные вариации в интенсивности или силе токов. Чувствительность можно обострить до крайности, применив такую частоту, что сама первичная обмотка, без всякого подключения к ее свободному концу пластины, в соединении с замкнутой вторичной обмоткой удовлетворяет условию резонанса. При соблюдении этого условия минимальное изменение в емкости свободной клеммы вызывает огромные изменения в силе тока. Например, я сумел отрегулировать условия таким образом, что простое приближение человека к катушке вызывает значительные изменения в яркости ламп, подключенных к вторичной обмотке. Такие наблюдения и опыты представляют в настоящее время, конечно, в основном научный интерес, но вскоре могут обрести и практическую важность.

Очень высокие частоты, разумеется, невозможны использовать в двигателях по причине необходимости примене-

ния железных сердечников. Но вполне можно использовать резкие разряды низкой частоты и таким образом получить определенные преимущества высокочастотных токов, не делая при этом железный сердечник полностью неспособным следовать за изменениями и избегая чересчур больших затрат энергии. Я выяснил, что вполне возможно работать с двигателями переменного тока, применяя такие низкочастотные пробойные разряды конденсаторов. Двигатели определенного класса, разработанного мною несколько лет назад, которые содержат замкнутые вторичные цепи, довольно энергично вращаются, когда разряды направляются через возбуждающие обмотки. Одна из причин того, что такой двигатель столь хорошо работает с подобными разрядами, заключается в том, что разность фаз между первичным и вторичным токами составляет 90° , чего обычно не бывает при гармонически нарастающих и убывающих токах низкой частоты. Возможно, небезинтересно будет показать эксперимент с простым двигателем такого типа, поскольку обычно считают, что пробойные разряды для подобных целей не подходят.

Двигатель состоит из довольно большого железного сердечника с пазами в верхней части, в которые вставлены толстые медные шайбы. Вблизи сердечника расположен свободно движущийся металлический диск. Сердечник снабжен первичной возбуждающей обмоткой, ее концы соединены с клеммами вторичной обмотки обычного трансформатора, первичная обмотка которого подключена к распределительной цепи переменного тока или генератору низкой или умеренной частоты. Клеммы вторичной обмотки соединены с конденсатором, который разряжается через воздушный промежуток и может быть в последовательном или параллельном соединении с катушкой. Когда условия подобраны правильно, диск вращается со значительным усилием, и железный сердечник нагревается не слишком ощутимо. При использовании токов от генератора высокой частоты, напротив, сердечник быстро становится горячим и диск вращается с гораздо меньшим усилием. Чтобы как следует провести этот

опыт, сперва надо удостовериться, что диск не начинает вращаться, когда не происходит разряда. Предпочтительно использовать большой железный сердечник и конденсатор большой емкости, чтобы свести к минимуму более быстрые наложенные колебания или вообще избавиться от них. Соблюдая определенные элементарные правила, вполне возможно работать с обычным последовательным или параллельным двигателем, используя такие пробойные разряды, и это можно делать, как применяя, так и не применяя обратный провод.

ФЕНОМЕНЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Среди разнообразных наблюдаемых феноменов тока, возможно, наиболее интересными являются **феномены сопротивления**, которое проводники оказывают **быстроизмененным токам**. В своей первой лекции в Американском институте инженеров-электриков я описал несколько поразительных наблюдений такого рода. Так, я продемонстрировал, что когда такие токи или резкие разряды проходят сквозь толстый металлический прут, то на таком пруте могут возникать на расстоянии всего в несколько дюймов точки, имеющие между собой достаточную разность потенциалов, чтобы поддерживать в состоянии сильного накала обычную лампу с нитью накаливания. Я также описал любопытное поведение разреженного газа, окружающего проводник, в результате резких скачков тока. С тех пор я более тщательно изучил эти феномены и решил, что один-два новых эксперимента достаточно интересны, чтобы продемонстрировать их здесь. Очень толстые медные прутья соединены нижними концами с пластинами конденсатора. Противоположные пластины конденсатора подключены к клеммам вторичной обмотки трансформатора высокого напряжения, первичная обмотка которого питается переменными токами от обычной низкочастотной динамо-машины или распределительной цепи. Конденсатор разряжается сквозь регулируемый промежуток, как обычно. Оказа-

лось, что при установлении быстрых колебаний можно легко поставить следующий любопытный эксперимент. Прутья были соединены на вершинах низковольтной лампой, немного ниже была размещена с помощью клемм вторая лампа на 50 вольт, еще ниже — еще одна лампа на 100 вольт и, наконец, на некотором расстоянии ниже — последняя лампа, вакуумная трубка. При тщательном подборе положения ламп оказалось возможным поддерживать их свечение в соответствии с их номинальной мощностью. Однако все они были размещены в параллельном соединении между двумя толстыми медными прутьями и требовали для работы совершенно разного напряжения. В этом эксперименте, конечно, значительное время затрачивается на регулировку, зато осуществляется она весьма просто.

В предыдущих экспериментах я уже воспользовался случаем и показал некоторые световые феномены, которые теперь имеет смысл изучить более детально. Но для того, чтобы представить это исследование в более законченном виде, думаю, необходимо сделать сначала несколько замечаний по поводу электрического резонанса, который всегда приходится наблюдать в ходе проведения таких экспериментов.

ОБ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ РЕЗОНАНСЕ

На **эффекты резонанса** все чаще и чаще обращают внимание инженеры, они приобретают все большую важность в практической работе аппаратов всех типов, работающих от переменного тока. Поэтому можно сделать несколько общих замечаний, касающихся этих эффектов. Очевидно, что если мы преуспеем в практическом применении эффектов резонанса в работе с электрическими приборами, то необходимость в использовании обратного провода отпадет сама собой, поскольку электрические колебания могут передаваться с помощью одного провода точно так же, а иногда и даже лучше, чем с применением двух. В таком случае, первый вопрос, на который надо ответить: мож-

но ли вызывать чистые резонансные эффекты? И теория, и эксперимент показывают, что в природе такое невозможно, поскольку по мере того, как колебания становятся все более и более энергичными, потери в колеблющихся телах и окружающей среде быстро нарастают и неизбежно прекращают вибрацию, которая в противном случае продолжала бы бесконечно усиливаться. То, что чистый резонанс невозможно создать, — счастливое обстоятельство, ибо если бы он был достижим, то нельзя даже вообразить, какие опасности поджидали бы простодушного экспериментатора. Однако до некоторой степени резонанс все-таки можно вызывать целенаправленно. Сила его эффектов ограничивается несовершенной проводимостью и несовершенной эластичностью среды или, вообще говоря, потерями трения. Чем эти потери меньше, тем поразительнее эффекты.

То же происходит и в случае механических колебаний. В толстом стальном пруте можно вызвать вибрацию с помощью падающих на него с определенными интервалами капель воды. На примере стекла, которое обладает более совершенной эластичностью, эффект резонанса еще более замечателен, поскольку стеклянный бокал может взорваться, если пропеть в него ноту подходящей высоты. Электрический резонанс тем совершеннее достижим, чем меньше сопротивление или импеданс проводящего пути и чем более совершенный применяется диэлектрик. В лейденской банке, разряжающейся через короткий крученый кабель из тонких проводов, вероятно, эти условия соблюдаются лучше всего, и эффекты резонанса поэтому очень заметны. Иначе обстоит дело с динамо-машинами, трансформаторами и их цепями или промышленными аппаратами в целом, в которых присутствие железных сердечников усложняет воздействие или делает его невозможным. В отношении лейденских банок, при помощи которых часто демонстрируют эффекты резонанса, я бы сказал, что наблюдаемые эффекты часто *приписываются*, но редко *относятся* к настоящему резонансу, поскольку в этой области легко допустить ошибку. Это можно экспериментально

продемонстрировать так, чтобы не осталось никаких сомнений. Возьмите, например, две большие изолированные металлические пластины или два шара, которые я обозначу буквами *A* и *B*. Поместите их на определенном небольшом расстоянии друг от друга и зарядите от фрикционной или электрофорной машины до настолько высокого потенциала, чтобы малейшее увеличение разности потенциалов между ними заставляло маленький воздушный или изолирующий промежуток пробиваться. Этого легко добиться с помощью нескольких предварительных опытов. Если теперь другую пластину, укрепленную на изолированной рукоятке и соединенную проводом с одной из клемм вторичной обмотки высокого напряжения индукционной катушки, которая получает питание от генератора переменного тока (предпочтительно высокой частоты), поднести к одному из заряженных тел *A* или *B*, так чтобы она была ближе к одному из них, то между ними непременно возникнет разряд — по крайней мере в том случае, если потенциал катушки, соединенной с пластиной, достаточно высок. Но объяснение этому основано на том факте, что сблизившиеся пластины индуктивно воздействуют на тела *A* и *B* и заставляют искру проскакивать между ними. Когда эта искра возникает, заряд, прежде сообщенный этим телам электрофорным генератором, по необходимости теряется, поскольку между ними возникает электрическое соединение через образовавшуюся дугу. Итак, эта дуга образуется вне зависимости от наличия резонанса. Но даже если бы искра не возникла, то все равно между телами появилась бы ЭДС, когда к одному из них приблизилась бы плата. Поэтому приближение пластины, даже если не всегда вызывает, то, по крайней мере, всегда стремится вызвать пробой воздушного промежутка посредством индукционного воздействия. Вместо шаров или пластин *A* и *B* мы с тем же результатом можем взять обкладки лейденской банки, а вместо генератора — в этом качестве лучше использовать генератор переменного тока высокой частоты, поскольку он больше подходит для эксперимента, а также для его обсуждения — мы можем воспользовать-

ся другой лейденской банкой или батареей банок. Когда такие банки разряжаются в цепь низкого сопротивления, по ней идет ток очень высокой частоты. Теперь пластины можно соединить с одной из обкладок второй банки, и, когда мы подносим ее к первой банке, только что заряженной до высокого потенциала от электрофорной машины, результат оказывается тем же, что и прежде, и первая банка разряжается через маленький воздушный промежуток, после того как вторую банку заставили разрядиться. Но нет никакой необходимости регулировать банки и их цепи так, чтобы различия между ними были меньше, чем между оперным басом и комариным писком, поскольку в воздушном промежутке возникнут маленькие искры, или, по крайней мере, напряжение в нем значительно возрастет благодаря установлению переменной ЭДС в результате индукции, которая вступает в силу, когда одна из банок начинает разряжаться. Можно легко совершить еще одну похожую ошибку. Если цепи двух банок установить параллельно, расположив их поблизости друг от друга, и провести опыт, в котором они разряжаются одна за другой, а потом в цепь одной из них добавить проволочную катушку, после чего опыт не удастся, то вывод, что опыт проваливается из-за того, что теперь цепи не настроены, будет весьма далек от истины. Ибо две эти цепи работают как обкладки конденсатора, и добавление к одной из них катушки равнозначно установлению в том месте, куда была вставлена катушка, перемычки в виде маленького конденсатора, а воздействие последнего может предотвратить соскакивание искры через разрядный промежуток с помощью уменьшения действующей в нем переменной ЭДС. Все эти замечания и многие другие, которые можно было бы добавить, если бы не опасения, что это заведет нас слишком далеко в сторону от темы, сделаны с пристальным намерением предостеречь неискушенных исследователей, у которых может сложиться ничем не подкрепленное мнение о собственных талантах при виде того, как удачно складывается каждый эксперимент; сказанное ни

в малой мере не навязывается опытным ученым в качестве новейших наблюдений.

С целью получить достоверные данные наблюдений над эффектами электрического резонанса желательно, если не необходимо, применять генератор переменного тока, выдающий токи с гармоническим возрастанием и спадом, поскольку при работе с прерывистым током на наблюдения не всегда можно положиться. Поэтому многие феномены, зависящие от скорости изменений, можно получить при очень различающихся частотах. Даже делая такие наблюдения при использовании генератора переменного тока, вполне можно ошибиться. Когда цепь соединяется с генератором переменного тока, то мы получаем бесконечное число значений для емкости и самоиндукции, которые в сочетании будут удовлетворять условиям резонанса. Так в механике существует бесконечное число камертонов, издающих ноту определенной высоты, или пружин под нагрузкой, имеющих определенный период колебаний. Но лучший эффект резонанса будет получен в том случае, когда движение происходит с наибольшей свободой. В механике при рассмотрении колебаний в обычной среде, то есть в воздухе, не имеет особого значения, будет ли один камертон несколько больше другого, поскольку потери в воздушной среде не слишком значительны. Конечно, можно поместить камертон в вакуумный сосуд и, таким образом уменьшив сопротивление воздуха до минимума, получить лучший эффект резонанса. И все же разница будет не слишком велика. Значительная разница получилась бы при погружении камертона в ртуть. При **электрических колебаниях огромную важность имеет обеспечение таких условий, чтобы колебания распространялись с наибольшей свободой.** Величина эффекта резонанса зависит, при прочих равных условиях, от количества приведенного в движение электричества или от силы тока, пропущенного сквозь цепь. Но цепь противодействует прохождению тока по причине ее импеданса, поэтому, чтобы обеспечить наилучшую работу, необходимо уменьшить сопротивление до минимума. Преодо-

леть его полностью невозможно — можно только отчасти, потому что омическое сопротивление непреодолимо. Но когда частота импульсов очень велика, протекание тока практически определяется только самоиндукцией. А самоиндукцию можно преодолеть, сочетая ее с емкостью. Если соотношение между ними таково, что при используемой частоте они взаимно аннулируют друг друга, то есть имеют такие значения, которые удовлетворяют условиям резонанса, а сквозь внешнюю цепь движется наибольшее количество электричества, тогда и получается лучший результат. Проще и безопаснее подключить конденсатор последовательно к катушке самоиндукции. Очевидно, что в таких комбинациях — для заданной частоты и принимая в расчет только основные колебания — значения, обеспечивающие наилучший результат, будут существовать при параллельном соединении конденсатора с самоиндукционной катушкой, безусловно, в большем количестве, чем при последовательном соединении. Но выбор определяется практическими условиями. В последнем случае при проведении опытов можно взять маленькую катушку самоиндукции и конденсатор большой емкости или маленький конденсатор и большую катушку, но последний вариант предпочтительнее, потому что тонкая пошаговая настройка большой емкости вызывает затруднения. Если мы возьмем катушку с очень большой самоиндукцией, то критическая емкость снижается до очень небольшого значения, и может оказаться достаточно емкости самой катушки. Совсем нетрудно, особенно при использовании некоторых хитростей, намотать такую катушку, с помощью которой импеданс уменьшится до значения одного только омического сопротивления; и для любой катушки, разумеется, существует такая частота, при которой можно заставить максимальный ток проходить через катушку. Соблюдение соотношения между самоиндукцией, емкостью и частотой становится важным при работе с аппаратами переменного тока, такими как трансформаторы или двигатели, потому что при правильном подборе элементов конструкции применение дорогостоящего конденсатора

делается ненужным. Таким образом, становится возможно пропускать через обмотки двигателя переменного тока при нормальных рабочих условиях требуемый ток с низкой ЭДС и полностью исключить присутствие паразитного тока. И чем больше будет двигатель, тем легче привести в исполнение такой план, но для этого необходимо использовать токи очень высокого напряжения или высокой частоты.

Что касается увеличения потенциала посредством действия резонанса, то теоретически, конечно, он может иметь любое значение, поскольку зависит от самоиндукции и сопротивления, а они также могут иметь любые значения. Но на практике мы ограничены в выборе этих значений, и, кроме того, есть и другие ограничивающие факторы. Мы можем начать, скажем, с 1000 вольт и поднять ЭДС до значения, в 50 раз превышающего первоначальное, но не можем начать со 100000 вольт и увеличить это значение в 10 раз по причине наличия потерь в среде, которые очень велики, особенно если высока частота. Вполне возможно начать опыт, например, с двух вольт от цепи высокой или низкой частоты динамо-машины и увеличить ЭДС во много сот раз по сравнению с начальным значением. Таким образом, катушки нужного размера могут быть подключены каждая только одним концом к выходу генератора с низкой ЭДС, и хотя цепь машины не будет замкнутой в общепринятом смысле слова, однако машина может сгореть, если будет получен соответствующий резонансный эффект. Применяя токи от динамо-машины, я не смог получить и ни разу не наблюдал такого резкого повышения потенциала. Вполне возможно, и даже вероятно, что при работе с токами, полученными от аппарата, содержащего железо, помехи, вызываемые железом, являются причиной того, что эти теоретические возможности не могут быть реализованы. Но если дело в этом, то я бы объяснял данное явление исключительно гистерезисом и потерями от токов Фуко в сердечнике.

В связи с эффектами резонанса и проблемой передачи энергии через один проводник, которая рассматривалась

прежде, я хотел бы сказать несколько слов о предмете, который постоянно занимает мои мысли и касается нашего всеобщего благосостояния. Я имею в виду передачу четких сигналов или даже, возможно, энергии, на любое расстояние без применения проводов. С каждым днем у меня крепнет уверенность в том, что это возможно; и хотя я прекрасно понимаю, что огромное большинство людей науки не поверят в то, что такие результаты можно практически получить прямо сейчас, все же, думаю, все согласны с тем, что достижения ряда ученых в последние годы не могут не поощрять нас к размышлению и экспериментированию в этом направлении. Моя уверенность выросла настолько, что я ныне рассматриваю этот план передачи энергии или информации не просто как теоретическую возможность, а как серьезную задачу в электротехнике, которая должна быть однажды разрешена. Идея передачи информации без участия проводов — естественный вывод, сделанный на основе последних достижений электротехнических исследований. Некоторые энтузиасты выражают свою веру в то, что телефонная связь на любом расстоянии посредством индукции через воздух — дело вполне возможное. Мое воображение не заглядывает настолько далеко, но я действительно твердо верю, что возможно посредством мощных машин возмущать электростатическое состояние Земли и таким образом передавать четкие сигналы, а возможно, и энергию. И в самом деле, что мешает привести в исполнение подобный план? Теперь мы знаем, что электрические колебания можно передавать через один-единственный проводник. Почему бы тогда не приспособить для этой цели Землю? Мысль о расстоянии не должна нас пугать. Для усталого странника, отсчитывающего верстовые столбы, Земля может казаться огромной, но для счастливейших из людей — астрономов, которые глядят в небеса и судят о размерах Земли по своим стандартам, она кажется очень маленькой. Такой же, полагаю, она должна казаться и электрику, ибо когда он размышляет о скоростях, с которыми распространяются электрические коле-

бания сквозь Землю, все его представления о расстоянии должны полностью измениться.

Первый вопрос величайшей важности, которым стоит задаться: какова емкость Земли? И какой заряд она будет иметь, если ее наэлектризовать? Хотя мы не имеем никаких веских доказательств существования заряженного тела в пространстве так, чтобы поблизости не было другого, противоположно заряженного тела, все же есть большая вероятность, что таким телом является Земля. Ибо в результате какого бы процесса она ни была отделена от прочих тел, а это общепринятый взгляд на ее образование, она должна была сохранить свой заряд, как случается во всех процессах механического разделения. Если она представляет собой заряженное тело, изолированное в пространстве, то ее емкость должна быть крайне мала, меньше одной тысячной фарада. Но верхние слои воздуха являются проводящими, и такими же свойствами, возможно, обладает среда в свободном пространстве за пределами атмосферы, и эти среды могут иметь противоположный заряд. Тогда емкость Земли может быть несравненно большей. В любом случае получение представления о том, какое количество электричества содержит Земля — вопрос величайшей важности. Трудно сказать, обретем ли мы когда-нибудь это необходимое знание, но есть надежда, что обретем, и сделано это будет при помощи электрического резонанса. Если когда-нибудь мы сможем с уверенностью определить, каков период колебаний заряда Земли при возбуждении по отношению к противоположно заряженной системе или известной цепи, мы получим данные, имеющие первостепенное значение для благосостояния человеческого рода. Я предлагаю постараться определить этот период с помощью электрического осциллятора или источника переменных электрических токов. Один из выходов такого источника следовало бы заземлить — например, соединить с городской системой водопровода, а другой — подключить к изолированному телу с большой площадью поверхности. Возможно, что наружные проводящие слои воздуха или свободное пространство (открытый космос) содержат

противоположный заряд и что вместе с Землей они со-ставляют конденсатор очень большой емкости. В таком случае период колебаний может быть очень небольшим, и динамо-машина переменного тока может послужить для целей такого эксперимента. Потом я бы преобразовал ток до максимально возможного потенциала и соединил концы вторичной обмотки высокого напряжения с зем-лей и изолированным телом. Путем варьирования частоты токов, тщательного фиксирования потенциала изоли-рованного тела и наблюдения за возмущениями в разных соседствующих точках земной поверхности можно опре-делить резонанс. Если, как полагает, по всей вероятности, большинство ученых, период колебаний крайне невелик, тогда динамо-машина не справилась бы и пришлось бы изготовить подходящий электрический осциллятор. Хотя и в этом случае может оказаться, что такие быстрые колебания невозможно получить. Но возможно это или нет, обладает Земля зарядом или нет, и каков бы ни был пе-риод ее колебаний, совершенно точно возможно — и тому мы каждый день имеем подтверждение — получить элек-трические возмущения, достаточно мощные, чтобы под-ходящие инструменты могли их различить в любой точке земной поверхности.

Предположим, что источник переменного тока со-единен одним своим выходом с землей (удобно делать это через систему водопровода), а другим — с телом большой поверхности. Когда возникают электрические колебания, появляется движение электрического тока в предмет и от него, и переменные токи будут проходить сквозь землю, сходясь и расходясь в точке, где сделано заземление. Та-ким образом, соседствующие точки земной поверхности в пределах определенного радиуса будут возмущаться. Но возмущение уменьшается с расстоянием, и расстояние, на котором этот эффект будет все еще заметен, зависит от ко-личества электричества, приведенного в движение. Пос-кольку тело, с которым соединен источник тока, изоли-ровано, то с целью переместить значительное количество электричества потенциал источника должен быть чрезвы-

чайно большим, так как размеры поверхности тела ограничены. Можно отрегулировать условия таким образом, что генератор или источник будет порождать такое же движение электричества, как если бы его цепь была замкнута. Таким образом, определенно возможно будет передавать Земле, по крайней мере, электрические колебания с определенным маленьким периодом посредством подходящей для этого аппаратуры. На каком расстоянии могут восприниматься такие колебания — об этом можно лишь строить предположения.

Однажды я размышлял над вопросом, как Земля может реагировать на электрические возмущения. Несомненно, в эксперименте такого рода плотность электрического заряда на поверхности может быть только исключительно низкой, учитывая размеры Земли; воздух как фактор возмущений не будет иметь большого значения, и не будет больших воздушных потерь, какие присутствовали бы, будь плотность большой. Тогда, теоретически, не потребовалось бы большого количества энергии, чтобы вызвать возмущение, различимое на огромном расстоянии, или даже, возможно, на всей поверхности земного шара. Теперь уже точно известно, что в любой точке в пределах определенного радиуса от источника должным образом настроенные самоиндукционные и емкостные приборы могут быть приведены в действие резонансом. Но можно сделать не только это: другой источник, такой же, как первый, и вообще любое количество таких источников могут быть запущены в синхронизме с первым источником, и таким образом колебания усилиятся и распространятся по большой площади. Так же можно создать и поток электричества ко второму источнику или от него, если он и первый источник будут работать в противофазе. Думаю, что не может быть особых сомнений в том, что возможно управлять электрическим освещением города через заземление или систему трубопроводов с помощью резонанса от электрического осциллятора, расположенного в центральной точке. Но практическое разрешение этой проблемы принесло бы человеку несравненно мень-

шую выгоду, чем реализация плана передачи информации или энергии, может быть, на любое расстояние сквозь землю или окружающую среду. Если это вообще возможно, то расстояние ничего не значит. Сначала надо разработать подходящий аппарат, с помощью которого можно приступить к решению этой проблемы, и я много об этом думаю. Я твердо убежден, что это можно сделать, и надеюсь, что мы доживем до того дня, когда это будет сделано.

**О СВЕТОВЫХ ФЕНОМЕНАХ,
ВЫЗВАННЫХ ТОКАМИ
ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ
ИЛИ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ.
ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ,
КАСАЮЩИЕСЯ ДАННОГО
ПРЕДМЕТА**

Теперь, возвращаясь к световым эффектам, которые были избраны в качестве главного предмета исследования, я считал уместным разделить эти эффекты на четыре группы:

1. Накал твердого тела.
2. Фосфоресценция.
3. Накал или фосфоресценция разреженного газа.
4. Свечение, вызываемое в газах при обычном давлении.

Первый вопрос таков: как мы получаем такие эффекты? Чтобы ответить на этот вопрос настолько удовлетворительно, насколько это возможно в свете общепринятых взглядов и полученного опыта, а также сделать более интересной данную демонстрацию, я сейчас остановлюсь на характерной особенности, которой придаю огромное значение, поскольку она, кроме прочего, обещает пролить больше света на природу большинства феноменов, производимых высокочастотными электрическими токами. В предыдущих лекциях я указывал на исключительную важность присутствия разреженного газа или

вообще атомарной среды вокруг проводника, сквозь который пропускаются переменные токи высокой частоты, в отношении нагрева проводника такими токами. Мои эксперименты, описанные некоторое время назад, показали, что чем выше частота и разность потенциалов токов, тем более возрастает значение разреженного газа, в который погружен проводник, как фактора нагрева. Однако разность потенциалов, как я тогда указал, является более важным фактором, чем частота. Когда оба фактора достаточно значительны, нагрев может почти целиком быть результатом присутствия разреженного газа. Последующие эксперименты продемонстрируют значение разреженного или вообще любого газа, при обычном и отличающемся от обычного давлении, в отношении накала или других световых эффектов, вызываемых токами такого рода.

Я беру две обычные 50-вольтные лампы по 16 свечей, одинаковые во всех отношениях, за тем исключением, что одна на конце открыта и колбу наполняет воздух, а из другой воздух удален в той же степени, что из обычных промышленных ламп. Когда я прикрепляю вакуумную лампу к клемме вторичной обмотки катушки, которую я сегодня уже использовал в экспериментах, и включаю ток, нить накаливания, как вы видели прежде, раскаляется. Когда я устанавливаю на место первой лампы вторую, наполненную воздухом, нить тоже светится, но гораздо тусклее. Этот эксперимент лишь частично подтверждает высказанные прежде утверждения. Важность погружения нити в разреженный газ очевидна, но не до такой степени, как было бы желательно. Причина в том, что вторичная обмотка этой катушки изготовлена в расчете на низкое напряжение, она имеет только 150 витков, и поэтому разность потенциалов на клеммах лампы мала. Если бы я взял другую катушку, с гораздо большим количеством витков во вторичной обмотке, эффект бы усилился, поскольку он зависит частью от разности потенциалов, как я уже отмечал прежде. Но поскольку то же самое можно сказать и в отношении его зависимости от частоты, то есть основания

утверждать, что он зависит от периода изменения разности потенциалов. Чем больше скорость этого изменения, тем большую значимость приобретает газ как фактор нагрева. Я могу вызвать гораздо большую скорость изменений другим способом, который, кроме того, обладает дополнительным достоинством. Он отмечает возражения, которые могли бы возникнуть в связи с тем что показанным экспериментом, даже если бы обе лампы были подключены к катушке последовательно или параллельно, а именно — что вследствие взаимодействия между первичной и вторичной обмотками катушки нельзя делать какие-либо определенные выводы. Я могу обеспечить этот результат, зарядив от обычного трансформатора, питающегося от источника переменного тока, батарею конденсаторов и разрядить их непосредственно через цепь с небольшой самоиндукцией.

Тяжелые медные бруски соединены с противоположными обкладками батареи конденсаторов или вообще таким образом, чтобы через них проходили токи высокой частоты или резкие разряды. Сначала я соединяю обычную 50-вольтную лампу накаливания с брусками посредством клемм. Когда через лампу проходит разряд, нить накаляется, хотя сила проходящего тока совсем невелика и ее было бы отнюдь недостаточно, чтобы добиться видимого эффекта при обычных условиях эксплуатации лампы. Теперь вместо этого я прикрепляю к брускам другую лампу, точно такую же, как первая, но со сломанной перемычкой, в результате чего колба наполнена воздухом под обычным давлением. Когда разряды направляются через нить, как и в предыдущем случае, она не раскаляется. Но этот результат все же можно отнести на счет одного из многих возможных взаимодействий. Поэтому я подключаю обе лампы параллельно. При пропускании разряда через обе лампы нить в вакуумной колбе снова светится очень ярко, в то время как в открытой лампе она остается темной, как и прежде. Но не следует думать, что на долю второй лампы приходится лишь малая доля энергии, подаваемой на обе лампы; напротив, она может поглощать значительную

часть энергии и нагреться даже сильнее, чем та, которая ярко светится. В данном эксперименте разность потенциалов на клеммах ламп теоретически меняет знак от трех до четырех раз в секунду. Концы нитей соответствующим образом электризуются, и газ в колбах сильно возбуждается. Таким образом, большая часть подаваемой энергии преобразуется в тепло. В открытой лампе, где молекул газа в несколько миллионов раз больше, чем в вакуумной, бомбардировка, которая наиболее сильна на концах нити, в горловине колбы, поглощает огромную долю энергии без какого-либо видимого эффекта. Причина в том, что, поскольку молекул там много, бомбардировка значительна в количественном отношении, но отдельные взаимодействия не слишком сильны, ибо скорости молекул сравнительно невелики из-за маленькой длины свободного пробега. В вакуумной лампе, напротив, скорости молекул очень высоки, и отдельные столкновения чрезвычайно сильны, что вызывает видимый эффект. Кроме того, конвекция тепла в первой лампе выше. В обеих лампах токи, проходящие через нити, очень слабы, несравнимо слабее тех, что требуются лампам для работы в обычной низкочастотной цепи. Однако разность потенциалов на концах нитей очень велика и могла бы составлять 20000 вольт или больше, если бы нити были прямыми и их концы были разведены далеко в стороны. В обычной лампе искра обычно возникает между концами нити или между платиновыми проводами снаружи прежде, чем успевает создаться такая разность потенциалов.

Можно было бы возразить на это, что в ранее показанном опыте, где лампы были соединены параллельно, вакуумная лампа могла потребить гораздо большее количество тока и что наблюдавшийся эффект, возможно, не целиком является следствием действия газа в лампах. Такие возражения потеряют свою весомость, если я соединю лампы последовательно — и с тем же самым результатом. Когда я так делаю и разряды направлены через нити накаливания, то снова заметно, что нить в открытой лампе остается темной, в то время как в вакуумной лампе

она сияет даже ярче, чем при нормальных условиях работы. В соответствии с общепринятыми представлениями сейчас ток в обеих лампах должен был быть одинаковым, если бы на него не влияло присутствие газа вокруг нитей накаливания.

При таком стечении обстоятельств я могу указать на еще одну интересную черту, которая иллюстрирует эффект скорости изменения потенциала токов. Я оставлю эти две лампы в последовательном соединении с брусками, как в предыдущем опыте, но существенно уменьшу частоту токов, которая в только что показанном опыте была чрезвычайно велика. Я могу сделать это путем ввода самоиндукционной катушки в цепь, по которой идут разряды, или увеличения емкости конденсаторов. Теперь, когда я пропускаю низкочастотные разряды через лампы, вакуумная лампа вновь светится так же ярко, как и прежде, но также заметно, что светится и открытая лампа, хотя и не так интенсивно, как первая. Уменьшив ток в лампах, я могу довести нить во второй лампе до красного накала, и хотя нить в вакуумной лампе светится ярко, степень ее накала гораздо меньше, чем когда использовались токи гораздо более высокой частоты.

В этих экспериментах газ в отношении степени накала нитей действует двумя противоположными путями, то есть **путем конвекции и путем бомбардировки. Чем выше частота и потенциал токов, тем большее значение приобретает бомбардировка. Конвекция, наоборот, должна быть тем меньше, чем выше частота.** Когда токи постоянны, то бомбардировка практически отсутствует, и поэтому конвекция при таких токах также существенно изменяет степень накала и приводит к результатам, похожим на только что продемонстрированные. Так, если две одинаковые лампы, одну вакуумную и одну открытую, соединить параллельно или последовательно с генератором постоянного тока, для накаливания нити в открытой лампе потребуется гораздо более мощный ток. Этот результат полностью обязан конвекции, и эффект его тем более очевиден, чем тоньше нить накаливания. Профессор Айртон и г-н Килгур

некоторое время назад опубликовали количественные результаты исследований, касающихся термоэмиссионной способности при излучении и конвекции, в которых очевиден эффект тонких проводов. Этот эффект можно зрелищно продемонстрировать, изготовив ряд маленьких коротких стеклянных трубок, внутри каждой из которых будет проходить вдоль оси самая тонкая платиновая нить, какую можно найти. Если эти трубки сильно вакуумировать, ряд их можно соединить параллельно с генератором постоянного тока, и все нити будут сильно раскалены при токе более слабом, чем требуется для накала одной-единственной нити в такой трубке, если из нее не откачать воздух. Если бы трубки можно было вакуумировать до такой степени, чтобы конвекция в них была равна нулю, тогда сравнительные количества тепла, уходящего за счет конвекции и излучения, можно было бы без труда определить по количественным показателям тепловых характеристик. Если применяется источник электрических импульсов высокой частоты и очень высокого потенциала, можно взять еще большее количество трубок и проводов и поддерживать в них накал при помощи тока, неспособного заметно нагреть провод того же размера, погруженный в воздушную среду при обычном давлении, и при этом подаваемой энергии хватило бы для них всех.

Я хотел бы теперь описать еще более интересный результат, к которому пришел благодаря наблюдениям над этими феноменами. Я заметил, что небольшие отличия в плотности воздуха вызывают значительные различия в степени накала проводов. Поэтому я думаю, что поскольку в трубке, сквозь которую проходит светящийся разряд, газ обычно имеет неравномерную плотность, то очень тонкий провод, заключенный в трубку, может раскалиться в определенных местах, где плотность газа меньше, оставаясь при этом темным в местах большей плотности газа, где конвекция будет сильнее, а бомбардировка — слабее. Следуя этой мысли, я изготовил трубку, через середину которой проходил очень тонкий платиновый проводок. Трубка была умеренно вакуумирована, и оказалось, что, когда

я прикреплял ее к клемме катушки высокой частоты, платиновый провод действительно накалялся местами. Позже была изготовлена партия таких трубок с одним или двумя проводами, и каждая демонстрировала тот же результат. Этот эффект был лучше всего заметен, когда в трубке возникал полосчатый разряд, но он также проявлялся и тогда, когда полосы не были видимыми, указывая на то, что даже в этот момент газ не был однородным по плотности. Расположение полос было обычно таково, что разрежения соответствовали местам накала или большей яркости на проводе. Но в некоторых случаях было замечено, что яркие пятна на проводе покрыты плотными частями полосчатого разряда, хотя этот эффект был едва различим. Это можно правдоподобно объяснить, предположив, что конвекция не очень отличается в плотных и разреженных областях и что бомбардировка больше в плотных областях полосчатого разряда. На самом деле, при работе с лампами часто наблюдается, что при определенных условиях тонкий провод накаляется сильнее, когда воздух не слишком сильно разрежен. Так бывает, когда потенциал катушки недостаточно высок для вакуума, но этот результат можно приписать многим разным причинам. Во всех случаях этот любопытный феномен накала исчезает, когда трубка или скорее провод равномерно прогревается по всей длине.

Оставляя в стороне модифицирующий эффект конвекции, мы можем выделить две различные причины, которые определяют степень накала провода или нити при работе с переменными токами: это ток проводимости и бомбардировка. При постоянных токах нам приходится иметь дело только с первым из этих двух факторов, и эффект нагрева минимален, поскольку сопротивление при постоянном токе минимально. Когда ток переменный, сопротивление больше, поэтому эффект нагрева увеличивается. Так, если скорость изменений тока очень велика, сопротивление может настолько возрасти, что нить будет накаляться при ничтожно слабом токе, и мы можем взять короткий и толстый кусок угля или другого материала и довести его до яркого накала при помощи тока, несрав-

нимо более слабого, чем требуется для того, чтобы раскалить до такой же степени обычную тонкую ламповую нить накаливания при постоянном или низкочастотном токе. Этот результат важен, поскольку показывает, как быстро меняются наши взгляды на данный предмет и как быстро расширяется горизонт наших знаний. Рассматривая этот результат только с одной точки зрения, а именно — в производстве света с помощью накала тел, можно вспомнить, что обычно маленькая толщина и высокое сопротивление нити накаливания считались необходимыми требованиями для достижения успеха. Но теперь мы знаем, что сопротивление нити постоянному току не значит ничего; нить с тем же успехом может быть короткой и толстой, поскольку, если она будет погружена в разреженный газ, она раскалятся при прохождении слабого тока. Все зависит от частоты и потенциала тока. Из этого мы можем сделать вывод, что в том, **что касается лампы, предпочтительно использовать для освещения высокие частоты, потому что они позволяют применение коротких и толстых нитей накаливания и токов небольшой силы.**

Если бы провод или нить были погружены в однородную среду, весь нагрев происходил бы благодаря току проводимости, но если они помещены в вакуумный сосуд, то условия в нем совершенно иные. Здесь вступает в действие газ, и тепловой эффект тока проводимости, как показывают многие эксперименты, может быть очень слабым в сравнении с тепловым эффектом бомбардировки. В особенности это верно, если цепь не замкнута и, разумеется, потенциалы очень высоки. Предположим, что тонкая нить накаливания, помещенная в вакуумный сосуд, одним концом соединена с клеммой катушки высокого напряжения, а другим — с большой изолированной пластиной. Хотя цепь и не замкнута, нить все же раскаляется, как я показывал раньше. Если частота и потенциал сравнительно низки, нить нагревается за счет тока, проходящего сквозь нее. Если частоту и потенциал, в особенности потенциал, повысить, изолированная пластина понадобится очень небольшая или от нее вообще можно отказаться,

и все же нить накалится, причем теперь весь нагрев будет следствием бомбардировки. Практический способ сочетания обоих эффектов — токов проводимости и бомбардировки — показан на рис. 24. На нем изображена обычная лампа, снабженная очень тонкой нитью, один из концов которой соединен с абажуром, служащим в качестве изолированной пластины, а второй — с клеммой источника высокого напряжения. Не следует думать, что разреженный газ является единственным значительным фактором нагрева проводника переменными токами, но при обычном давлении он действительно становится важным, если разность потенциалов и частота чрезвычайно высоки. По этому поводу я уже говорил, что, когда проводник расплывается от удара молнии, проходящий через него ток может быть очень слабым, недостаточным даже для того, чтобы просто нагреть проводник, если бы он был погружен в однородную среду.

Из вышесказанного ясно, что, когда проводник с высоким сопротивлением соединен с клеммами источника токов высокой частоты и высокого потенциала, может произойти значительное рассеяние энергии, в основном на концах проводника, вследствие воздействия окружающего проводник газа. Благодаря этому ток, проходящий через область проводника в точке на полпути между его концами, может быть намного слабее, чем на участках возле его концов. Более того, ток в основном проходит через внешние участки проводника, но этот эффект следует отличать от скин-эффекта (поверхностного эффекта), как его обычно трактуют, поскольку последний появляется, или должен появляться, также в непрерывной несжимаемой среде. Если множество ламп накаливания соединить последовательно с источником таких токов, лампы на концах цепи могут ярко светиться, в то время как находящиеся в середине могут оставаться совершенно темными. Это в основном является следствием бомбардировки, как я уже говорил. Но даже если бы ток был постоянным, при условии большой разности потенциалов, лампы на концах все равно будут светиться ярче тех, что в середине. В таком

случае нет ритмичной бомбардировки, и этим результатом мы обязаны только утечке энергии. Эта утечка или рассечение в пространстве при высоком напряжении бывает значительной, когда используются лампы накаливания, и еще более значительной при дуговых разрядах, поскольку последние ведут себя как пламя. Конечно, в целом рассечение значительно меньше при постоянных токах, чем при переменных.

Я попытался провести эксперимент, который любопытным образом иллюстрирует эффект горизонтальной диффузии. Если прикрепить к клемме катушку высокой частоты очень длинную трубку, свечение будет наиболее интенсивным возле клеммы и станет постепенно снижаться в направлении дальнего конца. Это особенно заметно, если трубка узкая.

Небольшая трубка в полдюйма диаметром и в 12 дюймов длиной на одном конце выведена в тонкую нить длиной около трех футов. Трубка помещена в латунный патрон, который можно привинтить к клемме индукционной катушки. Разряд, проходящий через трубку, вначале освещает нижний ее отдел, имеющий сравнительно большую площадь сечения, а сквозь длинную стеклянную нить на конце разряд пройти не может. Но разреженный газ в трубке постепенно нагревается и становится более проводящим, в результате чего разряд распространяется и в стеклянную нить. Это распространение происходит настолько медленно, что может пройти полминуты или больше, прежде чем разряд доберется до верхушки, которая тогда выглядит, как ярко светящаяся тонкая нить. Регулируя напряжение на клемме, можно заставить свет распространяться вверх по трубке с любой скоростью. Однако как только стеклянная нить нагревается, разряд мгновенно проходит по всей ее длине. Интересно то, что чем выше частота токов или, другими словами, чем сравнительно больше горизонтальное рассеивание, тем медленнее можно заставить свет распространяться по стеклянной нити. Этот эксперимент лучше всего проводить с сильно вакуумированной и свежеизготовленной трубкой. Если трубка

уже некоторое время использовалась, эксперимент часто не удается. Возможно, причиной тому служит постепенное и медленное ослабление вакуума. Это неторопливое распространение разряда по очень узкой стеклянной трубке точно соответствует принципу распространения тепла по нагреваемому с одного конца бруски. Чем быстрее происходит горизонтальное рассеивание тепла, тем большее время требуется для нагрева дальнего конца. Когда ток от катушки низкой частоты проходит сквозь нить из конца в конец, горизонтальная диффузия невелика и разряд распространяется мгновенно почти во всех случаях.

Теперь после этих экспериментов, которые продемонстрировали значение неоднородности или атомарной структуры среды и которые послужат для объяснения, хотя бы в какой-то степени, природы четырех видов световых эффектов, получаемых с помощью таких токов, я могу продемонстрировать вам сами эти эффекты. Чтобы сделать демонстрацию интереснее, я сделаю это таким способом, который для многих из вас может оказаться новым. Вы уже видели прежде, что мы теперь можем передавать электрические колебания телу посредством одного-единственного провода или проводника любого рода. Поскольку человеческое тело является проводником, я могу передавать колебания через собственное тело.

Вначале, как в некоторых предшествующих экспериментах, я вступаю в телесный контакт с одной из клемм трансформатора высокого напряжения и беру в руку вакуумную лампу, которая содержит маленькую угольную головку, укрепленную на конце платинового провода, ведущего наружу колбы. Головка раскаляется, как только запускается трансформатор. Я могу прикрепить к лампе проводящий абажур, который служит для усиления действия, но это необязательно. Также необязательно, чтобы головка имела проводниковую связь с рукой через провод, проходящий сквозь стекло, поскольку достаточное для накала головки количество энергии может передаваться сквозь само стекло посредством индуктивного воздействия.

Далее, я беру сильно вакуумированную лампу, содержащую элемент, обладающий большой способностью к фосфоресценции, поверх которого укреплена маленькая алюминиевая пластинка на платиновом проводе, ведущем наружу лампы, и токи, проходящие через мое тело, вызывают в лампе сильную фосфоресценцию. Теперь я вновь беру в руку простую вакуумную лампу, и газ внутри колбы таким же образом становится сильно раскаленным или фосфоресцирующим. Наконец, я могу взять в руку провод, оголенный или покрытый толстой изоляцией, — это совершенно несущественно, и электрические колебания настолько сильны, что покрывают провод светящейся пленкой.

Теперь надо сказать несколько слов о каждом из этих феноменов. В первую очередь я буду рассматривать накал головки или твердого тела вообще и остановлюсь на некоторых фактах, которые равным образом имеют отношение ко всем этим феноменам.

Я уже указывал ранее, что когда тонкий проводник, такой, например, как нить накаливания, соединяется одним концом с клеммой трансформатора высокого напряжения, нить накаляется частично благодаря току проводимости, а частично — благодаря бомбардировке. Чем короче и толще нить, тем большее значение приобретает бомбардировка; наконец, когда мы сократим ее размеры до размеров головки, практически весь нагрев будет происходить за счет бомбардировки. Так, в показанном прежде эксперименте головка раскаляется под ритмичным воздействием свободно движущихся в колбе мельчайших тел. Ими могут быть молекулы остаточного газа, частицы пыли или фрагменты, отщепившиеся от электрода; но что бы они собой ни представляли, совершенно точно, что нагрев головки неразрывно связан с давлением таких свободно движущихся частиц или с атомарным веществом вообще, заключенным внутри колбы. Нагрев тем интенсивнее, чем больше число взаимодействий в секунду и чем больше энергия каждого столкновения. Однако головка нагрелась бы также, если бы была подключена к источни-

ку постоянного напряжения. В таком случае электричество снималось бы с головки свободно движущимися носителями или частицами, летающими вокруг, и количества таким образом отданного вовне электричества могло бы хватить на то, чтобы раскалить головку, если бы оно было пропущено сквозь нее. Но бомбардировка в таком случае не имела бы особого значения. По этой причине потребовалось бы подать на головку сравнительно большое количество энергии, чтобы поддерживать ее в состоянии накала при постоянном напряжении. Чем выше частота электрических импульсов, тем экономичнее способ поддержания головки в состоянии накала. Одной из главных причин этого, полагаю, является то, что при импульсах очень высокой частоты происходит менее масштабный обмен свободно движущихся частиц вокруг электрода, а это означает, что нагретое вещество в колбе больше ограничивается областью рядом с головкой. Если сконструировать двойную лампу, состоящую из большой колбы и маленькой, каждая из которых содержит, как обычно, нити накаливания, укрепленные на платиновых проводах, то оказывается, что если нити будут совершенно одинаковыми, то для поддержания определенной степени накала нити в маленькой колбе требуется меньше энергии, чем в большой колбе. Это — следствие ограниченного передвижения частиц вокруг головки. В этом случае также подтвердилось, что нить в маленькой колбе разрушается меньше, если поддерживается в состоянии накала определенное время. Это — необходимое следствие того, что газ в маленькой колбе сильно нагревается и становится поэтому хорошим проводником, и на долю головки приходится меньшее количество работы, поскольку бомбардировка, по мере того как проводимость газа возрастает, становится менее интенсивной. В такой конструкции, разумеется, маленькая колба становится очень горячей, и когда ее температура возрастает, то возрастают конвекция и излучение с наружной стороны.

В другой демонстрации я показывал лампы, в которых этот недостаток был частично преодолен. В таких

конструкциях очень маленькая колба, содержащая огнеупорную головку, помещалась внутрь большой колбы, и из пространства между их стенками сильно откачивался воздух. В этих лампах внешняя большая колба оставалась сравнительно холодной. Когда большая колба была подключена к насосу и благодаря его постоянной работе вакуум между стенками колб поддерживался в неизменном состоянии, внешняя колба оставалась довольно холодной, в то время как головка в маленькой колбе была раскалена. Но когда была запаяна перемычка и головка в маленькой колбе пробыла раскаленной некоторое время, большая колба тоже нагрелась. Из этого я делаю вывод, что если вакуумное пространство (как полагает профессор Дьюар) не может проводить тепло, то это так исключительно благодаря нашему быстрому движению сквозь пространство или, вообще говоря, движению среды относительно нас, поскольку постоянное состояние не могло бы поддерживаться без постоянного обновления среды. По всей видимости, вакуум не может существовать в неизменном состоянии вокруг горячего тела.

В этих прежде упомянутых конструкциях маленькая внутренняя колба полностью предотвращает бомбардировку внешней большой колбы, по крайней мере на первых этапах. Тогда мне пришло в голову проверить, как будет вести себя в этом отношении металлическое сито, и я изготовил для этой цели несколько ламп. В одной лампе была укреплена тонкая нить накаливания (или головка) на платиновом проводе, проходящем сквозь стеклянный стержень и ведущем наружу колбы. Нить была окружена металлическим ситом. В ходе экспериментов с такими лампами выяснилось, что сито с широкими ячейками, по-видимому, ни в малейшей степени не влияло на бомбардировку, направленную на колбу. При высоком вакууме тень сита отчетливо вырисовывалась на стекле колбы, и оно быстро нагревалось. В некоторых лампах сито соединялось с платиновым проводом, впаянным в стекло. Когда этот провод подключался к другой клемме индукционной катушки (в этом случае ЭДС удерживалась на

низком уровне) или к изолированной пластине, бомбардировка внешней колбы ослабевала. При использовании сита с мелкими ячейками бомбардировка колбы уменьшалась всякий раз, но даже тогда, если вакуум был очень высоким, как и потенциал трансформатора, колба подвергалась сильной бомбардировке и быстро нагревалась, хотя тени от сита не наблюдалось благодаря маленькому размеру ячеек. Но стеклянная трубочка или другое цельное тело, помещенное в лампу так, чтобы оно окружало нить, полностью прекращало бомбардировку, и некоторое время внешняя колба оставалась совершенно холодной. Разумеется, когда стеклянная трубочка достаточно нагревалась, бомбардировка внешней колбы сразу же становилась заметна.

Эксперименты с этими лампами, похоже, указывают на то, что скорости отброшенных молекул или частиц должны быть велики (хотя и крайне незначительны по сравнению со скоростью света). В противном случае трудно было бы понять, как они могут пройти сквозь мелкое металлическое сито, не испытав никакого воздействия, если только не обнаружилось бы, что на такие маленькие частицы или атомы невозможно непосредственно воздействовать на измеримых расстояниях. В отношении скорости отброшенных атомов: лорд Кельвин недавно оценил ее как равную примерно 1 км/с или около того в обычной лампе Крукса. Поскольку потенциалы, получаемые от катушки пробойного разряда, гораздо выше получаемых от обычных катушек, такие скорости, разумеется, должны быть гораздо больше, когда лампы работают от такой катушки. Предположим, что скорость [частицы] составляет 5 км/с и одинакова по всей траектории, как это должно быть в сосуде с очень высоким вакуумом. Тогда, если переменная электризация электрода будет происходить с частотой 5 миллионов раз в секунду, самое большое расстояние, на которое частица сможет отлететь от электрода, будет составлять 1 мм. Если бы на нее можно было непосредственно воздействовать на таком расстоянии, тогда обмен вещества на электроде или атомный обмен был бы очень

медленным, и бомбардировка колбы практически отсутствовала бы. По крайней мере, так должно быть, если бы воздействие электрода на атомы окружающего газа было таким же, как на наэлектризованные тела, которые мы можем рассмотреть. Горячее тело, заключенное в вакуумную колбу, всегда вызывает атомную бомбардировку, но эта бомбардировка не имеет определенного ритма, поскольку молекулы совершают колебания всевозможных видов.

Если из колбы, содержащей головку или нить накаливания, откачать воздух с величайшим тщанием, настолько, насколько позволяют лучшие аппараты и приспособления, то часто можно заметить, что разряд поначалу не может пройти, но через некоторое время, возможно в результате каких-то изменений внутри колбы, разряд наконец возникает и головка раскаляется. На самом деле оказывается, что чем выше степень вакуумирования, тем легче вызвать накал. Похоже, нет других причин, которым можно было бы приписать в таком случае эффект накала, кроме бомбардировки или похожего воздействия окружающего газа или частиц вещества вообще. Но если колба вакуумирована очень тщательно, могут ли они играть значительную роль? Предположим, что в колбе находится сравнительно совершенный вакуум, тогда в центре внимания оказывается следующий вопрос: является ли среда, пронизывающая все пространство, непрерывной или атомарной? Если атомарной, то нагрев проводящей головки или нити в вакуумном сосуде может в основном быть следствием эфирной бомбардировки, и тогда нагрев вообще любого проводника, через который пропускаются токи высокой частоты и высокого потенциала, может быть модифицирован поведением такой среды. Тогда скин-эффект, явное повышение омического сопротивления и прочие явления, по крайней мере отчасти, допускают иное толкование.

Безусловно, более согласовалось бы со многими наблюдаемыми феноменами высокочастотных токов заключение, что все пространство пронизывают свободные атомы, а не предположение, что пространство их лишено и что, темное и холодное, каким ему и надлежит быть, оно

заполнено непрерывной средой, поскольку в ней как таковой не может быть ни тепла, ни света. Как тогда передается энергия: независимыми носителями или колебаниями непрерывной среды? Этот важнейший вопрос до сих пор не получил сколько-нибудь положительного ответа. Но большинство эффектов, которые мы здесь рассматриваем, в особенности световых эффектов, накала или фосфоресценции, подразумевают присутствие свободных атомов и были бы без них невозможны.

В отношении накала огнеупорной головки (или нити накаливания) в вакуумном сосуде, который является одной из тем наших исследований, главные факторы, которые могли бы сыграть руководящую роль в конструировании таких ламп, можно подытожить следующим образом:

1. Головка должна быть насколько возможно маленькой, сферической формы, иметь гладкую или отполированную поверхность и состоять из огнеупорного материала, наилучшим образом противостоящего испарению.

2. Опора головки должна быть очень тонкой и экранированной алюминиевыми и слюдяными листами, как я описывал в предыдущей лекции.

3. Степень вакуумирования лампы должна быть по возможности максимальной.

4. Частота токов должна быть самой высокой, какую можно получить.

5. Токи должны отличаться гармоническим нарастанием и спадом, без резких прерываний.

6. Нагрев следует ограничить областью головки, заключив ее в маленькую колбу, или как-либо иначе.

7. Пространство между стенками маленькой [внутренней] и внешней колб должно быть сильно вакуумировано.

Большинство соображений, применимых к накаливанию твердых тел, могут точно так же быть применены к фосфоресценции. Действительно, в вакуумном сосуде фосфоресценция, как правило, первоначально возбуждается мощным биением потока атомов, [отбрасываемых] от электрода, о фосфоресцентное тело. Даже во многих случаях, где нет внешних признаков наличия такой бомбардии-

ровки, думаю, фосфоресценция возбуждается яростными столкновениями атомов, которые необязательно отбрасываются от электрода, а испытывают его индуктивное воздействие через среду или цепочку других атомов. То, что эти механические удары играют важную роль в возбуждении фосфоресценции в колбе, можно увидеть в ходе следующего эксперимента. Если взять лампу такой конструкции, какая изображена на рис. 10, и тщательно удалить из нее воздух до такой степени, чтобы разряд не мог пройти, то нить *f* действует посредством электростатической индукции на трубку *t* и в ней возникают колебания. Если трубка *o* будет достаточно широкой, диаметром около дюйма, нить может начать вибрировать настолько сильно, что каждый раз, как она станет ударяться о стекло трубки, будет возникать фосфоресценция. Но когда нить успокаивается, фосфоресценция прекращается. Колебания можно прекратить и запустить вновь путем варьирования частоты токов. Нить имеет собственный период вибрации, и если частота токов такова, что возникает резонанс, то ее легко заставить колебаться даже при низком потенциале токов. Я часто наблюдал, как нить в лампе разрушается таким механическим резонансом. Вибрация нити, как правило, настолько быстра, что ее невозможно увидеть, и поначалу это может привести экспериментатора в недоумение. Если такой эксперимент, как описан здесь, выполняется тщательно, то необходимый потенциал токов может быть крайне мал, и по этой причине я делаю вывод, что тогда фосфоресценция является следствием механического удара нити накаливания о стекло — точно так же как при ударе ножом о сахарную голову. Механический удар, производимый отброшенными атомами, легко заметить, если охватить лампу, содержащую головку накаливания, ладонью и резко подать ток. Полагаю, при соблюдении условия резонанса лампа могла бы разлететься на куски.

Конечно, в ранее упомянутом эксперименте остается открытym вопросом, сохраняет ли стеклянная трубка после контакта с нитью заряд определенного знака в точке контакта. Теперь, если нить снова коснется стекла в той же

точке, будучи заряжена противоположно, заряды нейтрализуются в результате испускания света. Но такое объяснение не влечет за собой никаких важных выводов. Бесспорно, что изначальные заряды атомов [нити] или стекла играют некоторую роль в возбуждении фосфоресценции. Так, например, если фосфоресцентную лампу сначала возбудить от высокочастотной катушки, соединив ее с одной из клемм последней, отметить степень свечения, а затем зарядить лампу до высокого потенциала от машины Хольтца (причем лучше всего подключать ее к положительной клемме машины), то обнаружится, что, когда лампа вновь подключается к клемме катушки высокой частоты, фосфоресценция становится гораздо более интенсивной. Однажды я уже рассматривал возможность проявления в лампах некоторых фосфоресцентных феноменов, вызываемых накалом тончайшего слоя на поверхности фосфоресцентного вещества. Разумеется, воздействие атомов является достаточно мощным, чтобы вызвать интенсивное свечение путем столкновений, поскольку они быстро нагревают до высокой температуры тела значительного объема. Если такой эффект существует, тогда лучшим из известных нам приборов для вызова фосфоресценции в лампе является катушка пробойного разряда, способная выдавать огромный потенциал при очень немногих основных разрядах, скажем, 25—30 в секунду, чего едва достаточно для оказания непрерывного воздействия на человеческий глаз. Является доказанным фактом то, что такая катушка возбуждает фосфоресценцию почти при любых условиях и при любой степени вакуумирования, и я наблюдал эффект, являющийся, похоже, результатом фосфоресценции, даже при обычном атмосферном давлении, когда потенциалы были крайне высоки. Но если фосфоресцентное свечение вызвано уравниванием зарядов наэлектризованных атомов (что бы это в конечном итоге ни означало), тогда, чем выше частота импульсов или переменной электризации, тем более экономичным будет производство света. Давно известный и достойный внимания факт — то, что все фосфоресцентные вещества являются плохими проводни-

ками электричества и тепла и что все вещества перестают испускать фосфоресцентный свет, когда нагреваются до определенной температуры. Проводники же, напротив, таким качеством не обладают. Из этого правила есть всего несколько исключений. Одно из них — углерод. Бекерель заметил, что углерод фосфоресцирует при определенной повышенной температуре, предшествующей темно-красному накалу. Этот феномен можно легко наблюдать в лампах, имеющих довольно большие углеродные электроды (скажем, в виде шарика в 6 мм диаметром). Если включить ток, то через несколько секунд электрод покрывается снежно-белой пленкой, и это происходит прямо перед тем, как он станет темно-красным. Похожие эффекты отмечались и с другими проводящими веществами, но многие ученые, вероятно, не относят их на счет истинной фосфоресценции. Связан ли накал каким-либо образом с фосфоресценцией, возбуждаемой атомным воздействием или механическими ударами, — это еще предстоит выяснить. Но фактом является то, что все и любые условия, при которых есть тенденция к локализации и усилению теплового эффекта в точке воздействия, почти всегда являются наиболее благоприятными для возбуждения фосфоресценции. Так, если электрод очень маленький, что означает высокую плотность электрического заряда; если потенциал высок, а газ сильно разрежен (все перечисленное подразумевает высокие скорости отбрасываемых атомов или частиц вещества и соответственно сильные воздействия), то фосфоресценция получается очень интенсивной. Если лампа снабжена большим и маленьким электродами, подключенными к клемме индукционной катушки, то маленький электрод возбуждает фосфоресценцию, в то время как большой может и не делать этого из-за меньшей плотности электрического заряда и, следственно, меньшей скорости атомов. Лампу, снабженную большим электродом, можно охватить ладонью, когда электрод подключен к клемме катушки, и фосфоресценция не возникнет. Но если вместо того, чтобы охватывать ее рукой, поднести к ней заостренный провод, фосфорес-

ценция мгновенно распространится по колбе в результате огромной плотности заряда в точке контакта. Кажется, при низких частотах газы с большим атомным весом вызывают более интенсивную фосфоресценцию, чем газы с меньшим атомным весом, как, например, водород. При высоких частотах наблюдения недостаточно надежны, чтобы на их основе делать выводы. Кислород, как хорошо известно, вызывает чрезвычайно сильные эффекты, которые могут отчасти быть следствием химического действия. Похоже, лампа с остаточным водородом возбуждается легче всего. Электроды, которые легче всего разрушаются, вызывают в лампах наиболее сильную фосфоресценцию, но это условие не является постоянным вследствие ослабления вакуума и оседания вещества электрода на фосфоресцентных поверхностях. Некоторые жидкости, такие, например, как масла, вызывают восхитительные эффекты фосфоресценции (или флуоресценции?), но они продолжаются всего несколько секунд. Так, если на лампу, на стенках которой имеются следы масла, подать ток, фосфоресценция продолжается лишь несколько мгновений, пока масло не испарится. Из всех веществ, с которыми на сегодняшний день проводились опыты, наиболее чувствительным к фосфоресценции кажется сульфид цинка. Некоторые образцы, полученные благодаря любезности профессора Генри из Парижа, были использованы мною во многих таких лампах. Одним из недостатков этого сульфида является то, что он теряет свою способность к испусканию света даже при небольшом нагреве. Поэтому его можно использовать только для получения слабого света. Возможно, заслуживает внимания замечание, что при интенсивной бомбардировке с алюминиевого электрода он чернеет, но — что достаточно необычно — возвращается в первоначальное состояние, когда остывает.

Самым важным фактом, обнаруженным в ходе исследований в этом направлении, является то, что **во всех случаях необходимо, с целью возбуждать фосфоресценцию с минимальными затратами энергии, соблюдать определенные условия. В частности, всегда существует, вне зависи-**

мости от частоты токов, степени вакуумирования и характера веществ в колбе, определенный потенциал (если лампа возбуждается от одной клеммы) или разность потенциалов (если она возбуждается от обеих клемм), которые обеспечивают наиболее экономичный результат. Если потенциал увеличить, то значительное количество энергии может быть растратлено зря, не произведя большего количества света, а если его уменьшить, то опять-таки производство света будет не таким экономичным. Точное условие, при котором получится наилучший результат, похоже, зависит от множества разнообразных по природе факторов, и этот вопрос еще предстоит исследовать другим экспериментаторам, но условие это определенно следовало бы соблюдать при работе с такими фосфоресцентными лампами, если ставить целью достижение наибольшей экономии.

Переходя теперь к наиболее интересным из этих феноменов — накалу или фосфоресценции газов при низком или обычном атмосферном давлении, — мы должны искать объяснения этих феноменов в тех же самых первоосновах, то есть в столкновениях или воздействии атомов. Как молекулы или атомы, ударяясь о твердое тело, вызывают его фосфоресценцию или накал, так же и при столкновении самих атомов они вызывают те же эффекты. Но это объяснение явно недостаточное, и касается оно одного только грубого механизма явления. Свет образуется колебаниями, которые происходят со скоростью почти невообразимой. Если мы подсчитаем, исходя из количества энергии, содержащейся в форме излучения в определенном пространстве, силу, необходимую для установления столь быстрых колебаний, то обнаружим, что, хотя плотность эфира несравненно меньше плотности любого известного нам вещества, даже водорода, эта сила все равно находится за пределами нашего понимания. Что представляет собой эта сила, которая в механическом исчислении может равняться тысячам тонн на квадратный дюйм? Это электростатическая сила в современном понимании этого слова. Невозможно представить, как тело измеримых пропорций может быть заряжено до такого высокого

потенциала, чтобы этой силы было достаточно для производства таких колебаний. Задолго до того, как подобный заряд может быть сообщен телу, оно должно было бы распасться на атомы. Солнце излучает свет и тепло, и тоже самое делает обычное пламя нити накаливания, но ни для одного из них эту силу нельзя объяснить, если допустить, что она связана со всем телом в целом. Только одним способом мы можем объяснить ее, а именно — идентифицировав ее с атомом. Атом настолько мал, что если он заряжается, вступив в контакт с наэлектризованным телом, и заряд предположительно следует тому же закону, как в случае с телами измеримых пропорций, то атом должен сохранить количество электричества, способное полностью объяснить эти силы и чудовищные скорости колебаний. Но атом в этом отношении ведет себя уникально — он всегда принимает один и тот же «заряд».

Очень похоже, что резонансные колебания играют важнейшую роль в любых проявлениях энергии в природе. Во всем пространстве вся материя вибрирует, представляя все типы колебаний — от самой низкой музыкальной ноты до высочайших уровней, свойственных химическим лучам, поэтому для любого атома или единения атомов, безразлично к их периоду, должна существовать вибрация, с которой они резонируют. Когда мы задумываемся об огромной скорости световых колебаний, мы осознаем невозможность получения таких вибраций напрямую от любого аппарата измеримых пропорций и приходим к единственному возможному пути достижения этой цели — получению световых волн электрическими средствами и экономичным способом, то есть к воздействию на молекулы или атомы газа с целью заставить их сталкиваться и вибрировать. Теперь мы должны спросить себя: как можно воздействовать на свободные молекулы или атомы?

Доказано, что на них можно влиять с помощью электростатической силы, как яствует из многих экспериментов такого рода. Варьируя электростатическую силу, мы можем возбуждать атомы и заставлять их сталкиваться,

что сопровождается выделением тепла и света. Нет несомненных доказательств того, что мы можем воздействовать на них каким-либо другим путем. Если вызвать светящийся разряд в закрытой вакуумной трубке, то выстраиваются ли атомы, повинуясь какой-либо другой силе, кроме электростатической, которая действует по прямым линиям от атома к атому? Лишь недавно я исследовал взаимодействие между двумя цепями при крайне высоких скоростях колебаний. Когда батарея из нескольких банок разряжается через первичную обмотку низкого сопротивления и частота колебаний составляет много миллионов раз в секунду, то имеются огромные разности потенциалов между точками на первичной обмотке, разделенные расстоянием не более чем в несколько дюймов. Эти разности могут составлять 10000 вольт на дюйм, если не больше, принимая максимальное значение ЭДС. Вторичная обмотка в результате подвергается действию электростатической индукции, которая в таких экстремальных случаях имеет гораздо большее значение, чем электродинамическая. Для подобных резких импульсов как первичная обмотка, так и вторичная являются плохими проводниками, поэтому благодаря электростатической индукции можно добиться огромной разности потенциалов между соседними точками на вторичной обмотке. Тогда, если старательно исключить появление светового разряда в искровом промежутке, между проводами могут соскачивать искры, а в темноте будут видны стримеры. Если теперь мы заменим металлическую вторичную обмотку закрытой вакуумной трубкой, разности потенциалов, вызываемой в трубке электростатической индукцией от первичной обмотки, будет достаточно, чтобы возбудить отдельные части трубы. Но поскольку точки определенных разностей потенциалов на первичной обмотке не имеют постоянного положения, а все время его меняют, в трубке образуется световая полоса, явно не касающаяся стекла, что должно было бы случиться, если бы точки максимальной и минимальной разности потенциалов на первичной обмотке были неподвижны.

Я не исключаю возможности того, что вакуумную трубку можно возбудить одной только электродинамической индукцией, поскольку весьма талантливые физики придерживаются именно такого взгляда, но, по моему мнению, пока нет ни одного положительного доказательства того, что атомы газа в запаянной трубке могут выстраиваться в цепочки под действием электродвижущего импульса, вызванного электродинамической индукцией. Я до сих пор не смог вызвать в трубке полосы, какой бы длины трубка ни была и до какой бы степени она ни была вакуумирована — я имею в виду полосы, перпендикулярные к предполагаемому направлению разряда или оси трубки. Но я отчетливо наблюдал в большой колбе, где широкая световая полоса была вызвана прохождением разряда от батареи сквозь провод, окружавший колбу, круг слабого свечения между двумя светящимися полосами, одна из которых была заметно ярче другой. Более того, при своем теперешнем опыте я не думаю, что такого рода газовый разряд в запаянной трубке может колебаться, то есть колебаться как единое целое. Я убежден, что вообще никакой разряд в газе не может колебаться. Атомы газа в отношении резких электрических импульсов ведут себя прелюбопытнейшим образом. Непохоже, чтобы газ обладал выраженной инерцией по отношению к таким импульсам, поскольку доказано, что чем выше частота импульсов, с тем большей свободой разряд проходит сквозь газ. Если газ не обладает инерцией, значит, он не может вибрировать, поскольку для свободных колебаний необходима некоторая инерция. Из этого я делаю вывод, что если между двумя облаками происходит разряд молнии, то никакой осцилляции не возникает, как можно было бы того ожидать, учитывая емкость облаков. Но если разряд молнии ударяет в землю, то колебания возникают обязательно — в земле, но не в облаках. В газовом разряде каждый атом вибрирует со своей собственной скоростью, но в проводящей газовой массе, как в целом, никакой вибрации не происходит. По отношению к великой проблеме экономичного производства света это — важное соображение.

ние, поскольку оно учит нас тому, что для достижения экономичного результата мы должны использовать импульсы очень высокой частоты, а также, неизбежно, высокого напряжения.

Доказано, что кислород дает больше света в трубке. Колебания не затухают в нем мгновенно — не потому ли, что атомы кислорода обладают некоторой инерцией? Но тогда азот должен был бы давать столь же хороший результат, а хлор и пары многих других веществ — даже лучший, чем у кислорода, если только здесь не играют заметную роль магнитные качества кислорода. Еще вопрос: не является ли природа процесса в трубке электролитической? Многие наблюдения определенно говорят в пользу этого предположения, и самое важное из них — что вещество всегда отщепляется от электродов и вакуум в трубке невозможно поддерживать на постоянном уровне. Если такой процесс имеет место в действительности, то мы опять-таки должны прибегать к высоким частотам, поскольку при высоких частотах электролитическое действие сводится к минимуму, если не становится совершенно невозможным. Несомненным фактом является то, что при очень высоких частотах, при условии наличия импульсов гармонического характера, подобных тем, которые мы получаем от генератора переменного тока, разрушение электродов не столь значительно и вакуум сохраняется лучше. При использовании катушки пробойного разряда имеют место резкие повышения потенциала и вакуум ослабевает быстрее, поскольку на разрушение электрода требуется очень непродолжительное время. При работе с некоторыми большими трубками, снабженными массивными углеродными головками, соединенными с платиновыми проводами, которые использовались в экспериментах с пробойным разрядом вместо обычного воздушного промежутка, было отмечено следующее: частицы углерода под действием мощного магнитного поля, в которое была помещена трубка, оседали ровными тонкими линиями в середине трубки, как показано на рисунке. Появление этих линий приписы-

валось отклонению или искажению разряда магнитным полем, но почему осадок появлялся в основном там, где влияние поля было наиболее сильным, было не вполне ясно. Еще одним интересным моментом, замеченным тогда же, было то, что сильное магнитное поле усиливает разрушение электродов, возможно, по причине вызываемых им частых прерываний, в результате чего между электродами возникает большая ЭДС.

Много можно было бы еще говорить о световых эффектах, возникающих в газах при низком или обычном давлении. Обладая современным опытом, мы не можем сказать, что сущность этих очаровательных феноменов достаточно изучена. Но работы в этом направлении ведутся с исключительным пылом.

Каждое направление научных изысканий имеет свою прелесть, но исследования в области электричества обладают особой притягательностью, ибо в царстве этой удивительной науки всякий эксперимент, всякое наблюдение любого рода манят нас за собой с невероятной силой. Однако мне лично кажется, что из всего множества наблюдавших нами чудесных явлений вакуумная трубка, возбуждаемая электрическим импульсом от удаленного источника, вспыхивающая во тьме и заливающая комнату дивным светом, является самым красивым феноменом из всех, что радуют наш взгляд. Еще интереснее это выглядит, когда, уменьшив количество основных разрядов через воздушный промежуток до очень небольшого числа и передвигая трубку, мы получаем всевозможные виды световых линий. Так, ради того, чтобы развлечь вас, я беру прямую длинную трубку, или квадратную, или квадратную, прикрепленную к прямой, и, вращая ее в руке, изображаю подобие спиц колеса, обмотки Грамма, вращение барабана, вращение двигателя переменного тока и т.д. Если смотреть издалека, эффект будет слабым, и значительная часть его красоты потерянется, но находясь поблизости или держа трубку в руке, невозможно устоять перед его очарованием.

Никола ТЕСЛА

Представляя вам эти не слишком значимые результаты, я не пытался выстроить и сочетать их, как подобает делать в строго научном исследовании, где каждый последующий вывод должен быть логическим следствием предыдущего, так чтобы внимательный читатель или слушатель мог предугадать его заранее. Я предпочел сосредоточить свои усилия на представлении новейших фактов или идей, которые могут послужить другим в качестве гипотез, и таким образом оправдать недостаток гармонии в моем изложении. Объяснения этих феноменов я давал с добросовестностью и душевным настроем студента, готового согласиться с тем, что они допускают и лучшее толкование. От того, что студент примет неверную точку зрения, не будет никакого особого вреда, но когда ошибаются великие умы, миру приходится дорого платить за их ошибки.

Научно-популярное издание

РАСКРЫТИЕ ТАЙНЫ

Никола Тесла

ТЕСЛА И ЕГО ПОДЛИННЫЕ ВЗГЛЯДЫ

Лучшие работы разных лет

Ответственный редактор *Н. Самохина*

Художественный редактор *В. Терещенко*

Компьютерная верстка *А. Захарова*

Корректор *Т. Павлова*

ООО "Издательство "Эксмо"

127299, Москва, ул. Клары Цеткин, д. 18/5. тел. 411-68-86,
956-39-21, факс. 411-68-86.

Home page: www.eksmo.ru E-mail: info@eksmo.ru

Подписано в печать 22.04.2010. Формат 84x108 ^{1/32}.

Гарнитура «Ньютон». Печать офсетная. Усл. печ. л. 16,8

Тираж 5000 экз. Заказ 3621

Отпечатано с готовых файлов заказчика в ОАО «ИПК
«Ульяновский Дом печати». 432980, г. Ульяновск, ул. Гончарова, 14

ISBN 978-5-699-41529-8



9 785699 415298 >

Оптовая торговля книгами «Эксмо»:

ООО «ТД «Эксмо». 142700, Московская обл., Ленинский р-н, г. Видное,
Белокаменное ш., д. 1, многоканальный тел. 411-50-74.
E-mail: reception@eksмо-sale.ru

**По вопросам приобретения книг «Эксмо» зарубежными оптовыми
покупателями обращаться в отдел зарубежных продаж ТД «Эксмо»**
E-mail: international@eksмо-sale.ru

International Sales: International wholesale customers should contact
Foreign Sales Department of Trading House «Eksmo» for their orders.
international@eksмо-sale.ru

**По вопросам заказа книг корпоративным клиентам,
в том числе в специальном оформлении,
обращаться по тел. 411-68-59 доб. 2115, 2117, 2118.
E-mail: vipzakaz@eksмо.ru**

**Оптовая торговля бумажно-беловыми
и канцелярскими товарами для школы и офиса «Канц-Эксмо»:**

Компания «Канц-Эксмо»: 142702, Московская обл., Ленинский р-н, г. Видное-2,
Белокаменное ш., д. 1, а/я 5. Тел./факс +7 (495) 745-28-87 (многоканальный).
e-mail: kanc@eksмо-sale.ru, сайт: www.kanc-eksмо.ru

Полный ассортимент книг издательства «Эксмо» для оптовых покупателей:
В Санкт-Петербурге: ООО СЗКО, пр-т Обуховской Обороны, д. 84Е.
Тел. (812) 365-46-03/04.

В Нижнем Новгороде: ООО ТД «Эксмо НН», ул. Маршала Воронова, д. 3.
Тел. (8312) 72-36-70.

В Казани: Филиал ООО «РДЦ-Самара», ул. Фрезерная, д. 5.
Тел. (843) 570-40-45/46.

В Ростове-на-Дону: ООО «РДЦ-Ростов», пр. Ставки, 243А.
Тел. (863) 220-19-34.

В Самаре: ООО «РДЦ-Самара», пр-т Кирова, д. 75/1, литер «Е».
Тел. (846) 269-66-70.

В Екатеринбурге: ООО «РДЦ-Екатеринбург», ул. Прибалтийская, д. 24а.
Тел. (343) 378-49-45.

В Киеве: ООО «РДЦ Эксмо-Украина», Московский пр-т, д. 9.
Тел./факс: (044) 495-79-80/81.

Во Львове: ТП ООО «Эксмо-Запад», ул. Бузкова, д. 2.
Тел./факс (032) 245-00-19.

В Симферополе: ООО «Эксмо-Крым», ул. Киевская, д. 153.
Тел./факс (0652) 22-90-03, 54-32-99.

В Казахстане: ТОО «РДЦ-Алматы», ул. Домбровского, д. За.
Тел./факс (727) 251-59-90/91. rdc-almaty@mail.ru

Полный ассортимент продукции издательства «Эксмо»:

В Москве в сети магазинов «Новый книжный»:

Центральный магазин — Москва, Сухаревская пл., 12. Тел. 937-85-81.

Волгоградский пр-т, д. 78, тел. 177-22-11; ул. Братиславская, д. 12. Тел. 346-99-95.
Информация о магазинах «Новый книжный» по тел. 780-58-81.

В Санкт-Петербурге в сети магазинов «Буквоед»:
«Магазин на Невском», д. 13. Тел. (812) 310-22-44.

**По вопросам размещения рекламы в книгах издательства «Эксмо»
обращаться в рекламный отдел. Тел. 411-68-74.**

В ЭКСМО вышли:

СЕРИЯ «РАСКРЫТЫЕ ТАЙНЫ»:

- *M Чейни. Тесла: человек из будущего*

Он жонглировал шаровыми молниями, вызывал землетрясение в Нью-Йорке, умел читать мысли и перемещать людей. Падение Тунгусского метеорита прочно связано с его именем, так же как таинственный «луч смерти», способный уничтожать целые армии. Легендарный изобретатель, ученый, на десятки лет опередивший свое время, Никола Тесла (1856—1943) до сих пор остается одной из самых загадочных личностей не столь давнего прошлого. Его открытия и изобретения всегда балансировали на грани добра и зла. Он подарил людям множество своих открытий, он преображал мир и умер практически в нищете. Его научное наследие до сих пор строго засекречено, а многие его рукописи просто исчезли. Не явится ли нам в ближайшем будущем новое открытие Николы Теслы? И каким оно будет?

- *O. Фейгин. Тесла и сверхсекретные проекты Пентагона*

Про Теслу во всем мире издано немало книг, но все они написаны писателями-беллетристами. Перед вами — первая книга о Тесле, написанная ученым-физиком, объяснившим «чудеса» Теслы с позиций квантовой физики и современных исследований в области тонких энергий и иных миров. Эта книга раскрывает читателю новые, еще не известные факты, касающиеся как жизни, так и удивительных научных достижений Николы Теслы.

- самые интересные факты биографии Теслы;
- удивительные открытия сербского гения и его обогнавшие эпоху научные взгляды;

- изобретения Теслы на службе военного ведомства США;
 - магнетрон Теслы и последствия знаменитого Филадельфийского эксперимента;
 - объяснения паранормальных способностей и загадочных открытий Теслы с позиций современных научных теорий и многие другие тайны сербского изобретателя открыты читателям в этой книге.
-
- *В. Лайн. Сверхсекретные архивы Теслы. Специальное расследование*

В этой книге изложены результаты многолетних архивных исследований В. Лайна, приведших к поистине сенсационному выводу: Никола Тесла изобрел «летающую тарелку» и теперь летательные аппараты подобного типа используются ВВС США!

В основе изобретения Теслы лежат открытые им и пока неизвестные большинству ученых свойства особой природной среды — эфира...

Почему же самое сенсационное изобретение Теслы оказалось засекреченным, а архивы Теслы, связанные с этим открытием, надежно скрыты в секретных хранилищах Пентагона?

Дело не только в военных тайнах. Автор книги убежден: открытый Теслой новый способ перемещения, более дешевый и экологичный, чем автомобильный транспорт, положит конец автомобильному бизнесу. Владельцы корпораций, связанных с производством машин и всего, что связано с ними, не хотят расставаться со своими миллиардами! Поэтому с самого начала изобретение Теслы было обречено на преследование — и это действительно имело место.

Величайшее изобретение Теслы до сих пор засекречено не столько из военных, сколько из коммерческих соображений!

- *A. Mariannis, N. Kovaleva. Аватарами Шамбалы: история, факты, пророчества*

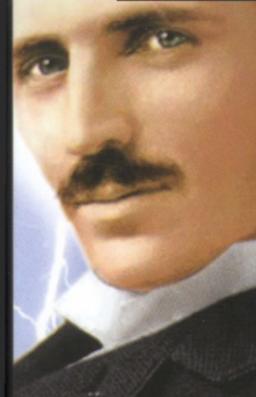
Аватары существуют не только в книгах и фильмах! На заре земной цивилизации посланники Космического разума пришли на Землю, чтобы содействовать эволюции человечества. Именно они, космические Аватары, основали на Земле древний центр Высшего разума — Шамбалу...

Эта книга освещает все вопросы, связанные с самым уникальным феноменом, существующим на нашей планете.

- Существует ли Шамбала?
- Когда, где и с какой целью она была основана на Земле?
- Кто такие Адепты Шамбалы и действительно ли Они обладают необычными способностями?
- На что похожа таинственная гималайская обитель и что можно там увидеть?
- Почему местонахождение Шамбалы до сих пор не обнаружено?
- Кого повстречали в Тибете члены экспедиции Шеффера, посланной Гитлером на поиски Шамбалы?
- Существует ли на самом деле загадочный метеорит, присланный на Землю из созвездия Орион и обладающий необыкновенным воздействием на все окружающее?
- Посещали ли Перихи Шамбалу?

- О чём Архаты Шамбалы — Махатмы — предупреждали советское правительство в 1926 году?
- Какие пророчества передали миру Адепты Шамбалы?
- Что ждёт планету после 2012 года, каким будет Апокалипсис и что поможет человечеству пережить смену космических эпох, свидетелями которой мы станем?

Ответы на эти и многие другие вопросы вы найдете в этой книге. Все публикации о Шамбала традиционно предлагают читателям лишь вопросы и загадки. Только эта книга раскрывает читателю все тайны феномена нашей планеты!



Тесла

И ЕГО ПОДЛИННЫЕ ВЗГЛЯДЫ

Вокруг имени загадочного сербского гения не утихают споры и научные дискуссии. Кто-то считает его подлинным гением, инженером-новатором, а кто-то – авантюристом и шарлатаном.

Кем же он был на самом деле?
Эта книга даст нам возможность узнать правду об этом от ... самого Теслы!

Подлинные взгляды и научные идеи Теслы изложены в его работах, вошедших в данный сборник. Благодаря этой книге каждый читатель сможет самостоятельно ответить на вопрос о том, кем был Тесла, каковы были его взгляды и в чем состояла его гениальность.

Nikola Tesla

ISBN 978-5-699-41529-8



9 785699 415298 >