

Спасибо, что скачали книгу в [бесплатной электронной библиотеке BooksCafe.Net](http://booksCafe.net)

[Все книги автора](#)

[Эта же книга в других форматах](#)

Приятного чтения!

## Никола Тесла

### Лекции

#### Предисловие

В настоящей книге собраны уникальные лекции Николы Теслы, в которых он представил новые, никому не известные результаты своих научных исследований и экспериментальной работы. Его лекции производили ошеломляющий эффект на слушателей, — а ими были всемирно известные ученые и инженеры, поскольку Тесла выступал в особо авторитетных научных и профессиональных учреждениях Америки, Англии и Франции.

По заведенному обычаю после лекции присутствующие могли свободно обратиться к лектору с вопросами, высказать собственное мнение и даже критические замечания, что в большинстве случаев перерастало в научно-технический диспут и коллективное обсуждение. Однако после лекций Теслы не было ни дискуссий, ни обмена мнениями, ни критики; да и быть не могло: Никола Тесла говорил о таких изобретениях и открытиях, о которых слушатели даже помыслить не могли.

Другая особенность лекций Теслы заключалась в том, что он давал описание и объяснение сути своих уже запатентованных изобретений и открытий. Кроме того, в них содержались абсолютно новые информация и материалы, которые он не хотел или не имел времени патентовать.

Все эти лекции были прочитаны им между 1888-м и 1897 годами, в возрасте от 32 до 41 года — период его наиболее интенсивной и плодотворной деятельности.

С первой лекцией Тесла выступил 16 мая 1888 года в Американском институте электроинженеров в Нью-Йорке. Предметом лекции стал изобретенный им индуктивный электродвигатель переменного тока, который был намного совершеннее и проще известных тогда двигателей постоянного тока. Двигатель Теслы совершил настоящую техническую революцию, и с тех пор по сегодняшний день во всем мире он используется в качестве основной, а зачастую и единственно доступной силы, приводящей в движение станки на заводах и фабриках, транспортные средства и бытовые механизмы...

В основу работы двигателя Теслы положено вращающееся магнитное поле, генерируемое переменным током, — изобретение, ставшее результатом многолетней напряженной мыслительной работы, начатой Теслой еще в студенческие годы.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> На замечание Теслы, что из современного электродвигателя, который слишком искрит, следовало бы изъять мудреный коллектор и щетки и использовать только переменный ток, профессор известного политехнического института в Граце, человек большой эрудиции, мистер Пешль заявил, обращаясь к студентам: «Быть может, мистер Тесла многого добьется, но воплощения этой его идеи — никогда. Это было бы не чем иным, как мифическим вечным двигателем».

Вторая лекция Теслы, данная им 20 мая 1891 года в Колумбийском университете (Нью-Йорк), и третья лекция, прочитанная в Лондоне в Институте электротехнических инженеров (3 февраля 1892 года) и в Королевском научном обществе (4 февраля того же года), были посвящены многочисленным впечатляющим экспериментам с переменным током высокой частоты и напряжения, создаваемым его новейшим изобретением, получившим с тех пор самое широкое распространение, — ВЧ трансформатором. Тесла использовал его в основном в своих экспериментах над электрическим светом. По просьбе французских ученых Тесла повторил эти лекции в Париже 19 февраля 1892 года перед Международной ассоциацией электротехников и Французским физическим обществом.

В этих лекциях, зачаровывающих и приводящих в изумление авторитетных ученых-физиков и электротехников, Тесла раскрыл всё богатство и многогранность своих идей, которые он воплотил в бесчисленных опытах, подтвердивших их практическую применимость и специфические свойства токов высокой частоты, которые, как он предсказывал, будут иметь первостепенную важность при передаче радиоволн. Тесла пропускал эти токи через себя, шокируя аудиторию, когда огненные искры и лучистое свечение окутывали его, образуя ауру.

*Рисунок, сделанный во время лекции Теслы в Колумбийском университете в Нью-Йорке, 1891*

*Сверкающие электронные лампы, заряженные высокочастотными токами Теслы (экспонировались на Всемирной выставке в Чикаго, 1893)*

*Первые из когда-либо полученных фотографий в фосфоресцирующем свете, сделанные в лаборатории Теслы (сняты Теслой и его другом Марком Твенем)*

Он знал, что в силу своих особых, хорошо известных ему свойств эти токи не могли причинить вреда. Лампочки в его руке испускали яркий свет, хотя не были подсоединены посредством проводов ни к какому источнику питания.

Четвертую лекцию Никола Тесла представил 24 февраля 1893 года в Институте Франклина в Филадельфии и 1 марта 1893 года в Национальной ассоциации электрического освещения в Сент-Луисе. Речь в них шла о свете и явлениях свечения, связанных с токами высокой частоты.

Помимо чрезвычайно интересной вступительной беседы о человеческом глазе как самом сложном и значимом из органов чувств, благодаря которому стал возможен мировой прогресс человека и всего человечества, Тесла проблемы искусственного освещения с поведал о новых способах решения использованием фосфоресцирующих свойств определенных веществ, проявляющихся под действием высокочастотных токов, для производства которых он нашел совершенно новые способы, технологии и средства.

Свою пятую лекцию Тесла читал с 13 по 15 сентября 1898 года перед Ассоциацией электротерапевтов в Буффало. Высокочастотные токи Теслы уже в то время можно было использовать в терапевтических и других устройствах.

*Уведомление об избрании Николы Теслы действительным членом Нью-Йоркской академии наук (27.05.1907)*

*Поперечное сечение и электрическая схема высокочастотного генератора Теслы*

Многие заболевания стали излечимыми благодаря этим токам. В этой лекции Тесла детально объяснил всё новаторство своего изобретения. То, что было ноу-хау в те времена, теперь широко применяется в мировой медицине. Изобретение Тесла сначала испытывал на себе, дабы убедиться в безвредности как самого устройства, так и явления нагревания определенных частей на которые направлено действие прибора.

*Гидроэлектростанция на Ниагаре, действующая по принципу системы многофазных переменных токов Теслы (1896)*

*Внутренний вид гидроэлектростанции на Ниагаре с генераторами многофазных переменных токов*

Он также вскользь упомянул о том, что электронагрев можно использовать в металлургии и горной промышленности.

Шестая лекция была прочитана им 6 апреля 1897 года в Нью-Йоркской академии наук. Отдав прежде должное Рентгену за эпохальное открытие им так называемых X-лучей, ранее физике неизвестных, Тесла приступил к рассказу о своих собственных достижениях. Речь шла о многочисленных универсальных высокочастотных генераторах, электроприводах и контроллерах электрических цепей, применимых в самых различных целях, в том числе для зарядки рентгеновских трубок. Помимо досконального знания им средств и способов производства токов очень высокой частоты и напряжения при использовании электрического резонанса, Тесла продемонстрировал глубокое понимание точных механизмов, которые он объединил посредством электрических цепей, обеспечив их стабильную и синхронную работу.<sup>2</sup>

*Никола Тесла в возрасте 61 года, когда он был награжден Золотой медалью Эдисона*

Так как содержащиеся в книге лекции связаны с наиболее значительными публичными выступлениями Николы Теслы, в нее также включены еще две его речи, произнесенные им исключительно по случаю знаменательных событий в его жизни. Первая из них прозвучала в Эликотт-клубе в Буффало 12 января 1897 года на торжестве по поводу открытия крупной гидроэлектростанции на Ниагарском водопаде, о которой он грезил еще будучи любознательным, с богатым воображением мальчиком из деревни Смиляны. Буффало был выбран еще и потому, что он был соединен с первой дальней линией электропередачи посредством многофазных токов, запатентованных Теслой ранее для передачи электроэнергии, когда он выиграл «войну токов» у сторонников постоянного тока (включая самого Эдисона). В своем выступлении Тесла подчеркнул преимущество переменного электрического тока — его можно производить, не загрязняя окружающую среду, что и доказала ГЭС на Ниагарском водопаде.

Другая официальная речь была произнесена Теслой 18 мая 1917 года на церемонии вручения ему Американским институтом инженеров одной из самых престижных наград в области электротехники Золотой медали Эдисона за научно-практическую деятельность. Присутствовавшие на собрании ученые и ведущие специалисты попросили его рассказать о своей жизни и работе, и Тесла увлеченно, и как всегда остроумно, поведал о необыкновенных обстоятельствах, событиях и происшествиях, которые случались в его жизни и работе.

Глубоко и всесторонне проникая в суть вещей и явлений, о которых он говорит, Тесла в своей речи использовал синтаксически сложные конструкции с многочисленными придаточными предложениями, разъясняющими все причины и следствия того, о чем шла речь в главном предложении.

Я убежден, что эта книга поможет читателям значительно обогатить свои познания о Тесле; те же, кто читает о нем впервые, получат полное представление о великом ученом,

<sup>2</sup> Эта лекция была найдена в архиве Музея Николы Теслы в виде машинописного текста с дополнениями и исправлениями, сделанными его рукой. Однако оригинальные фотографии, упоминаемые в тексте и значащиеся под номерами 13 и 14, обнаружить не удалось. На запрос музея из Нью-Йоркской академии наук пришел ответ, что целиком лекция не издавалась ни в одном журнале Соединенных Штатов. Тем не менее в книгу вошла большая часть его лекций о высокочастотных генераторах, стабилизаторах и других механизмах, более десяти из которых были запатентованы

изобретателе, философе' и гуманисте, намного опередившем не только свое, но и наше время, — человеку по имени Никола Тесла.

Войин Попович, инженер, профессор Белградского университета

## **1.Новый принцип устройства двигателей и трансформаторов переменного тока<sup>3</sup>**

Я желал бы высказать свою благодарность профессору Энтони за оказанную помощь. Мне также хотелось бы поблагодарить м-ра Поупа и м-ра Мартина за поддержку. У меня не было достаточно времени, чтобы подготовиться лучше и охватить предмет шире, как я бы того хотел, к тому же здоровье мое сейчас не самое лучшее. И потому прошу о снисхождении и надеюсь, что то небольшое, что я хочу представить вашему вниманию, заслужит одобрение.

Сейчас, когда существует столько мнений по поводу относительных достоинств систем, использующих переменный и постоянный токи, большое значение придается тому, можно ли успешно использовать переменный ток для работы двигателей. Трансформаторы, обладая множеством преимуществ, дали нам относительно совершенную систему распределения, и хотя, как и во всех областях знания, многое еще требует совершенствования, проделать в этом направлении осталось сравнительно немного. Передача же электроэнергии почти полностью происходит с помощью постоянного тока, и, несмотря на все затраченные усилия использовать для этих целей переменный ток, насколько известно, желаемого результата достигнуто не было. Из множества двигателей, работающих от переменного тока, можно упомянуть следующие: 1. Двигатель с последовательным возбуждением и разделенным полем. 2. Генератор переменного тока, чье поле возбуждается постоянными токами. 3. Двигатель Элью Томсона. 4. Комбинированный двигатель постоянного и переменного тока. Еще два двигателя этого типа вспомнились мне: 1. Двигатель, где одна обмотка соединена последовательно с трансформатором, а другая — со вторичной обмоткой трансформатора. 2. Двигатель, где обмотка якоря подключена к источнику тока, а обмотка возбуждения закорочена. Об этих двигателях я, однако, заметил только вскользь.

Предмет, который я имею удовольствие представить вашему вниманию, — это новая система распределения и передачи энергии переменными токами, имеющая особые преимущества, в особенности по отношению к двигателям, которые, в чем я уверен, будучи внедренными, покажут превосходное согласование с этими токами и результаты, ранее недостижимые без их использования, результаты, которые особенно желаемы для практики и которые не могут быть получены средствами постоянных токов.

Прежде чем углубиться в подробное описание этой системы, я полагаю необходимым сделать несколько замечаний касательно определенных условий, существующих для генераторов и двигателей постоянного тока, которые, хотя и широко известны, часто игнорируются.

Наши динамо-машины, и это хорошо известно, производят переменный ток, который мы выпрямляем посредством коллектора, сложного устройства и, скажем прямо, источника почти всех неприятностей при эксплуатации машин. Таким образом, полученные постоянные токи нельзя использовать в машинах, они должны быть — опять-таки при помощи подобного ненадежного устройства — преобразованы в свое первоначальное состояние — переменный ток. Функции, которые выполняет коллектор, носят внешний характер, и он ни в коем случае не воздействует на внутренний процесс работы машины. Следовательно, в действительности все машины — это машины переменного тока, а постоянными они являются только на участке внешней цепи при переходе от генератора к двигателю. Поэтому и только поэтому переменный ток более предпочтительное воплощение электроэнергии, а использование

<sup>3</sup> Лекция прочитана для сотрудников Американского института электроинженеров 16 мая 1888 года.

постоянного тока может быть оправдано только в том случае, если у нас имеются динамо-машины, которые вырабатывают, и двигатели, которые непосредственно используют такой ток.

Но действие коллектора двигателя двойное: во-первых, он реверсирует ток через двигатель и, во-вторых, он действует автоматически, поступательно сдвигая полюса одной из магнитных составляющих.

Осознав, что эти операции в системе бесполезны, необходимо заявить, что выпрямление переменного тока генератора и изменение направления тока в двигателе должны быть исключены, чтобы вызвать вращение двигателя, необходимо обеспечить поступательное смещение полюсов одного из его элементов.

И тогда сам по себе встает вопрос: Как этого добиться при помощи прямого действия переменного тока? Далее я расскажу, как мы пришли к такому результату.

В первом эксперименте барабан якоря состоял из двух пар катушек, расположенных друг к другу под прямым углом, а концы этих обмоток соединялись с двумя парами изолированных контактных колец как обычно. Кольцо изготовлено из тонких изолированных пластин листовой стали, на которое намотаны четыре катушки, каждые две противоположные катушки соединены последовательно, чтобы создать свободные полюсы на диаметрально противоположных сторонах кольца. Свободные концы катушек соединены с контактными кольцами ротора генератора так, чтобы образовать две независимые цепи, как показано на рисунке 9. Теперь понятно, для чего были предприняты такие действия, и я перехожу к диаграммам, то есть рисункам с 1 по 8а. При вращении ротора в генераторе с независимым возбуждением в катушках  $CC$  возникает ток, изменяющийся по величине и направлению в соответствии с хорошо известным законом. В положении, показанном на рисунке 1, ток в обмотке  $C$  равен нулю, в то время как катушка  $C$  пересечена максимальным магнитным потоком и подключения могут быть такими, что кольцо статора будет намагничено катушками  $C_1C_2$  так, как это обозначено символами  $NS$  на рисунке 1а. Эффект намагничивания от катушек  $CC$  равен нулю, так как эти катушки включены в цепь катушки  $C$ .

На рисунке 2 обмотки якоря показаны повернутыми на одну восьмую оборота. Рисунок 2а показывает соответствующее магнитное состояние кольца. В этот момент обмотка  $c$ , вырабатывает ток того же направления, что и прежде, но слабее, в то же время образуя на кольце полюсы обмотка  $c$  также вырабатывает ток того же направления, причем соединения таковы, что витки  $cc$  образуют полюсы  $ns$ , как показано на рисунке 2а. Результирующая полярность обозначается буквами  $NS$  и следует помнить, что полюсы кольца сдвинуты на одну восьмую относительно окружности.

На рисунке 3 якорь [ротор] завершил оборот на одну четверть. В этой фазе ток в обмотке  $C$  максимальный и такого направления, чтобы создать полюсы  $NS$  (на рисунке 3а), поскольку ток в обмотке  $C$  равен нулю и контур находится в нейтральном положении. Полюсы  $NS$ , таким образом, сдвинуты на одну четверть по отношению к окружности кольца<sup>4</sup> [ротора].

Рисунок 4 показывает обмотку  $C C$  в еще более сдвинутом положении, когда якорь завершил оборот на три восьмых. В этот момент обмотка  $C$  всё еще вырабатывает ток того же направления, как и прежде, но слабее, в то же время образуя сравнительно слабые полюсы  $ns$  (на рисунке 4а). Ток в обмотке  $C$  той же силы, но обратного направления. Результат этого, следовательно, в образовании на кольце полюсов  $n_1$  и  $s_1$  как показано на рисунке, и полярности  $NS$ , причем полюсы теперь сдвинуты на три восьмых по отношению к окружности кольца.

4 Здесь термин «кольцо» употребляется в смысле «кольцевой магнитопровод».

На рисунке 5 показано, что якорь завершил оборот наполовину, а результирующее магнитное состояние кольца показано на рисунке 5а. Теперь ток в обмотке С равен нулю, в то время как обмотка  $C_1$  вырабатывает наиболее сильный ток того же направления, что и прежде; намагничивание сейчас производят витки  $c_1$   $c_1$  и только они, как показано на рисунке 5а, причем следует помнить, что полюсы  $NS$  сдвинуты по отношению к окружности кольца наполовину. Во время второй половины оборота все действия повторяются, как показано на рисунках с 6 по 8а.

Рисунки помогают понять, что во время одного оборота якоря генератора полюсы кольца один раз оборачиваются по окружности и каждый оборот производит одинаковый результат, при этом полюсы вращаются очень быстро, находясь в согласии с вращением якоря. Если реверсировать подключение одной из обмоток, то направление вращения полюсов изменится на противоположное направление, но действия при этом будут совершаться те же. Вместо того чтобы использовать четыре провода, с тем же успехом можно использовать три, причем один будет обратным для обоих контуров.

Это перемещение, или вращение полюсов, проявляется в ряде любопытных явлений. Если стальной диск или диск, изготовленный из любого другого магнитного металла, аккуратно насаженный на какую-либо ось, поднести к кольцу, он начинает быстро вращаться, причем направление вращения изменяется в зависимости от положения диска. Например, снаружи и внутри кольца он движется в противоположных направлениях, оставаясь в покое в положении, симметричном кольцу. Это легко объяснить. Каждый раз при приближении полюса, этот полюс индуцирует в ближайшей точке диска противоположный полюс и возникает притяжение; благодаря этому полюс сдвигается далее и возникает тангенциальное притяжение. Действие повторяется

#### *Рис. 9*

вновь и вновь, в результате чего имеем более или менее быстрое вращение диска. Поскольку сила притяжения действует на ту часть диска, которая ближе всего к кольцу, то вращение внутрь и наружу, то есть вправо и влево происходит в разных направлениях, как показано на рисунке 9. Если диск помещен симметрично кольцу, то сила притяжения по обеим сторонам его одинакова, и вращения не происходит.

Это действие основано на магнитной инерции железа; по этой причине большему влиянию подвержен диск из твердой стали, нежели диск из мягкого железа. Последний способен изменять магнитные поля. Такой диск оказался очень полезным инструментом в проводимых исследованиях, так как позволял мне заметить все особенности происходящих событий. Любопытное воздействие также испытывают на себе железные опилки. Если насыпать немного опилок на бумагу и поднести к внешней стороне кольца поближе, то можно заметить, что они начинают колебаться, оставаясь в то же время на месте, даже если лист бумаги двигать взад и вперед; но если поднять лист на определенную высоту, которая зависит от интенсивности полюсов и скорости вращения, опилки разлетаются в стороны в направлении, обратном предполагаемому вращению полюсов. Если лист бумаги с опилками положить плашмя на кольцо и внезапно подать ток, можно легко пронаблюдать существование магнитных вихрей.

Для того чтобы продемонстрировать полное сходство между кольцом и вращающимся магнитом, сильный электромагнит механически вращали, при этом наблюдались все явления, идентичные описанным выше.

Очевидно, что вращение полюсов вызывает явление индукции и может быть использовано для выработки тока в замкнутом проводнике, помещенном в магнитное поле. Для этой цели удобно намотать на кольцо две наложенные друг на друга обмотки, которые

образуют соответственно первичный и вторичный контуры, как показано на рисунке 10. Чтобы добиться наиболее экономичных результатов, магнитная цепь должна быть полностью замкнута и видоизменена в зависимости от конкретных условий.

Эффект индукции, наблюдающийся во вторичной обмотке объясняется главным образом сдвигом или движением магнитного поля; но токи в цепях могут возникать также и вследствие изменений напряженности полюсов. Однако если правильно сконструировать генератор и определить магнитный эффект первичной обмотки, от последнего явления можно избавиться. Если поддерживать постоянную напряженность магнитного поля, то действие прибора будет идеальным и мы будем иметь тот же результат, как если бы сдвиг происходил при помощи коллектора с бесконечно огромным числом пластин. В этом случае теоретически соотношение между магнитным воздействием каждого витка первичной обмотки и их результирующим магнитным действием можно выразить как уравнение окружности, центр которой совпадает с центром прямоугольной двухосной системы координат, и радиус которой есть результирующая величина и координаты обеих составляющих. Они есть соответственно синус и косинус угла  $\alpha$  между радиусом и одной из осей ( $OX$ ). Взглянув на рисунок 11, увидим, что  $r^2 = x^2 + y^2$ , где  $x = r \cos \alpha$ , а  $y = r \sin \alpha$ .

Допустим, что намагничивание каждой из обмоток в трансформаторе пропорционально силе тока — что можно допустить для малых величин намагничивания, — тогда  $x = Kc$ , а  $y = Kc_1$ , где  $K$  — величина постоянная, а  $c$  и  $c_1$  — величины силы тока в обеих обмотках. Если предположить далее, что поле в генераторе однородно, то для постоянной скорости  $c = K_1 \sin \alpha$ , а  $c = K_1 \sin (90^\circ + \alpha) = K_1 \cos \alpha$ , где  $K_1$  — величина постоянная (см. рисунок 12). Следовательно,  $x = Kc = KK_1 \cos \alpha$ ;  $y = Kc_1 = KK_1 \sin \alpha$ , и  $KK = r$ .

Это означает, что в однородном поле расположение обмоток под прямым углом обеспечит теоретический результат, а напряженность двигающихся полюсов будет постоянной. Но из выражения  $r^2 = x^2 + y^2$  следует, что  $y = 0$ ,  $r = x$ , т. е. совокупное намагничивание обеих обмоток равно по величине магнитному действию одной обмотки в точке максимума. В трансформаторах и в некоторых типах моторов флуктуации полюсов не имеют особого значения, но в других типах моторов желательно иметь теоретический результат.

После применения этого принципа на практике были созданы два типа моторов. Первый тип характеризуется сравнительно слабым вращательным действием в начале работы, но затем поддерживает постоянную скорость при любой нагрузке. Этот двигатель назван синхронным. Второй тип создает хорошее усилие вначале, но скорость его вращения зависит от нагрузки.

Эти моторы могут приводиться в действие тремя способами: 1. Только от источника переменного тока. 2. От совместного действия переменных и наведенных токов. 3. От совместного действия переменного и постоянного тока.

Простейший синхронный двигатель можно получить, если взять кольцо из тонкого проката, снабженное четырьмя обмотками, служащими полюсами, и соединить таким же способом, как показано [рисунок 9]. Железный диск с удаленными по обеим сторонам секторами может служить якорем. Такой двигатель показан на рисунке 9. Если диску позволить свободно двигаться внутри кольца в непосредственной близости от полюсов, очевидно, что поскольку полюсы перемещаются, он, вследствие своего стремления находиться в точке, где есть наибольшее количество силовых линий, будет точно следовать движению полюсов и его движение будет синхронным движению полюсов якоря генератора, т. е. в определенном положении, показанном на рисунке 9, в котором один оборот якоря производит два импульса тока в каждом контуре. Очевидно, что если при одном обороте производится большее количество импульсов, то и скорость вращения мотора возрастает. Если допустить, что сила притяжения, оказываемая на диск, наиболее велика, когда он ближе всего к полюсам, то понятно, что такой мотор будет работать с одинаковой скоростью при всех нагрузках в пределах своей мощности.

Для облегчения запуска диск можно снабдить обмоткой, замкнутой на себя. Преимущество использования подобной обмотки очевидно. При запуске токи, возбуждаемые в обмотке, сильно электризуют диск и увеличивают силу притяжения, с которой кольцо воздействует на него; и в то время, как токи возбуждаются в обмотке, пока скорость вращения якоря меньше скорости вращения полюсов, двигатель может совершать приличную работу даже до того, как наберет необходимые обороты. Если учесть, что напряженность полюсов постоянна, то никаких токов не будет вырабатываться в обмотке, когда двигатель вращается с нормальной скоростью.

Вместо того чтобы замыкать обмотку на себя, ее выводы можно соединить со скользящими контактными кольцами и с соответствующего источника подать на них постоянный ток. Чтобы запустить такой двигатель, надо сначала замкнуть обмотку на себя, а затем, когда скорость вращения станет нормальной или почти нормальной, подать постоянный ток. Если диск будет сильно намагничен постоянным током, двигатель может не запуститься, а если он будет слабо намагничен, или в целом магнитное воздействие кольца будет преобладающим, то он запустится и наберет нормальные обороты. Такой двигатель вращается с абсолютно одинаковой скоростью при любой нагрузке. Было также замечено, что, если движущая сила генератора не слишком высока, то при проверке мотора, скорость генератора уменьшается синхронно со скоростью вращения мотора. Характерной чертой этого двигателя является то, что направление вращения не меняется в зависимости от перемены полярности источника постоянного тока.

Синхронность этих моторов можно по-разному продемонстрировать экспериментальным путем. Для этой цели лучше всего взять мотор, который состоит из стационарного магнита и якоря, который вращается в поле магнита, как показано на рисунке 13. В данном случае перемещение полюсов якоря заставляет его вращаться в противоположном направлении. В результате, при достижении нормальной скорости вращения, полюсы якоря принимают фиксированное положение относительно поля магнита, и он намагничивается индукционно, причем полярность ярко выражена. Если кусок мягкого железа поднести к магниту, то поначалу он притягивается и вибрирует, причем эта вибрация порождается изменением полярности магнита, но по мере увеличения скорости вращения якоря вибрация всё уменьшается и в конце концов затухает совсем. Тогда сила притяжения железа невелика, но постоянна, что показывает, что синхронность достигнута и магнит питается индукционно.

Диск тоже можно использовать для такого опыта. Если поднести его довольно близко к якорю, он будет поворачиваться до тех пор, пока скорость вращения полюсов превышает скорость вращения якоря; но как только будет достигнута нормальная скорость или около того, он перестает вращаться и постоянно притягивается.

Грубый, но очень показательный пример дает нам лампа накаливания. Если включить ее в цепь с источником постоянного тока последовательно с магнитной катушкой, то можно наблюдать быстрые флуктуации в виде мигания света, которые находятся в соответствии с наведенными токами в катушке, которые существуют поначалу; но с увеличением скорости, мигание становится всё реже и реже и прекращается совсем, указывая на то, что двигатель набрал обороты.

Телефонный аппарат — это наиболее чувствительный прибор; если его соединить в цепь с любым мотором, то синхронизм можно легко обнаружить по затуханию наведенных токов.

В двигателях синхронного типа предпочтительно поддерживать движущееся магнитное поле на постоянном уровне, в особенности, если магниты не разделены должным образом.

Как обеспечить хорошее тяговое усилие, вот, что долго занимало умы. Для того чтобы добиться такого результата, необходимо было создать конструкцию, где полюсы одной части мотора движутся благодаря переменному току источника, а полюсы, возникающие в другой

его части, должны всегда находиться в соответствии с ними, независимо от скорости вращения мотора. Такое условие соблюдается в электродвигателях постоянного тока. Но в синхронном двигателе, который мы описываем, это условие соблюдается только при нормальной скорости вращения.

Этой цели удалось достичь, поместив внутрь кольца стальной сердечник с несколькими независимыми обмотками, замкнутыми на себя. Двух обмоток, расположенных под прямым углом друг к другу, как показано на рисунке 14, вполне достаточно, но чем их больше, тем лучше. Из такой конструкции следует, что, когда полюсы кольца движутся, в замкнутых обмотках якоря возникают токи. Эти токи наиболее сильны в точках, где более всего силовых линий поля, и их действие таково, что они создают полюсы на якоре под прямым углом к полюсам кольца, по крайней мере теоретически; и поскольку это происходит независимо от скорости вращения, т. е. что касается расположения полюсов, — окружность кольца постоянно подвергается действию силы притяжения. Во многих отношениях эти моторы похожи на моторы постоянного тока. Если подключить нагрузку, то скорость, а также сопротивление мотора уменьшаются и через электризирующие обмотки проходит ток большей силы, что увеличивает мощность. После того, как убрали нагрузку, возрастает противоэлектродвижущая сила, и сила тока в первичных обмотках уменьшается. Без нагрузки скорость вращения равна или примерно равна скорости вращения полюсов магнита.

Позже было обнаружено, что тяговое усилие в таких моторах полностью равно усилию в моторах постоянного тока. Кажется, что усилие достигает наибольшей величины, когда на якоре и на магните отсутствуют выступы; но так как при такой конструкции поле не может достигать высокой концентрации, вероятно, наилучшего результата можно достичь, когда выступами снабжен один из элементов системы. В общем, можно сделать вывод, что выступы уменьшают вращающий момент и улучшают синхронизацию.

Характерной чертой этого типа двигателей является их способность очень быстро менять направление вращения. Это есть следствие особенности в работе мотора. Допустим, что якорь вращается, и направление вращения полюсов меняется. В этом случае наш аппарат представляет собой динамо-машину, причем энергией для движения этой машины служит кинетическая энергия движения якоря, а скорость его вращения — это сумма скоростей якоря и полюсов. Если мы допустим, что количество энергии, необходимое для вращения такой динамо-машины будет пропорционально одной трети скорости, то уже только по этой причине направление вращения якоря можно быстро изменить. Но одновременно с этим вступает в действие другой фактор, а именно: так как направление вращения полюсов по отношению к якору изменилось, двигатель начинает действовать как трансформатор, в котором сопротивление вторичной обмотки ненормально уменьшено вследствие образования в ней дополнительной электродвижущей силы. Благодаря этим двум причинам реверс становится моментальным.

Существует несколько различных способов достижения постоянной скорости вращения и хорошего тягового усилия при запуске. Например, два якоря, один для вращающего момента, а другой для синхронизации, могут быть установлены совместно и при необходимости использоваться, или якорь можно раскручивать для достижения вращательного усилия, но более или менее внушительного результата по улучшению синхронизации можно достичь, если правильно сконструировать железный сердечник, или множеством иных способов.

Для достижения необходимой фазы токов в обеих цепях проще всего расположить две катушки под прямым углом — это очевидный подход; но такой же результат можно получить множеством других способов в зависимости от применяемой машины.

Любая из современных динамо-машин может быть приспособлена для этих целей, если вывести контакты в нужных местах обмотки генератора. На якоре с замкнутым контуром, таком, какой используется в двигателе постоянного тока, лучше всего сделать четыре вывода в равноудаленных местах или пластинах коллектора и соединить их с четырьмя

изолированными контактными кольцами на валу. В этом случае каждый из контуров мотора соединяется с двумя диаметрально противоположными пластинами коллектора. В таком виде двигатель можно эксплуатировать в половину мощности и по трехпроводной схеме, соединив контуры мотора в надлежащем порядке с тремя контактными кольцами.

В многополюсных динамо-машинах, таких, какие используются в преобразовательных системах, требуемая фаза получается путем наматывания двух серий катушек таким образом, чтобы в то время, как витки одной секции или серии создавали максимальный ток, витки другой находились в нейтральной позиции или около того, вследствие чего обе секции обмоток могут подвергаться одновременно или последовательно действию магнитного поля.

В основном цепи двигателей могут быть расположены подобным образом и их реализация может быть различной в зависимости от конкретных требований, но самый простой и практичный способ — снабдить неподвижную часть мотора первичной обмоткой, таким образом удастся избежать применения скользящих контактов. В этом случае обмотки магнита в обоих контурах соединяются попеременно, т. е. 1,3,5... в одном и 2,4,6... в другом, и обмотки каждой цепи могут соединяться одинаково или, напротив, попеременно; в последнем случае мы будем иметь двигатель с числом полюсов вдвое меньшим и работать он будет по-другому. Рисунки 15, 16 и 17 показывают три различные фазы, причем обмотки магнита в каждом контуре соединены попеременно оппозитно. В данном случае всегда будем иметь четыре полюса, как на рисунках 15 и 17, четыре зубца будут нейтральны, а на рисунке 16 два расположенных рядом зубца имеют одинаковую полярность. Если обмотки соединены одинаково, то имеем восемь попеременных полюсов, как обозначено буквами  $n's'$  на рисунке 15.

Применение многополюсных моторов дает преимущество столь необходимое, сколь недостижимое в двигателях постоянного тока, а именно: можно сделать так, чтобы двигатель работал с заданной скоростью независимо от недостатков конструкции, нагрузки и, в определенных пределах, электродвижущей и силы тока.

В общей системе распределения, как эта, следует придерживаться такой схемы. В качестве центрального источника надлежит использовать генератор со значительным числом полюсов. Двигатели, питающиеся от этого генератора, должны быть синхронными, но обладать значительным вращательным моментом для надежного запуска.

При соблюдении требований к конструкции можно будет заметить, что скорость вращения каждого мотора находится в обратной зависимости от его габаритов, таким же образом следует подходить к выбору числа полюсов. Однако особые требования могут внести изменения в это правило. С учетом этого хорошо было бы снабдить каждый мотор большим числом полюсных зубцов и обмоток, их количество должно быть кратным двум или трем. Это поможет простым изменением соединений обмоток адаптировать мотор для конкретных требований.

Если число полюсов в двигателе четное, то он будет работать плавно, и вы достигнете нужного результата; если же это не подходит, то лучше всего удвоить число полюсов и соединить их, как было описано выше, так, чтобы выходила половина числа пар полюсов. Например, у генератора 12 полюсов, а нужно получить скорость  $12/7$  скорости генератора. Для этого потребуется мотор с семью зубцами или магнитами, а такой мотор нельзя правильно соединить в цепь, если только не использовать 14 обмоток якоря, а это потребует применения скользящих контактов. Во избежание этого мотор должен иметь четырнадцать магнитов, включая по семь в каждую цепь попеременно. Якорь должен иметь четырнадцать замкнутых катушек. Мотор не будет работать идеально, как с четным числом полюсов, но, по крайней мере, его недостаток не будет столь серьезным.

Однако недостатки, являющиеся следствием такой несимметричной формы, уменьшаются в той же пропорции, в какой увеличится число полюсов. Если генератор имеет, скажем,  $n$ , а мотор  $n_1$  полюсов, то скорость мотора будет равна скорости генератора, умноженной на дробь  $n/n_1$ .

Скорость вращения мотора в целом зависит от количества полюсов, но возможны исключения. Скорость может меняться в зависимости от фазы тока в контурах или от характера импульса тока, или от интервала между импульсами, или от групп импульсов. Некоторые возможные случаи показаны на рисунках 18, 19, 20, 21, из которых всё ясно. На рисунке 18 показано наиболее часто встречающееся положение дел, когда достигается наилучший результат.

В таком случае, если применяется типичный двигатель, показанный на рисунке 9, одна полная волна в каждом контуре дает один полный оборот двигателя. На рисунке 19 такой же результат обеспечен одной волной в каждом контуре, когда импульсы следуют друг за другом, на рисунке 20 — четырьмя, а на рисунке 21 — восемью волнами.

Такими средствами можно достигать любой скорости, конечно, в пределах практических нужд. Эта система имеет еще одно преимущество, помимо прочих, — оно заключается в ее простоте. При полной нагрузке моторы показывают КПД, идентичный моторам постоянного тока. Трансформаторы демонстрируют дополнительное преимущество своей способностью питать двигатель. Они могут быть подобным же образом модифицированы и это облегчит внедрение моторов и их адаптацию для практических нужд. Их КПД должен быть выше, чем у современных, и вот на чем я основываю свое мнение.

В нынешнем трансформаторе, мы производим ток во вторичной обмотке путем изменения силы первичных токов или токов возбуждения. Если мы допустим пропорциональность по отношению к железному сердечнику, то индукция во вторичной обмотке будет пропорциональна суммарному количеству вариаций силы тока возбуждения за единицу времени; из чего следует, что для данной вариации любое увеличение продолжительности первичного тока ведет к пропорциональной потере. Для того чтобы получить быстрые изменения силы тока, что существенно для эффективной индукции, применяются волнистые поверхности. Это практически приводит лишь к недостаткам. Например, таким: увеличение стоимости и уменьшение КПД генератора, энергопотери при нагревании сердечников, а также уменьшение мощности трансформатора, так как сердечник используется нерационально, и реверсирование тока слишком быстрое. На определенных фазах индукция слишком мала, что будет видно из представленных графиков, возможны периоды бездействия, если есть интервалы между последовательными импульсами тока и волнами. При сдвиге полюсов в трансформаторе, а следовательно, и индукционных токов, индукция носит идеальный характер, оказывая максимальное воздействие. Разумно было бы также предположить, что сдвиг полюсов приведет к меньшим энергопотерям, чем реверсирование тока.

## ОБСУЖДЕНИЕ

*М-р Мартин.* Полагаю, что профессор Энтони присутствует, и поскольку он уделил некоторое внимание этому предмету, я думаю, он смог бы должным образом дополнить доклад м-ра Теслы некоторыми замечаниями.

*М-р Тесла.* Еще раз хотелось бы выразить благодарность профессору Энтони за оказанную помощь. Надеюсь, он сможет объяснить многие особенности системы, на которых я не смог остановиться.

*Профессор Энтони.* Г-н председатель, господа, было уже сказано, что я имею некоторое отношение к этим типам моторов. Я очень рад подтвердить лично то, что м-р Тесла уже представил вашему вниманию относительно работы этих моторов, и признаюсь, когда я впервые увидел, как работают эти моторы, понял, насколько это замечательно. После моего первого визита в мастерские м-ра Теслы некоторые двигатели, видимо, вот эти два, которые находятся сейчас на столе, были представлены мне, чтобы произвести испытания их

эффективности и, скорее всего, вас более заинтересует сам процесс, чем всё, что я вам о нем скажу. К сожалению, со мной нет точных цифр, которые мы получили в результате произведенных опытов, но я воспроизведу кое-что по памяти.

Этот маленький моторчик, который вы видите, дал примерно половину лошадиной силы и КПД его оказался примерно чуть выше 50 %, что я лично счел высоким показателем для таких размеров, поскольку мы обычно не ожидаем такого же КПД, как от больших. Это, как я полагаю, и есть «armature»,<sup>5</sup> который так назвал м-р Тесла за высокий вращающий момент. Этот маленький шкив, около трех дюймов в диаметре, выдал тягу примерно в пятьдесят фунтов, насколько я помню его в работе, так что вы видите, усилие довольно значительное, и это также видно из той скорости, с которой якорь меняет направление вращения при перемене соотношения двух токов, которые протекают через две оппозитные катушки. Это можно сделать, переместив провода или просто перебросив переключатель на одном из контуров, и якорь остановится и начнет обратное вращение настолько быстро, что почти невозможно разобрать, когда направление изменилось. Это также демонстрирует значительный крутящий момент якоря. Этот мотор (я говорю сейчас о втором) дал нам, я думаю, примерно  $\frac{1}{4}$  л.с. и КПД немного выше 60 %. Он работает с таким якорем, как здесь, почти со скоростью генератора даже с большой нагрузкой. Когда нагрузку увеличили до максимума, КПД стал немного уменьшаться, скорость вращения замедлилась. Как я теперь припоминаю, она понизилась до 2 800, и держалась, как вы сами видите, довольно близко к показателю скорости генератора под большой нагрузкой.

Я немного могу добавить к тому, о чем м-р Тесла уже рассказал. Я несколько не сомневаюсь, что все вы проявите не меньший интерес к их работе, чем проявил в свое время я. Так мы действительно лучше всего увидим, что могут делать моторы.

*М-р Тесла.* Г-н председатель, джентльмены, профессор Энтони сейчас указал, что скорость вращения несколько упала при увеличении нагрузки. Это произошло оттого, что якорь такой конструкции должен давать большое усилие с момента запуска. Но если мы сделаем якорь, предназначенный только для синхронной работы, скорость вращения останется такой же, несмотря на нагрузку; единственным недостатком будет то, что вначале крутящий момент настолько слаб, что он может не запуститься. Если мы применим якорь, состоящий из отрезного куска стали с обмоткой, он будет сохранять скорость вращения при любой нагрузке. Важность поддержания напряженности магнитного поля полюса на постоянном уровне заключается в том, что если ее добиться, мы сможем использовать вместо составного якоря обычный стальной брусок. Нужно только иметь замкнутое магнитное поле. Вы и сами можете убедиться: если полюсы зафиксированы, то нет необходимости делить якорь в том случае, если величина силы постоянна. Но если величина магнитного поля колеблется, то якорь необходимо делить, к такому выводу я пришел экспериментальным путем. Я также выяснил, что в тех опытах, которые проводил профессор Энтони, результаты были превосходными. Я отношу такие результаты к тому, что динамо-машина вырабатывала сильное поле, якорь был маленьким, а поле очень концентрированным, и именно поэтому результаты были близки к теоретическим.

*Профессор Томсон.* Я был очень заинтересован описанием этого небольшого, но восхитительного мотора, приведенного в действие м-ром Теслой. Насколько вам должно быть известно, я работал примерно в том же направлении, пытаясь достичь того же результата. Опыты, которые я производил, заключались в использовании одноконтурной схемы — не двухконтурной, которая работает в моторе, использующем принцип переменности для производства вращения. Со времени последнего ежегодного заседания института я занимался разработкой и совершенствованием, насколько позволяло время, якоря с замкнутой обмоткой, если мне будет позволено так его назвать, работающего в переменном поле. То есть, план, которому я следовал и который я представил на рассмотрение института в прошлом году, подразумевал создание листового магнита, в поле которого помещается

5 Armature [англ. броня, панцирь] — в электротехнике якорь.

якорь, также составной, имеющий вокруг себя обмотку, которая периодически коротко замыкается в течение одного оборота при помощи соответствующего замыкателя. Я изготовил несколько таких моторов различной конструкции, и все они одновременно запускаются из состояния покоя и развивают определенную мощность, а некоторые из них проявляют при скоростях, близких к скорости колебаний динамо-машины, тенденцию к синхронизации. В этой точке их вращательное усилие немного сильнее указанного. Думаю, что в некоторых случаях оно гораздо сильнее. Я надеюсь в скором времени представить некоторые результаты моей работы вниманию института. И поэтому воздержусь от дальнейших комментариев по поводу представленных нашему вниманию двигателей. Несомненно, есть перспектива для развития электромоторов переменного тока, и вне всяких сомнений возможно создание моторов, которые будут превосходить по показателям электромоторы постоянного тока.

*М-р Тесла.* Господа, я должен сказать, что выступление такого человека, как профессор Томсон, который является лидером в нашей профессии, очень мне льстит. Могу сказать, что я работал параллельно с ним в одной и той же области, не зная о том, что он меня предвосхитил. Я создал двигатель, идентичный тому, который создал он, но он сделал это раньше. Я уверен, хотя мотор именно такой конструкции имеет тот недостаток, что пара щеток вынуждена коротко замыкать обмотку якоря, он может иметь практическое применение по той простой причине, что представляет собой такой трансформатор, который, как все мы знаем, можно довести до высокого КПД. С другой стороны, якорь можно изготовить из сравнительно хорошего проводника и тогда снимается вопрос о создании короткозамкнутой обмотки. А это действие всегда приводит к максимальному эффекту и оно, несомненно, более предпочтительно, чем перемещение полюсов посредством коллектора.

## **ТЕСЛА ОТВЕЧАЕТ Д-РУ ЛУИСУ ДУНКАНУ И ОБЪЯСНЯЕТ ДЕЙСТВИЕ МОТОРА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

Редактору «Electrical Review»

В номере вашего издания за прошлую неделю я обнаружил заметку м-ра Дункана касательно моих электродвигателей переменного тока.

Насколько я понимаю, д-р Дункан пока не имел возможности ознакомиться по-настоящему с моими изобретениями, и я не могу рассматривать его статью как критическую, но я бы хотел выразить уважение к его мнению и потому кратко остановлюсь на основных характеристиках моего изобретения в той мере, в коей они затронуты в вышеупомянутой статье.

Принцип действия моего мотора легко будет понять из нижеследующего.

При пропускании определенным образом переменного тока через независимые цепи мотора создается непрерывное смещение или вращение полюсов. Это смещение более или менее постоянно в соответствии с конструкцией мотора, его характеристиками и относительной фазой приложенного тока, и я показал теоретические условия, которые должны существовать для обеспечения наиболее совершенной работы.

Если на кольцо из листового железа намотать четыре обмотки и выполнить аналогичное соединение цепей генератора переменного тока, приспособленного для этой цели, прохождение тока через обмотки теоретически вызовет вращение полюсов кольца, практически же в серии экспериментов я продемонстрировал полную аналогию между таким кольцом и вращающимся магнитом. Исходя из этого принципа, мы имеем два вида моторов с совершенно различными характеристиками: один предназначен для постоянной, другой для переменной нагрузки.

Недопонимание д-ра Дункана я отношу к тому, что характерные особенности того и другого типа моторов еще не описали. С графическим изображением второго типа можно

познакомиться в журнале «Electrical Review» от 12 мая (рисунок 1, с. 1). Здесь якорь мотора имеет две обмотки, расположенные под прямым углом друг к другу. Возможно, требуется, в соответствии с общепринятым мнением, симметричное расположение полюсов. Я полагаю рациональным якорь, имеющий несколько диаметрально противоположно намотанных обмоток или проводников, замкнутых на себя, и образующих столько же независимых контуров. Теперь предположим, что кольцо постоянно подвергается воздействию магнитных полей таким образом, что выявляет два полюса ( $N$  и  $S$ ), диаметрально противоположных, и их вращают вручную. Когда якорь неподвижен, вращение кольцевого магнита возбуждает токи в замкнутых обмотках якоря. Эти токи имеют наибольшую силу в точках с максимальной напряженностью, и они образуют полюсы на сердечнике якоря под прямым углом к полюсам кольца. Конечно, имеются и другие сопутствующие факторы, искажающие это явление, но для целей настоящего исследования ими можно пренебречь. Что касается положения полюсов на сердечнике якоря, токи, генерируемые в обмотках якоря, действуют таким же образом и будут создавать полюсы якоря в том же положении по отношению к полюсам кольца в любом положении и независимо от скорости. В результате притяжения между якорем и кольцом возникает постоянное вращающееся усилие, такое же, как в моторах постоянного тока с большим числом якорных обмоток. Если якорю позволить вращаться, он будет вращаться в направлении вращения магнитного поля кольца; индуцируемый ток уменьшается по мере увеличения скорости до тех пор, пока якорь не достигнет скорости, близкой к скорости вращения магнитного поля, такой, чтобы ток, протекающий через обмотки, был достаточен для поддержания вращения. Если вместо этого статор будет вращаться вручную и полюсы будут сдвигаться таким образом, то переменные токи в обоих контурах будут возникать таким же образом.

Теперь сравним эту систему с системой постоянного тока. В последней мы имеем переменные токи, возбуждаемые в генераторе и в обмотках мотора, а также есть устройства, которые преобразуют ток; эти устройства, кроме всего прочего, сдвигают полюсы на роторе, и здесь мы имеем те же элементы и идентичную работу, но без коммутирующих устройств. С учетом сказанного ясно, что эти устройства не являются необходимыми для работы; так системы переменного тока, как минимум во многих отношениях, покажут полное подобие системам постоянного тока, и моторы будут работать точно так же, как моторы постоянного тока. Если нагрузка увеличивается, то скорость уменьшается и вращающий момент соответственно увеличивается, так как через катушки протекает больший ток; при отключении нагрузки скорость увеличивается и ток, а соответственно и сила уменьшаются. Конечно, вращательное усилие наибольшее, когда якорь в покое.

Но поскольку аналогия полная, что мы скажем о максимальном КПД и силе тока, который проходит через мотор без нагрузки? Давайте вспомним о том, что мы говорим о переменном токе. В данном случае мотор представляет собой трансформатор, в котором токи возникают путем индуцированного воздействия, а не реверсированием; как и ожидается, КПД достигает максимальных значений при максимальной нагрузке. Что касается тока, по крайней мере в соответствующих условиях, он может варьироваться в широких пределах, как в трансформаторах и при соблюдении соответствующих правил он может быть уменьшен до желаемой величины. Более того, ток, потребляемый мотором без нагрузки, не является мерой потребляемой энергии, поскольку приборы показывают лишь арифметическую сумму прямой и индуцированной электродвижущей силы и тока вместо отображения их разности.

Что же касается другого типа этих моторов, описанных д-ром Дунканом, следует отметить, что они конструктивно не предназначены для работы без нагрузки или должны работать с очень малой нагрузкой; и в этом плане представляют собой приборы, похожие на трансформаторы. Кроме того, обе вышеописанные характеристики, вращательный момент и тенденция к постоянной скорости могут соблюдаться в моторе, и каждый раз предпочтение может отдаваться каждому из указанных моментов в зависимости от требований практики.

В заключение скажу, при всём уважении к д-ру Дункану, что все преимущества, описанные выше, не являются теоретическим положением, а есть результаты опытов,

проводившихся в течение большого промежутка времени и вдохновлены единственно желанием экспериментировать.

Тем не менее хоть и мой мотор есть плод долгого труда и тщательных исследований, я бы не хотел присваивать себе никаких заслуг вне заявленного; людям, более умудренным, я оставляю право устанавливать законы и принципы, и правила их применения на практике. К чему приведут мои исследования, покажет будущее; но к каким бы принципиальным открытиям мы ни пришли, я всегда, хоть и в самой маленькой степени, буду удовлетворен тем вкладом в науку, который я сделал.

## 2. Эксперименты с переменными токами очень высокой частоты и их применение в искусственном беспроводном освещении<sup>6</sup>

Нет предмета более захватывающего, более достойного изучения, чем природа. Понять этот великий механизм, обнаружить силы, которые в нем работают, и законы, ими управляющие, — вот величайшая цель человеческого разума.

Природа хранит неисчерпаемые запасы энергии. Вечный приемник и передатчик этой бесконечной энергии — эфир. Признание существования эфира и функций, которые он выполняет, — один из наиболее выдающихся результатов современной научной мысли. Один только отказ от идеи действия на расстоянии и признание существования среды, пронизывающей всю материю, освободил умы мыслителей от вечных сомнений и, открыв новый горизонт непредвиденных возможностей, вызвал особый интерес к явлению, с которым мы знакомы давно. Это стало большим шагом в направлении понимания сил природы и их многообразных воздействий на наши чувства. Для просвещенного ученого-физика это то же, что понимание механизма действия огнестрельного оружия или парового двигателя для варвара. Явления, на которые мы смотрели как на чудеса, не поддающиеся осмыслению, теперь предстают перед нами в ином свете. Искра, произведенная катушкой индуктивности, блеск лампы накаливания, механические проявления силы токов и магнитов уже доступны нашему пониманию; вместо чего-то непонятного, как прежде, наблюдение за этими явлениями рисует у нас в голове картинку простого механизма, и хотя точное их происхождение для нас всё еще загадка, мы знаем, что правда недолго будет от нас сокрыта, и инстинктивно чувствуем, что понимание близко. Мы всё еще восторгаемся этими прекрасными явлениями, этими странными силами, но мы уже не беспомощны; мы в определенной мере можем объяснить их и надеемся в конце концов сорвать покровы тайны, окружающей их.

Насколько далеко мы можем продвинуться в понимании окружающего мира — вопрос, который волнует каждого естествоиспытателя. Несовершенство наших органов чувств и сознания не позволяет нам проникнуть в скрытые основы мироздания, и астрономия, величайшая и наиболее позитивная из естественных наук, может объяснить лишь кое-что из того, что происходит в непосредственной близости от нас; об отдаленных частях бескрайней Вселенной с ее бесчисленными солнцами и звездами мы ничего не знаем. Но неутомимый дух познания ведет нас далеко за пределы нашего восприятия, и у нас есть надежда, что эти неизведанные миры — ничтожно малые и бесконечно огромные — могут в определенной степени открыться нам. И если мы достигнем этого знания, пылкий разум, возможно, подойдет к пределу, — который невозможно осознать, — *истинного* мироощущения, *внешнее проявление* которого составляет хрупкую основу нашей философии.

Из всех форм неизмеримой, все пронизывающей природной энергии, которая постоянно движется и изменяется, как душа, дающая жизнь инертной Вселенной, электричество и магнетизм, вероятно, наиболее удивительные. Явления притяжения, тепла и света мы наблюдаем каждый день и скоро к ним привыкаем, они теряют для нас загадочность и

<sup>6</sup> Лекция прочитана для сотрудников Американского института инженеров в Колумбийском университете 20 мая 1891 года.

удивительность; но электричество и магнетизм, в своем единстве, кажущиеся двойственными, есть силы уникальные. Они заключают в себе явления притяжения, отталкивания и вращения, странные проявления необъясненных факторов, они возбуждают мысль и побуждают разум к исследованию. Что есть электричество и что есть магнетизм? Эти вопросы задают снова и снова. Наиболее мощные умы непрестанно бьются над разрешением этой проблемы; и всё-таки еще нет исчерпывающего ответа. Но даже если в настоящий момент мы не можем дать точного определения этим силам, мы значительно продвинулись в разрешении этой проблемы. С уверенностью можно утверждать, что явления электричества и магнетизма связаны с эфиром, и, возможно у нас есть основания говорить, что эффекты статического электричества — это эффекты эфира под напряжением, а явления динамического электричества и электромагнитные эффекты — это проявления эфира в движении. Но и это не является ответом на вопрос: что же есть электричество и магнетизм?

Сначала мы, естественно, задаемся вопросом, что есть электричество, и есть ли такое явление вообще? Когда мы интерпретируем электрические явления, мы можем говорить о состоянии наэлектризованности, электрическом состоянии или электрическом эффекте. Если мы говорим об электрических эффектах, мы должны разделять два таких эффекта, противоположных по своей природе и нейтрализующих друг друга, поскольку наблюдения показывают, что такие два эффекта существуют. Это неизбежно, так как в среде, обладающей качествами эфира, мы не можем создать напряжение, или произвести вытеснение, или движение иного рода, без того, чтобы не вызвать в окружающей среде равнозначного и противодействующего эффекта. Но если мы говорим об электричестве, как о некоей *вещи*, мы должны, я полагаю, оставить идею о двух электричествах, так как существование двух подобных вещей невероятно. Ибо как можем мы себе представить, что есть две вещи, равные количественно, сходные по качествам, но противоположные по характеру, обе относящиеся к материи, обе притягивающие и полностью нейтрализующие друг друга? Такое предположение, хотя оно и подсказано многими явлениями, и удобно для их объяснения, вряд ли может нас удовлетворить. Если есть такая вещь, как электричество, может быть только *одно* такое явление, избыток или недостаток только *одного* явления; но скорее всего, его состояние определяет положительный и отрицательный характер. Старая теория Франклина, хотя и в чем-то неудовлетворительна, с определенной точки зрения является наиболее состоятельной. Всё же теория о двух электричествах широко принята, поскольку наиболее убедительно объясняет явления электричества. Но теория, которая наилучшим образом объясняет факты, не обязательно истинна. Изохренный ум может изобрести теории, которые удовлетворят наблюдателя, и почти у каждого самостоятельного мыслителя есть собственный взгляд на любой предмет.

Не из желания отстоять свою точку зрения, но лишь затем, чтобы познакомить вас с некоторыми результатами, которые я далее и опишу, показать вам путь моих размышлений, то, к чему я пришел, — вот смысл моих дальнейших рассуждений.

Я придерживаюсь той мысли, что есть такое явление, которое мы привыкли называть электричеством. Вопрос состоит в том, что это за явление? или: что из всего того, о существовании чего нам известно, наиболее подходит под определение электричества? Мы знаем, что оно ведет себя как несжимаемая жидкость; что в природе оно должно быть в постоянном количестве; что его нельзя ни произвести, ни уничтожить; и, что наиболее важно, электромагнитная теория света и все наблюдаемые факты учат нас, что явления электричества и эфира идентичны. Тут же приходит мысль, что электричество можно назвать эфиром. Фактически этот взгляд, в определенной мере, высказывался д-ром Лоджем. Его интересный труд читали все и многих его аргументы убедили. Блестящий талант и интересная тема завораживают читателя, но когда это впечатление тает, понимаешь, что всё это лишь ловкие объяснения. Я вынужден признаться, что не верю в два электричества, и еще меньше — в двойственную структуру эфира. Странное поведение эфира, как твердой субстанции для световых и тепловых волн, и как жидкости, когда тела проходят сквозь него, конечно, объясняется самым естественным и удовлетворительным способом, предположив,

что он находится в движении, как предположил сэр Уильям Томсон; тем не менее нет ничего такого, что бы могло заставить нас с уверенностью заключить, что, в то время как жидкость не имеет возможности передавать поперечные колебания с частотой в несколько сотен или тысяч в секунду, она также не имеет возможности передавать такие колебания, когда они достигают частоты сотен миллионов в секунду. А также никто не может доказать, что существуют поперечные эфирные волны, возбуждаемые машиной переменного тока, выдающей небольшое число колебаний в секунду; в случае таких низкочастотных колебаний эфир, находящийся в состоянии покоя, может вести себя как жидкость.

Возвращаясь к предмету нашего разговора и памятуя о том, что существование двух электричеств, по меньшей мере, вряд ли возможно, мы должны помнить, что у нас нет свидетельств существования электричества, и нет надежды их получить, если только нет материи. Электричество, следовательно, нельзя именовать эфиром, в широком смысле этого слова; но ничто не мешает назвать электричество эфиром, связанным с материей, или связанным эфиром; или, иными словами, так называемый статический заряд молекулы есть эфир, некоторым образом связанный с молекулой. Если смотреть на вещи под таким углом, то мы имеем право сказать, что электричество присутствует во всех действиях молекул.

Итак, что же именно есть эфир, окружающий молекулы, — тот, что отличается от эфира вообще, — можно только предполагать. Он не может отличаться по плотности, поскольку эфир несжимаем; следовательно, он должен находиться под давлением либо в движении, причем последнее наиболее вероятно. Для того чтобы понять его функции, мы должны иметь точное представление о физическом строении материи, о чем мы, конечно, можем иметь только представление, созданное нашим разумом.

Но из всех точек зрения на природу, та, которая предполагает одну материю и одну силу, а также абсолютное внутреннее однообразие, является наиболее научной и близкой к истине. Бесконечно малый мир, где молекулы и их атомы вращаются по орбитам, неся с собой и скорее всего вращая вместе с собой эфир, или, иными словами, неся с собой статические заряды, кажется наиболее вероятной картиной, которая, по крайней мере правдоподобно, объясняет все наблюдаемые явления. Вращение молекул и окружающего эфира создает напряжение эфира или электростатическое напряжение; компенсация эфирных напряжений создает его движение и электрические токи, а круговые вращения производят эффект электрического и постоянного магнетизма.

Около пятнадцати лет назад профессор Роуланд продемонстрировал интереснейший и наиважнейший факт, а именно то, что статический заряд при движении создает эффект электрического тока. Оставим соображения по поводу природы этого механизма, который притягивает и отталкивает токи, и представим себе движущиеся молекулы, несущие электростатический заряд, и тогда этот факт даст нам приличную картинку магнетизма. Мы можем представить линии или потоки сил, которые существуют в физическом плане, и которые состоят из рядов направленно движущихся молекул; можем увидеть, что эти линии должны быть замкнуты, что они имеют тенденции к сокращению и расширению, и т. д. Подобным же образом это объясняет, в разумных пределах, приводящее всех в замешательство явление постоянного магнетизма, и, в общем, имеет все прекрасные отличительные черты теории Ампера за исключением ее коренной ошибки, а именно, предположение о молекулярных токах. Не вдаваясь более в эту тему, скажу, что я смотрю на явления статического электричества, тока и магнетизма как на атрибуты электростатических молекулярных сил.

Приведенные выше замечания кажутся мне необходимыми для полного понимания предмета таким, каким он представляется мне.

Из всех явлений наиболее важными мне кажутся явления, связанные с электрическим током, по причине широкого и все расширяющегося их использования в промышленных целях. Уже минуло столетие с тех пор, как был изготовлен первый практический источник тока, и всё это время явления, сопровождающие токи, скрупулезно изучались; благодаря непрерывным усилиям ученых были открыты простейшие законы, управляющие этими

процессами. Но эти законы действуют, когда токи имеют постоянный характер. Когда же токи быстро меняют силу, обнаруживаются другие явления, абсолютно другие, и вступают в действие иные законы, те, что до настоящего времени не были надлежащим образом изучены, хотя благодаря трудам, в основном английских ученых, были накоплены достаточные знания по этому предмету, чтобы объяснять простые случаи, происходящие ежедневно.

Явления, характерные для изменчивого характера токов, усиливаются по мере увеличения скорости изменений, поэтому их изучение облегчается, когда мы имеем правильно сконструированную аппаратуру. Успехом своих опытов я обязан тому, что построил машины переменного тока, способные давать более двух миллионов изменений направления тока в минуту, именно это обстоятельство позволило мне представить вашему вниманию некоторые результаты, кои, я надеюсь, послужат шагом вперед в решении одной из важнейших проблем, а именно — производства практичного и эффективного источника света.

Изучать ток, быстро меняющий направление, очень интересно. Почти каждый опыт приводит к новому открытию. Многие результаты, конечно, можно предсказать, но очень многие непредсказуемы. Экспериментатор делает много интересных наблюдений. Например, берем кусок железа и держим напротив электромагнита. При увеличении частоты мы чувствуем, как импульсы следуют один за другим быстрее и быстрее, затем становятся слабее и слабее, и, в конце концов, исчезают. Затем мы наблюдаем постоянное притяжение: так нам только кажется; наше осязание не совершенно. Притяжение, конечно, не постоянно.

Затем мы можем создать дугу между электродами и наблюдать — по мере того как увеличивается частота изменений направления, звук, сопровождающий дугу, становится тоньше и тоньше, постепенно слабеет и, наконец, прекращается. Колебания воздуха, конечно, продолжают, но они слишком слабы, чтобы мы их слышали, слух подводит нас.

Мы наблюдаем небольшие физические явления: быстрое нагревание железных сердечников и проводников, любопытные эффекты индукции, интересные явления конденсации и еще более интересные явления в катушке индуктивности высокого напряжения. Все эти опыты и наблюдения представляют большой интерес для студента-физика, но их описание уведет меня далеко от основной темы. Частично вследствие этого, а частично из-за их огромной важности я ограничусь описанием световых эффектов, производимых этими токами.

В данных экспериментах для преобразования токов низкого напряжения в токи высокого напряжения использовались катушки индуктивности, рассчитанные на высокое напряжение, или подобные им устройства.

Если к результатам, которые я получил, у вас возникнет интерес столь сильный, что вы начнете сами ставить опыты; если вы будете убеждены в истинности приведенных мною аргументов, вашей задачей станет создание высоких частот и высоких потенциалов, иными словами, мощных электростатических эффектов. Тогда вы столкнетесь со многими трудностями, преодолев которые, вы сможете достичь действительно удивительных результатов.

Сначала возникнет проблема с тем, как получить требуемую частоту при помощи механического устройства, а если она будет получена другим путем, возникнут другие препятствия. Затем выяснится, что трудно обеспечить надлежащую изоляцию, не увеличивая значительно размеры аппаратуры, ибо мы имеем дело с высокими потенциалами: скорость изменения направления приводит к определенной проблеме с изоляцией. Так, например, если присутствует газ, может произойти разряд из-за его молекулярной бомбардировки и последующего нагрева, несмотря на то что вы можете использовать изоляционный материал, такой, как стекло, твердую резину, фарфор, сургуч, и т. д. толщиной в целый дюйм; фактически вас не спасет ни один из ныне известных изоляторов. Таким образом, главное требование при организации изоляции — удалить какой бы то ни было газ полностью.

В целом, мой опыт показывает, что тела, обладающие наиболее высокой удельной диэлектрической проницаемостью, например стекло, являются слабым изолятором по отношению к другим материалам, которые, будучи хорошими изоляторами, имеют гораздо меньшую удельную диэлектрическую проницаемость, например, масла, и, без сомнения, диэлектрические потери у первых гораздо выше. Трудности изолирования, конечно, возникают тогда, когда потенциалы чересчур высоки, ибо потенциалы, скажем, в несколько тысяч вольт, не создают — проблемы, когда надо передать ток от машины, выдающей, например, 20 000 колебаний в секунду, на приличное расстояние. Это число колебаний, однако, слишком мало для того, чтобы быть использованным во многих целях, хотя и достаточно для практического применения. К счастью, проблема изоляции не является жизненно важной; она оказывает влияние только на размеры аппаратуры, ибо, когда мы используем чересчур высокие потенциалы, приборы — источники света — будут располагаться недалеко от нее, а часто и в непосредственной близости. Поскольку потери зависят от емкости конденсатора, их можно свести к минимуму за счет использования очень тонкого провода в толстой оплетке.

Следующей трудностью может оказаться емкость и самоиндукция, обязательно присутствующие в катушке. Если обмотка велика, т. е. велика длина провода, она в целом непригодна для сверхвысоких частот; если она мала, то ее легко приспособить для таких частот, но тогда потенциал не будет достаточно высоким. Хороший изолятор, имеющий низкую удельную диэлектрическую проницаемость, дает двойное преимущество. Во-первых, он дает нам возможность сконструировать очень маленькую катушку, способную выдерживать огромную разницу потенциалов, а во-вторых, маленькая катушка, по причине ее малой емкости и самоиндукции, способна производить более быстрые и интенсивные колебания. Таким образом, я придаю далеко не малое значение проблеме создания катушки или прибора индуктивности, обладающего требуемыми качествами, и она занимала меня довольно длительное время.

Исследователь, решивший повторить опыты, которые я собираюсь описать, с машиной переменного тока, способной выдавать ток необходимой частоты, и катушкой индуктивности, поступит правильно, если вынесет первичную обмотку вне, а вторичную расположит так, чтобы она находилась на трубке, через которую он может смотреть. Тогда появится возможность наблюдать стримеры, направляющиеся от первичной обмотки к изоляционной трубке, и по их интенсивности можно определить, какое напряжение подать на обмотку. Без такой меры предосторожности он неминуемо повредит изоляцию. Эта конструкция, однако, в целях эксперимента позволяет легко заменить первичную обмотку.

Какой тип машины выбрать для определенной цели — оставим судить экспериментатору. Здесь представлены три различных типа машин, которые, помимо других, я использовал в своих опытах.

На рисунке 1 показана машина, которую я использовал в опытах в этом институте. Возбуждающий магнит представляет собой кольцо, изготовленное из ковкого чугуна, с 384 зубцами. Якорь состоит из стального диска, к которому крепится тонкий, тщательно приваренный обод также из ковкого чугуна. Вокруг обода намотан в несколько слоев хорошо обожженный железный провод, который при обматывании пропускали через шеллак. Провода якоря намотаны на медные шпильки, покрытые обмоткой из шелковой нити. Диаметр провода якоря в этом типе машины не должен превышать  $\frac{1}{8}$  толщины зубца из-за наличия локального эффекта.

На рисунке 2 показана машина другого типа размером побольше. Возбуждающий магнит здесь состоит из двух одинаковых частей, имеющих независимую возбуждающую обмотку. Каждая часть имеет 480 полюсных выступов, расположенных друг против друга. Якорь выполнен в форме колеса из твердой бронзы, подвижные проводники,двигающиеся вдоль выступов возбуждающего магнита. Для намотки провода на якорь я решил поступить следующим образом. Изготовил кольцо из твердой бронзы требуемого размера. Это кольцо и

обод колеса имеют нужное количество шпилек и закреплены на пластине. Проводники якоря намотаны и шпильки обрезаны, а концы проводников скреплены двумя кольцами, которые прикручены болтами к бронзовому кольцу и ободу колеса, соответственно. Вся эта конструкция жесткая, образует единое целое и может сниматься. Проводники в подобных машинах должны изготавливаться из листовой меди, толщина которой, конечно, зависит от толщины выступов; либо надо использовать скрученные тонкие провода.

На рисунке 3 показана машина поменьше, во многом похожая на описанную, только здесь проводники якоря и возбуждающая обмотка неподвижны, в то время как вращается только кусок ковкого чугуна.

Нет необходимости удлинять это описание и останавливаться подробно на конструкции этих машин, поскольку они были подробно описаны в номере журнала «The Electrical Engineer\*» от 18 марта 1891 года. Я считаю полезным, однако, обратить внимание исследователя на два момента, а именно: локальный эффект, который необходимо избежать, и на зазор, он должен быть небольшим. Могу добавить: поскольку цель — добиться высоких линейных скоростей, якорь должен быть очень большого диаметра, с тем чтобы избежать ненужной скорости привода. Из нескольких типов машин, которые я построил, как выяснилось, проще всего сконструировать машину, показанную на рисунке 1. Она проста в обслуживании и хороша для проведения опытов.

Во время работы катушки индуктивности, при очень высокой частоте переменного тока, прежде всего наблюдаются световые явления, в частности те, что вызываются высоковольтным разрядом. По мере того как возрастает число изменений в секунду, или — частота очень высокая — меняется сила тока, проходящего через первичную обмотку, разряд постепенно меняется. Трудно описать небольшие изменения и условия, вызывающие их, но можно четко различить пять форм разряда.

Во-первых, наблюдается слабый, очень чувствительный разряд в форме тонкой, слабой нити (рисунок 4а). Так происходит всегда, когда при высокой частоте, сила тока на первичной обмотке невелика. Несмотря на крайне малую силу тока, скорость изменений очень велика и, следовательно, разность потенциалов на полюсах вторичной обмотки значительна, так что дуга возникает на большом расстоянии; но количество «электричества», приводимого в движение, незначительно, едва достаточно, чтобы создать тонкую, нитевидную дугу. Она очень чувствительна, настолько, что даже близкое дыхание оказывает воздействие на нее, и, если ее не защитить надежно от потоков воздуха, она постоянно дрожит и извивается. Тем не менее в такой форме она постоянна, и когда полюсы сближаются, скажем, на одну треть длины разряда, ее довольно трудно погасить. Эта исключительная устойчивость при небольшой длине объясняется в основном тем, что дуга крайне тонка, поэтому, поверхность, подверженная потоку воздуха, очень мала. А большая чувствительность дуги, при большой длине, главным образом объясняется движением частиц пыли в воздухе.

По мере возрастания силы тока разряд утолщается и становится сильнее, и эффект емкости катушки становится видимым, пока, наконец, при надлежащих условиях, не возникнет белая дуга с открытым пламенем (рисунок 4б) часто толщиной в палец, проходящая через всю катушку. Она довольно горячая, характеризуется отсутствием высокого звукового сигнала, который сопровождает менее мощные разряды. Я бы не советовал вам испытать удар тока от катушки при таких условиях. Хотя в другой ситуации, когда потенциал значительно больше, удар тока может и не повредить. Для того чтобы возник такой разряд, количество колебаний в секунду не должно быть очень большим для определенного типа катушки; и, говоря в общем, надо соблюдать определенные условия соотношения емкости, самоиндукции и частоты.

Важность этих элементов в цепях переменного тока теперь хорошо известна, и при нормальных условиях здесь действуют общие правила. Во-первых, самоиндукция не имеет

большого значения до того момента, как возникнет дуга, пока она устанавливается, возможно, она не так устойчива, как в обычных цепях переменного тока, поскольку емкость распределена вдоль обмотки, и поскольку разряд обычно происходит при большом сопротивлении, сила тока необычайно мала. Во-вторых, емкость возрастает по мере роста потенциала, а происходит это по причине абсорбции, довольно значительной, поэтому между этими величинами нет критических отношений, и обычные правила кажутся неприменимыми. По мере того как возрастает потенциал, или вследствие роста частоты, или вследствие роста силы тока на первичной обмотке, количество накопленной энергии всё возрастает и емкость приобретает всё большее значение. До определенного предела емкость играет положительную роль, но затем становится недостатком. Из сказанного следует, что каждая катушка дает наилучший результат при определенной частоте и силе тока на первичной обмотке. Очень большая катушка, когда работает при сверхвысокоочастотных токах, может дать искру не толще  $\frac{1}{8}$  дюйма. Увеличивая емкость на клеммах, можно исправить положение к лучшему, но вообще-то надо понизить частоту.

Когда происходит разряд с пламенем, условия, очевидно, таковы, что через цепь проходит максимальный ток. Эти условия можно создать, меняя частоту в широком диапазоне, но самая высокая частота, когда еще возможно горение дуги, определяет для данной силы тока на первичной обмотке наибольшее расстояние между контактами, когда дуга может возникнуть. При разряде с пламенем, *шумовой* эффект емкости невозможно воспринять; скорость накопления энергии теперь равна скорости разряда через цепь. Этот тип разряда представляет собой самый сложный тест для катушки; выход из строя, если он случается, подобен разряду в перегруженной лейденской банке. Чтобы дать вам грубое представление, я скажу: если взять обычную катушку, скажем, сопротивлением в 10 000 Ом, то самая мощная дуга возникнет при частоте 12 000 в секунду.

Когда частота возрастает и переходит этот рубеж, конечно, растет и потенциал, но длина дуги тем не менее может уменьшиться, как ни парадоксально это звучит. По мере возрастания потенциала, катушка всё более принимает свойства статической машины, пока, наконец, не появляется возможность наблюдать красивейшее явление текучего разряда (рисунок 5), который может быть равным катушке по длине. В этой стадии на всех концах появляются свободно текущие потоки. Эти потоки можно также наблюдать в большом количестве в промежутке между первичной обмоткой и изоляционной трубкой. Когда потенциал чересчур высок, они появляются всегда: даже если частота низкая и первичная обмотка изолирована целым дюймом сургуча, твердой резины, стекла или другого изолятора. Это значительно ограничивает мощность катушки, но позже продемонстрирую, как мне удалось в значительной степени преодолеть этот недостаток в обычной катушке.

Итак, потоки зависят от потенциала и частоты; но если катушка достаточно большая, они видны независимо от того, насколько низкие частоты используются. Например, в очень большой катушке сопротивлением 67 000 Ом, которую я построил недавно, они появляются при частоте уже 100 колебаний в секунду и менее, причем вторичная обмотка изолирована слоем эбонита толщиной в  $\frac{3}{4}$  дюйма. Под большим напряжением они издадут звук наподобие аппарата Хольца, но значительно более громкий и от них исходит запах озона. Чем меньше частота, тем более велика вероятность пробоя обмотки. При крайне высоких частотах они свободно текут и ничего не происходит, кроме того что изоляция нагревается медленно и равномерно.

Существование этих потоков указывает на необходимость постройки дорогой катушки, которая могла бы позволить смотреть сквозь трубу, окружающую первичную обмотку; последняя должна быть легко заменяема либо пространство между первичной и вторичной обмотками должно быть так заполнено, чтобы исключить попадание туда воздуха. Если не соблюдать этого простого правила при производстве коммерческих изделий, можно испортить много дорогих катушек.

Когда происходит текущий разряд, или при несколько более высоких частотах, сведя контакты поближе и правильно регулируя эффект емкости, можно получить настоящий дождь маленьких серебряных искр или пучок очень тонких серебряных нитей (рисунок 6) посреди мощного потока — каждая искра скорее всего соответствует одному колебанию. Это, если созданы необходимые условия, возможно, самый красивый разряд, и когда на него направляется поток воздуха, он представляется однородным. Дождь искр, когда они проходят сквозь тело, вызывает некоторое неудобство, в то время как обычный разряд скорее всего никак не почувствуешь, если держать в руке большие куски какого-нибудь проводника, чтобы защитить их от небольших ожогов.

Если еще повысить частоту, катушка не дает искры только на очень малых расстояниях, и можно наблюдать пятый типичный вид разряда (рисунок 7). В этом случае тенденция к истечению и рассеиванию настолько сильная, что, когда создается пучок на одном контакте, нет никаких искр, даже если, как я неоднократно пытался сделать, в поток поместить руку или другой проводник; и, что еще более удивительно, поток не так уж легко отклонить, поднеся к нему проводник.

На этом этапе видно, как потоки легко проходят через толстые слои изоляции, и очень интересно изучать их поведение. Для этих целей нужно присоединить контакты к металлическим шарам, которые можно поместить на любом расстоянии (рисунок 8). Шары предпочтительнее пластин, так как позволяют лучше увидеть разряд. Помещая различные диэлектрики между сферами, можем наблюдать красивые разряды. Если шары расположены достаточно близко и мы имеем между ними пляшущую искру, то, помещая между ними тонкую эбонитовую пластину, искра моментально гасится и разряд приобретает форму очень яркого круга диаметром в несколько дюймов при условии, что шары достаточно большие. Прохождение потоков приводит к нагреванию, а затем размягчению резины настолько, что можно склеить между собой две резиновые пластины. Если шары разведены так, что искры нет — даже если они далеко за пределами дистанции разряда, — поместив между ними кусок стекла, мы заставим разряд проходить от контактов к стеклу в форме светящихся потоков. Выглядит это так, будто эти потоки проходят сквозь диэлектрик. В действительности же потоки образуются крайне возбужденными молекулами воздуха, которые находятся между разнозаряженными поверхностями шаров. Когда нет другого диэлектрика, кроме воздуха, бомбардировка продолжается, но она слишком слаба, чтобы быть видимой. Когда мы помещаем туда диэлектрик, эффект индукции сильно увеличивается, кроме того, отраженные молекулы воздуха наталкиваются на препятствие и бомбардировка становится такой сильной, что потоки светятся. Если бы при помощи какого-либо механического устройства мы могли вызывать такое сильное возбуждение молекул, то смогли бы получить подобное явление. Струя воздуха, вырывающаяся через маленькое отверстие под огромным давлением и ударяющаяся о некий изолятор, например, стекло, может светиться в темноте, таким образом можно добиться свечения стекла или другого изолятора.

Чем выше диэлектрическая проницаемость помещенного между контактами диэлектрика, тем более мощный эффект мы имеем. Благодаря этому проявляются потоки, обладающие очень высокими потенциалами, даже если толщина стекла будет достигать полутора или двух дюймов. Но кроме нагрева от бомбардировки, несомненно, происходит нагрев и в диэлектрике, причем в стекле он сильнее, чем в эбоните. Я это отношу на счет большей диэлектрической проницаемости стекла, вследствие чего, при одинаковой разности потенциалов, оно поглощает большее количество энергии, чем резина. Это равнозначно тому, как если бы присоединить к батарее медный и латунный провода одинаковых размеров. Медный провод, хотя он и лучший проводник, нагреется сильнее, поскольку пропустит больше тока. Потому то, что в ином случае является достоинством стекла, в данном — недостатком. Стекло обычно поддается быстрее, чем эбонит: если его нагреть до

определенной температуры, разряд вдруг проходит насквозь в каком-либо месте и принимает форму дуги.

Эффект нагревания, производимый молекулярной бомбардировкой диэлектрика, конечно, уменьшается по мере возрастания давления воздуха, а при очень высоком давлении им можно пренебречь, если только соответственно не растет частота.

Во время таких опытов можно часто наблюдать, что когда шары разведены за пределы дистанции разряда, приближение стеклянной пластины может, например, вызвать одиночную искру. Это происходит, когда емкость шаров несколько ниже критической отметки, что дает наибольшую разность потенциалов на контактах катушки. При приближении диэлектрика возрастает диэлектрическая проницаемость пространства между шарами и происходит такое же явление, как если бы увеличилась емкость шаров. Потенциал на контактах настолько высок, что воздушный промежуток разрушается. Лучше всего проводить этот опыт с плотным стеклом или слюдой.

Есть еще одно интересное наблюдение: пластина изолирующего материала, когда через нее проходит разряд, испытывает сильное притяжение одного из шаров, того, что ближе; это, очевидно, происходит потому, что с этой стороны имеет место небольшой механический эффект от бомбардировки, а также большая электризация.

Исходя из поведения диэлектриков во время этих опытов, мы можем сделать вывод о том, что лучшим изолятором для таких высокочастотных переменных токов будет тот, который имеет наименьшую диэлектрическую проницаемость, и в то же время тот, что выдерживает наибольшую разность потенциалов. Итак, вырисовываются два диаметрально противоположных пути обеспечения наилучшей изоляции, а именно: использовать либо вакуум, либо газ под большим давлением; первый способ более предпочтителен. К сожалению, ни один из этих путей практически не выглядит легким.

Особенный интерес вызывает поведение вакуума в таких условиях. Если к опытной трубке, из которой максимально откачан воздух, снабженной на концах электродами, подключить контакты катушки (рисунок 9), то электроды моментально нагреваются, а стекло по краям приобретает свечение, но середина остается сравнительно темной и какое-то время прохладной.

Когда частота настолько высока, что наблюдается разряд, показанный на рисунке 7, без сомнения в обмотке имеет место сильное рассеивание. Тем не менее катушку можно использовать довольно долго, так как нагрев постепенный.

Несмотря на тот факт, что разность потенциалов может быть огромной, почти ничего не ощущаешь, когда разряд проходит сквозь тело, если в руках есть проводник. Частично это объясняется высокой частотой, но в основном причина в том, что энергии поступает извне меньше, когда разность потенциалов достигает огромного значения благодаря тому обстоятельству, что с ростом потенциала количество энергии, поглощаемой катушкой, возрастает в квадрате. До определенного момента количество энергии растет вместе с ростом потенциала, а потом начинает резко уменьшаться. Так, в случае с обычной катушкой индуктивности высокого напряжения имеем любопытный парадокс, а именно: если определенной силы ток, пропущенный через первичную обмотку, может быть смертельным, то тот же ток, даже в разы более сильный, совсем безопасен даже при той же частоте. При высоких частотах и крайне высоком напряжении, когда контакты присоединены к телам определенного размера, практически вся энергия, подаваемая на первичную обмотку, поглощается катушкой. Не происходит пробоя, нет местных порывов, но все материалы, проводники и изоляторы равномерно нагреваются.

Дабы избежать недопонимания в вопросах физиологического воздействия переменного тока высокой частоты, я полагаю необходимым сказать, что, в то время как такой ток несравненно менее опасен, чем ток низкой частоты, следует помнить, что он всё же вреден. Всё, о чем сейчас говорилось, касается только токов в обычных катушках индуктивности высокого напряжения, каковые токи обязательно малы; если такие токи получать

непосредственно от генератора или вторичной обмотки низкого сопротивления, то они производят более или менее сильное воздействие и могут вызвать серьезную травму, в особенности при соединении с конденсатором.

Текущий разряд на катушке индуктивности высокого напряжения во многом отличается от такого же разряда мощной статической машины. Что касается расцветки, то он ни фиолетовый положительный, ни яркий отрицательный статический разряд, а что-то среднее, причем он, естественно, попеременно положительный и отрицательный. Но поскольку поток более мощный, когда острие, или контакт, имеет положительный заряд, то конец пучка более подобен положительному полюсу, а основание — отрицательному при статическом разряде. В темноте, если пучок очень мощный, основание может выглядеть почти белым. Движение воздуха, производимое отходящими потоками, хотя и довольно сильное и его можно почувствовать на расстоянии, тем не менее, учитывая количественные показатели разряда, менее сильное, чем движение воздуха от статической машины, и гораздо слабее воздействует на пламя. Исходя из природы этого явления, мы можем сделать вывод о том, что чем выше частота, тем слабее, конечно, движение воздуха, создаваемое потоками, а при достаточно высоких частотах, при нормальном атмосферном давлении, этого движения совсем нет. При тех частотах, которые можно получить при помощи машины, механический эффект достаточен для вращения большого колеса со значительной скоростью, и эта картина очень красива в темноте из-за множества исходящих потоков (рисунок 10).

В общем, большинство опытов, проводимых со статической машиной, можно проводить с катушкой индуктивности при использовании высокочастотных переменных токов. При этом вызываемые к жизни явления еще более потрясающи при увеличении мощности. Если небольшой кусок обычного провода в хлопчатобумажной оплетке присоединить к одному из контактов катушки (рисунок 11), потоки, исходящие по всей длине провода, будут настолько сильными, что послужат значительным источником света. Когда потенциалы и частота очень высоки, провод, изолированный гуттаперчей или резиной и присоединенный к одному из контактов, кажется покрытым светящейся пленкой. Очень тонкий неизолированный провод, присоединенный к контакту, излучает сильные потоки и постоянно вибрирует или совершает круговые движения, производя потрясающий эффект (рисунок 12). Некоторые из этих опытов я описал в журнале «The Electrical World» от 21 февраля 1891 года.

Еще одна особенность высокочастотного разряда катушки индуктивности — ее абсолютно иное поведение при использовании острых контактов и округлых поверхностей.

Если толстый провод, у которого на одном конце шарик, а на другом — острый конец, присоединить к положительному полюсу статической машины, практически весь заряд уйдет с острого конца по причине очень высокого напряжения, которое зависит от радиуса изгиба. Но если такой провод присоединить к одному из контактов катушки, мы заметим, что при высокой частоте потоки испускаются из шара идентично потокам из острого конца (рисунок 13).

Трудно себе представить, что мы могли бы создать почти такие же условия и в статической машине, по той простой причине, что напряжение возрастает пропорционально квадрату плотности, которая, в свою очередь, пропорциональна радиусу изгиба; следовательно, при постоянном потенциале потребуется огромный заряд для того, чтобы потоки испускались шлифованным шаром в то время, как он соединен с острым концом. Но ситуация меняется на катушке индуктивности, чей разряд меняет направление с огромной скоростью. Здесь мы сталкиваемся с двумя ярко выраженными тенденциями. Во-первых, есть тенденция к испусканию, которая существует в состоянии покоя и которая зависит от радиуса изгиба; во-вторых, есть тенденция рассеивания в окружающем воздухе, которая зависит от поверхности. Когда одна из этих тенденций максимальна, вторая — минимальна. На остром конце образование светящегося потока в целом объясняется тем, что молекулы воздуха

физически контактируют с проводником; они притягиваются и отталкиваются, приобретают и теряют заряд и таким образом возбуждаются их атомные заряды, они вибрируют и испускают световые волны. В случае с шаром, напротив, без сомнения, этот эффект достигается индуктивно, причем *необязательно*, что молекулы воздуха соприкасаются с шаром, хотя, конечно, это происходит. Чтобы убедиться в этом, нам надо усилить эффект конденсатора, окружив шар на определенном расстоянии лучшим проводником, чем окружающая среда, конечно, заизолировав этот проводник, либо, обернув его лучшим диэлектриком, поднести к изолированному проводнику; в обоих случаях потоки будут испускаться идентично. И еще — чем больше шар при заданной частоте, или чем выше частота, тем большее преимущество будет иметь шар перед острым концом. Но поскольку для этого опыта требуется определенное напряжение, для того чтобы видеть исходящие потоки, очевидно, что в описанном опыте шар не должен быть слишком большим.

Вследствие этой двойкой тенденции при помощи острых контактов возможно производить явления, идентичные тем, что производятся при помощи емкости. Так, например, присоединив к одному из контактов катушки короткий витой провод, имеющий много концов и дающий много исходящих потоков, можно увеличить потенциал катушки так же, как если бы присоединили в контакту катушки шлифованный шар, поверхность которого во много раз больше.

Интересный опыт, демонстрирующий эффект острых концов, можно провести следующим образом. Присоедините к одному из выводов катушки провод длиной около двух футов, изолированный хлопчатобумажным материалом, и задайте такие параметры работы, чтобы началось испускание потоков из провода. При проведении этого опыта первичную катушку надо располагать так, чтобы она только наполовину пересекалась со вторичной. Теперь прикоснитесь к свободному выводу вторичной обмотки проводником, зажатым в руке, или присоедините к нему иной изолированный предмет какого-либо размера. Таким образом потенциал на проводе можно резко увеличить. Следствием этого будет увеличение или уменьшение потоков. Если они увеличатся, то провод слишком короткий; если уменьшатся — слишком длинный. Регулируя длину провода можно найти такой момент, когда прикосновение к другому выводу катушки не оказывает влияния на потоки. В этом случае усиление потенциала компенсируется падением потенциала в обмотке. Было отмечено, что короткие провода значительно влияют на количество и яркость потоков. Первичная обмотка отстраняется по двум причинам: во-первых, чтобы увеличить потенциал на проводе; во-вторых, чтобы увеличить падение потенциала на катушке. Так повышается чувствительность.

Есть и еще одна более удивительная особенность пучкового разряда, производимого высокочастотными токами. Для ее наблюдения лучше выполнить обычные выводы катушки в виде металлических штырей, хорошо изолированных эбонитом. Не лишним также будет, если вы изолируете воском или сургучом все трещины и надломы так, чтобы пучки не могли формироваться нигде, кроме вершин штырей. Если соблюдены все условия — а это мы, конечно, оставим на усмотрение экспериментатора — и потенциал вырос до огромного значения, то мы можем получить мощные пучки длиной несколько дюймов почти белые у основания, которые в темноте выглядят как две струи горящего под давлением газа (рисунок 14). Но они не только *напоминают* пламя, это и *есть* пламя, поскольку пучки горячие. Конечно, не настолько горячие, как газ, но *они могут быть такими, если частота и потенциал будут достаточно высоки*. При частоте, скажем, двадцать тысяч колебаний в секунду, тепло ощущается, даже если потенциал не очень велик. Теплота выделяется, конечно, благодаря тому, что молекулы воздуха ударяются о выводы катушки и друг о друга. Так как при нормальном давлении средняя длина свободного движения крайне мала, то, возможно, несмотря на огромную начальную скорость, полученную каждой молекулой при столкновении с контактом, ее продвижение — вследствие столкновения с другими молекулами — затрудняется настолько, что она, не удаляясь от контакта, может ударяться о него много раз подряд. Чем больше частота, тем меньше у молекулы возможностей удалиться, тем более что для такого явления не нужен высокий потенциал; необходима

частота — может быть, ее можно даже получить, — при которой одни и те же молекулы будут ударяться о контакт. При таких условиях молекулярный обмен замедляется, и тепло, выделяемое на контакте и возле него, будет сильным. Но если частота будет постоянно возрастать, то количество выделяемого тепла будет уменьшаться по очевидным причинам. В положительном пучке статической машины молекулярный обмен очень быстр, поток всегда движется в одном направлении, столкновений меньше, отсюда теплоотдача должна быть низкой. Всё, что тормозит молекулярный обмен, имеет тенденцию повышать теплоотдачу. Так, если к выводу катушки поднести лампочку, то воздух, содержащийся внутри нее, очень быстро и сильно нагревается. Если к выводу поднести стеклянную трубку так, чтобы поток воздуха поднимал пучок вверх, то из трубки будет вырываться обжигающе горячий воздух. Всё, что попадает в пучок, конечно, быстро нагревается, и появляется возможность использовать этот эффект нагревания для каких-либо целей.

Если поразмышлять над этим интересным явлением горячего пучка, то нельзя не убедиться в том, что подобные процессы происходят в обычном пламени, и кажется странным, что после столетий нашего знакомства с огнем, теперь, в эпоху электрического освещения и отопления, мы признаём, что с незапамятных времен у нас в распоряжении всегда были «электрический свет и тепло». Небезынтересно также поразмышлять о том, что у нас есть способ получить — нехимическим путем — настоящее пламя, которое даст свет и тепло, не уничтожая никаких материалов, безо всяких химических процессов, и чтобы добиться этого, нам нужна лишь методика получения сверхвысоких частот и потенциалов. У меня нет сомнений в том, что если бы потенциал имел достаточную мощность и менялся с достаточной скоростью, пучок, формирующийся на выводе катушки, потерял бы свои электрические свойства и уподобился пламени. Пламя возникает благодаря электростатическому молекулярному воздействию.

Это явление, несомненно, объясняет частые несчастные случаи во время шторма. Хорошо известно, что предметы часто возгораются даже тогда, когда в них не бьет молния. Рассмотрим, как это может происходить. На гвозде в крыше, например, или любом другом выступе, более или менее токопроводящем, или ставшем таковым под дождем, может образоваться мощный пучок. Если в округе ударит молния, образуется огромная разность потенциалов, которая может создать колебания или флуктуации с частотой, возможно, несколько миллионов в секунду. Молекулы воздуха с огромной силой отталкиваются и притягиваются и их удары создают такой нагрев, что возникает пламя. Ясно, что корабль в море таким образом может загореться сразу в нескольких местах. Если мы вспомним, что даже при сравнительно малых частотах, получаемых в динамо-машине, и при напряжении не более ста или двухсот тысяч вольт, тепловой эффект значителен, то можно себе представить, насколько он будет сильнее при частотах и напряжении в несколько раз выше; и высказанное предположение, чтобы не сказать больше, весьма вероятно. Подобные объяснения, возможно, предлагались, но я не уверен, что до настоящего времени тепловой эффект пучка, полученного при высоких частотах, демонстрировался экспериментально, во всяком случае, не так наглядно.

Полная блокировка молекулярного обмена может довести тепловой эффект до такой стадии, что тело начинает светиться. Так, например, если небольшой проводник, а лучше тонкий провод или нить накаливания поместить в сферу, где есть воздух, и соединить с выводом катушки, она может начать светиться. Это явление становится еще более интересным, когда кончик нити быстро крутится и похож на светящуюся воронку (рисунок 15), которая расширяется при увеличении напряжения. Когда потенциал небольшой, конец нити может совершать неправильные движения, быстро переходя от одного к другому, или может описывать эллипс; но если напряжение велико, он всегда вертится по кругу; так же ведет себя тонкий прямой провод, присоединенный свободно к выводу катушки. Эти движения, конечно, вызваны молекулярным воздействием и неравномерностью

распределения напряжения вследствие неровности поверхности и асимметрии провода и нити. Если бы провод и нить были абсолютно симметричны и отшлифованы, то движений скорее всего не наблюдалось. То, что наличие движений объясняется указанными причинами, очевидно, следует из того, что они происходят не в определенном направлении, и в сфере, где нет воздуха, они прекращаются и тело не светится, что, видимо, даст нам возможность получения световых эффектов, если мы усовершенствуем методику получения высоких частот.

При использовании катушек в коммерческих целях возникают значительные трудности, так как при использовании высоких частот и напряжения, не выдерживают изоляционные материалы. Обычно катушки достаточно изолированы, чтобы выдержать напряжение между колебаниями, поскольку два провода в двойной оплетке из хлопка и парафина выдерживают напряжение в несколько тысяч вольт; основная трудность заключается в том, чтобы не допустить пробоя вторичной обмотки на первичную обмотку, чему очень способствуют потоки, выпускаемые последней. В катушке, конечно, напряжение наиболее велико между секциями, но обычно в больших катушках столько секций, что опасность внезапного пробоя невелика. В этом направлении обычно трудностей не возникает, и, кроме того, опасность внутреннего повреждения катушки сильно ослаблена, скорее всего произойдет постепенное нагревание, которое, достигнув значительной степени, не может остаться незамеченным. Основная задача тогда — препятствовать возникновению разрядов между первичной обмоткой и трубкой не только из-за возможного нагрева и повреждения, но также из-за того, что разряды могут понизить напряжение на выводах катушки. Несколько советов по этому поводу будут очень полезны во время опытов с обычной индукционной катушкой.

Один из вариантов — сделать короткую первичную обмотку (рисунок 16а) так, чтобы разность потенциалов не была достаточной для прохождения потоков через изолирующую трубку. Длина первичной обмотки должна определяться опытным путем. Концы обмотки должны быть выведены на одну сторону катушки через изолированные выходы, как показано на рисунке. При такой конструкции один вывод вторичной обмотки присоединен к предмету, поверхность которого тщательно рассчитана, чтобы дать наибольший рост потенциала. На другом выводе появляется мощный пучок, с которым можно проводить опыты.

В описанном выше случае требуется использование сравнительно короткой первичной обмотки, которая может нагреваться, когда будут наблюдаться мощные явления в течение длительного времени. Тогда лучше использовать более длинную обмотку (рисунок 16б) и постепенно вставлять ее с одной стороны трубки до тех пор, пока не начнут появляться разряды. В таком случае ближайший вывод вторичной обмотки может быть соединен с первичной обмоткой или заземлен, что, в принципе, одно и то же, если первичная обмотка соединена напрямую с машиной. В случае заземления лучше всего опытным путем определить частоту, наиболее подходящую для данных испытаний. Другой способ избежать разрядов — изготовить первичную обмотку из секций и питать их от отдельных, хорошо изолированных источников.

Во многих подобных опытах, когда требуется создать мощные явления на короткий срок, полезно использовать железный сердечник в первичной обмотке. В таком случае можно сделать очень большую первичную обмотку и поставить ее рядом со вторичной и, соединив ближайший вывод последней с первичной обмоткой, вставлять пластинчатый железный сердечник через первичную обмотку до вторичной настолько, насколько позволят разряды. При таких условиях может появиться очень мощный пучок на выводе вторичной обмотки, который можно назвать «пламенем Святого Эльма». Это очень мощный озонатор и ему достаточно всего нескольких минут, чтобы во всей комнате начал ощущаться сильный запах озона. И он, без сомнения, обладает свойствами возбуждать химические соединения.

Для производства озона, несомненно, подходят переменные токи высокой частоты, не только по причине преимуществ, которые они имеют при их преобразовании, но и потому,

что озонирующее действие разряда зависит от частоты и потенциала, причем это подтверждено наблюдениями.

Во время подобных опытов, если используется железный сердечник, за ним надо внимательно наблюдать, так как он может очень быстро сильно нагреться. Чтобы дать вам представление о скорости нагрева, скажу, что достаточно одной секунды, чтобы нагреть тонкую железную проволоку примерно до 100 °С, вставленную внутрь катушки с большим числом витков, по которой пропускают ток большой силы.

Но этот быстрый нагрев не должен обескураживать нас, и нам следует использовать железные сердечники. Я уже давно убежден, что при промышленном распределении электричества при помощи трансформаторов можно придерживаться следующего плана: взять сравнительно маленький составной сердечник или несоставной, обернуть сердечник достаточно толстым слоем негорючего материала с низкой теплопроводностью и поверх всего этого намотать первичную и вторичную обмотки. При помощи высоких частот или сильного намагничивания мы можем за счет вихревых токов и гистерезиса нагреть железный сердечник почти до предела его проницаемости, которая, как продемонстрировал Хопкинсон, может быть в шестнадцать раз больше такого значения при нормальной температуре. Если сердечник надежно упакован, то нагрев ему не повредит, если упаковка достаточно толста, выделяться будет незначительное количество тепла, несмотря на высокую температуру. Я уже изготавливал трансформаторы по такому проекту, но из-за нехватки времени не проводил тщательных исследований.

Еще один способ приспособить железный сердечник к быстрым колебаниям, или, говоря в общем, фрикционным потерям, — путем постоянного намагничивания создать поток около семи или восьми тысяч линий на квадратный сантиметр через сердечник, а затем работать с малыми магнитными силами и предпочтительно высокими частотами возле точки наивысшей проницаемости. Таким образом можно получить более высокий КПД. Я также применял этот принцип в машинах, где нет перемены полярности. В этих типах машин, если есть только несколько зубцов, не происходит большого улучшения, так как максимальный и минимальный уровни намагничивания далеки от точки наивысшей проницаемости; но когда количество зубцов велико, можно получить нужную скорость перемены изменения, не изменяя сильно скорость намагничивания и не отклоняясь от точки наивысшей проницаемости, и тогда имеем значительное улучшение.

Описанные выше конструкции применимы при разработке промышленных изделий. Если же надо построить катушку для определенного эксперимента или такую, которая выдерживала бы наибольшее напряжение, тогда стоит попробовать конструкцию, показанную на рисунке 17. Катушка в данном случае состоит из двух отдельных частей, намотанных оппозитно, соединенных между собой рядом с первичной обмоткой. Потенциал в середине равен нулю, не присутствует тенденция пробоя на первичную обмотку, поэтому не требуется серьезная изоляция. В некоторых случаях, однако, середина может соединяться с первичной обмоткой или заземляться. В такой катушке места, где есть наибольшее напряжение, разведены далеко и она может выдерживать огромное напряжение. Две ее составные части можно двигать так, чтобы немного регулировать эффект емкости.

Что касается того, как изолировать катушку, представляется удобным поступать следующим образом: во-первых, проволоку следует кипятить в парафине до тех пор, пока не удалится весь воздух; затем наматывают катушку, пропуская провод через расплавленный парафин, с тем чтобы зафиксировать провод. Катушка после этого снимается с бобины и помещается в цилиндрический сосуд, наполненный чистым расплавленным сургучом, и кипятится длительное время, пока не перестанут образовываться пузырьки. Всё это вместе затем остужается, и весь кусок вынимается из сосуда и обрабатывается на токарном станке. Катушка, выполненная по такому плану, может выдержать огромное напряжение.

Возможно, наиболее удобный и эффективный способ изоляции — поместить катушку в парафиновое или любое другое масло, в основном потому, что в этом случае исключается воздух. Но, возможно, кому-то покажется, что сосуд с маслом не очень удобен в лаборатории.

Если нужно демонтировать обычную катушку, можно вынуть первичную обмотку из изолирующей трубки, запаять ее конец, наполнить маслом и вставить обратно первичную обмотку. Это даст отличную изоляцию и предотвратит формирование разряда.

Из всех опытов, — которые можно проводить с высокочастотными переменными токами, самые интересные, возможно, те, что касаются производства практичного источника света. Нельзя не признать, что существующие в настоящее время методы, хотя они и были в свое время удивительными прорывами, очень расточительны. Надо изобрести лучшие методики, придумать более совершенные приборы. Современные исследования открыли новые возможности для производства эффективного источника света, и внимание всех было направлено в сторону, указанную первооткрывателями. Многие сейчас охвачены энтузиазмом и страстью к открытиям, но в своем стремлении к результату некоторые пошли по неверному пути. Начав с идеи производства электромагнитных волн, они обратили свое внимание, может быть, слишком пристальное, на исследование эффектов электромагнетизма и пренебрегли изучением электростатических явлений. Естественно, каждый исследователь обзавелся аппаратурой, подобной той, что применялась ранее. Но в таких устройствах очень сильны эффекты электромагнитной индукции, а электростатические эффекты представлены слабо.

В опытах Герца, например, катушка высокого напряжения коротко замкнута дугой, сопротивление которой очень мало, а чем оно меньше, тем большая емкость присутствует на выводах; разность же потенциалов на них сильно падает. С другой стороны, когда между контактами возникает разряд, статические эффекты могут быть значительными, но только количественно, не качественно, так как наблюдаются неожиданные скачки, поскольку частота невелика. Ни в том, ни в другом случае, следовательно, мощные электростатические явления нельзя заметить. Подобные условия создаются, как в некоторых интересных опытах д-ра Лоджа, когда лейденские банки разряжаются пробоями. Было мнение — полагаю, небезосновательное, — что в таких случаях большая часть энергии излучается в пространство. В свете описанных мною опытов, это мнение перестанет существовать. Я думаю, что не ошибусь, если скажу, что в таких случаях большая часть энергии частично поглощается и преобразуется в тепло дуги разряда и нагревает изолятор и проводник банки, а некоторое количество, конечно, уходит на электризацию воздуха; но количество прямо излучаемой энергии невелико.

Когда контакты катушки высокого напряжения, где работают токи с частотой всего 20 000 колебаний в секунду, замкнуты через очень маленькую банку, практически вся энергия проходит через ее диэлектрик, который нагревается, и электростатические эффекты проявляются лишь в небольшой степени. Итак, внешнюю цепь лейденской банки, т. е. дугу и контакты покрытия, можно рассматривать как цепь, генерирующую переменный ток крайне высокой частоты и удивительно высокого напряжения, которая замкнута через покрытия и диэлектрик между ними, и из сказанного становится очевидным, что внешние электростатические эффекты должны быть очень слабыми, даже если использовать удлиненную цепь. Такие условия показывают, что с аппаратурой, которая обычно имеется в распоряжении исследователя, наблюдение мощных электростатических явлений было невозможно, и тот опыт, который мы имеем к настоящему времени, накоплен только благодаря способностям и таланту экспериментаторов.

Но мощные электростатические эффекты — неперемное условие производства света так, как показывает теория. Электромагнитные эффекты, в первую очередь, нельзя получить по той причине, что для того, чтобы их получить, нам пришлось бы подавать импульсы на проводник, который еще до того, как необходимой частоты импульсы возникнут, перестанет их излучать. С другой стороны, электромагнитные волны, длина которых во много раз больше длины световых волн и которые вырабатываются посредством резкого разряда

конденсатора, использовать, кажется, нельзя, если только мы не хотим применить их воздействие на проводники так, как это делается сейчас, а эта практика расточительна. Мы не можем при помощи таких волн воздействовать на статические заряды молекул или атомов газов и заставить их вибрировать и излучать свет. Длинные поперечные волны, очевидно, не могут дать нужный эффект, так как крайне малые электромагнитные возмущения могут проходить мили в воздухе. Такие темные волны, если только они не имеют длину волн света, не могут, как кажется, возбуждать световое излучение в трубке Гейссле-ра, а световые эффекты, которые порождаются индукцией в трубке, лишенной электродов, я склонен считать имеющими электростатическую природу.

Для получения таких световых эффектов требуются непосредственные электростатические воздействия; какова бы ни была их частота, они могут возбуждать заряды молекул и производить свет. Поскольку импульсы тока нужной частоты не могут пройти через проводник измеримых габаритов, то мы должны работать с газом, и тогда производство мощных электростатических эффектов становится крайне необходимо.

Мне, однако, пришло на ум, что есть много способов получения электростатических эффектов для производства света. Например, мы можем поместить предмет, изготовленный из светопреломляющего материала, внутрь сферы, откуда более или менее откачан воздух, соединить этот предмет с источником тока высокой частоты и высокого напряжения, что заставит молекулы газа ударяться о поверхность на огромной скорости много раз в секунду и, таким образом, при помощи триллионов невидимых молоточков, бить его, пока оно не засветится; или можно поместить некое тело в сосуд с полностью откачанным воздухом в электрически прочный вакуум и, подав ток высокой частоты и высокого напряжения, передавать достаточное количество энергии от него к другим предметам, находящимся в непосредственной близости, или, в общем, вокруг, и так поддерживать любую степень свечения; или мы можем, при помощи высокой частоты и высокого напряжения, возбуждать эфир, переносимый молекулами газа, или их статические заряды, заставляя их вибрировать и излучать свет.

Но так как электростатические эффекты зависят от потенциала и частоты, то для наиболее мощного результата требуется увеличить и то и другое насколько это практически возможно. Возможно, можно достичь неплохого результата, уменьшив один из этих показателей, тогда как другой будет достаточно велик; но мы ограничены в обоих направлениях. Мой опыт показывает, что мы не можем опускаться ниже определенного уровня частоты, ибо тогда потенциал становится настолько велик, что это опасно; а во-вторых, производство света тогда менее эффективно.

Я обнаружил, что при использовании обычных низких частот физиологическое воздействие тока, который требуется для поддержания определенного уровня свечения в трубке длиной четыре фута, которая на концах снабжена внутренним и внешним конденсирующим покрытием, настолько велико, что, я полагаю, может причинить серьезную травму тому, кто не привык к подобным ударам; в то время как при частоте 20 000 колебаний в секунду трубка может светиться так же ярко, но болевых ощущений не почувствуешь. Это в основном объясняется тем, что для получения такого же светового эффекта требуется гораздо меньшее напряжение, а, следовательно, производство света более эффективно. Очевидно, КПД в таких случаях тем выше, чем больше частота, и чем быстрее протекает процесс заряда и разряда молекул, тем меньше энергии теряется в форме темного излучения. Но, к сожалению, мы не можем переступить определенный порог частоты по причине возникающих трудностей в производстве и передаче нужного эффекта.

Выше я уже утверждал, что предмет, помещенный в лампу, в которой есть воздух, сильно нагревается, если его соединить с источником высокого напряжения и высокой частоты. Нагрев в таком случае, по всей вероятности, происходит вследствие бомбардировки предмета молекулами газа, содержащегося в лампе. Если из лампы откачать воздух, нагрев происходит гораздо быстрее, и совсем нетрудно довести до состояния свечения провод или

нить накаливания, просто соединив их с одним из выводов катушки нужных размеров. Так, если хорошо известный аппарат профессора Крукса, состоящий из согнутого платинового провода и крыльчатки, закрепленной свободно на нем (рисунок 18), соединить с одним из выводов катушки, — причем соединены могут быть любой конец провода или оба сразу, — провод нагревается до свечения моментально, а слюдяная крыльчатка вращается так, как будто применялся ток из аккумулятора. Тонкая угольная нить или, лучше, пробка, изготовленная из преломляющего свет материала (рисунок 19), даже если они сравнительно плохие проводники, помещенные в колбу с откачанным воздухом, могут сильно светиться; и вот так мы получаем простую лампочку мощностью в нужное количество свечей.

Хорошо ли работают такие лампы, зависит прежде всего от выбора материала предмета, помещаемого в колбу. Поскольку при описанных условиях могут использоваться предметы, изготовленные из материала с высокими преломляющими способностями, — а они плохие проводники и способны длительное время выдерживать высокие температуры, — такие осветительные приборы можно считать вполне удачными.

Некоторые могут подумать, что если из лампочки, в которую помещен преломляющий свет предмет, полностью откачать воздух, — насколько это можно проделать при помощи современной техники, — то нагрев будет не таким сильным, а в абсолютном вакууме он вообще не будет происходить. Мой опыт этого не подтверждает; напротив, чем лучше вакуум, тем проще довести предмет до свечения. Этот результат интересен по нескольким причинам.

В начале этой работы я задался вопросом: можно ли довести до свечения одним конденсаторным действием два предмета из материала с высокими преломляющими способностями, помещенными в колбу, из которой воздух откачан до такой степени, что разряд большой катушки, работающей в обычном режиме, не может пройти? Очевидно, для того, чтобы достичь такого результата, надо применить высокое напряжение и частоту, как это следует из простых подсчетов.

Но такая лампа обладала бы огромным преимуществом перед обычной лампой накаливания с точки зрения КПД. Хорошо известно, что КПД лампы — это в определенной степени функция степени накаливания и что если бы мы могли накаливать нить в несколько раз сильнее, то КПД был бы выше. В обычной лампе это непрактично вследствие разрушения нити, и опытным путем было определено, насколько сильно мы можем ее раскалить. Нельзя сказать, насколько бы увеличился КПД, если бы нить могла выдерживать накаливание беспрельдно, так как исследования в этом направлении могут продолжаться до определенного этапа; но есть причины полагать, что этот фактор возрос бы значительно. Можно улучшить лампу, применив короткую и тонкую угольную нить, но тогда провода подводки должны быть толстыми, и, кроме того, есть несколько других соображений, делающих эту модель непрактичной. Но в такой лампе провода подводки могут быть очень маленькими, преломляющий материал может состоять из образцов, излучающая поверхность которых очень мала, так что меньше энергии потребуется для того, чтобы поддерживать надлежащий уровень нагрева; и вдобавок ко всему материалом накаливания не обязательно должен быть уголь, это может быть смесь оксидов, или можно выбрать иной материал, являющийся плохим проводником или диэлектриком, который может выдерживать высокую температуру.

Всё это указывает на возможность получения большего КПД в такой лампе, чем тот, что можно получить в обычных лампах накаливания. Мой опыт показывает, что образцы могут светиться при меньшем напряжении, чем показывают расчеты, и что образцы можно расположить на большем расстоянии друг от друга. Мы можем свободно предположить, и это возможно, что молекулярная бомбардировка — это важный элемент нагрева, даже если воздух из колбы тщательно откачан, как это делал я; и хотя количество молекул сравнительно невелико, всё же по причине длинного среднего их пути столкновений меньше и молекулы развивают большую скорость, так что эффект нагревания благодаря этому может выражаться гораздо сильнее, чем в опытах Крукса с излучающими веществами.

Но есть вероятность и того, что здесь мы столкнемся с возросшей возможностью потерять заряд в вакууме, когда потенциал быстро меняется, в этом случае нагрев большей частью происходит вследствие волнообразного образования зарядов в нагретом теле. Либо наблюдаемый эффект можно в целом объяснить теми моментами, которые я упоминал выше, вследствие чего образцы нити накаливания, помещенные в вакуум, подобны конденсаторам с поверхностью во много раз большей, чем их геометрические размеры. Ученые до сих пор расходятся во мнении, теряется или нет заряд в абсолютном вакууме или, другими словами, является он проводником или нет. Если первое, тогда тонкая нить, помещенная в абсолютный вакуум и соединенная с источником постоянного тока очень большого напряжения, нагревалась бы и светилась.

Я создал и эксплуатировал много типов ламп, основанных на вышеописанном принципе с преломляющими телами в форме нитей (рисунок 20), или блоков (рисунок 21), и всё еще продолжаю исследования в этом направлении. Совсем нетрудно достичь такой высокой степени нагрева, что обычный уголь плавится и улетучивается. Если бы можно было получить абсолютный вакуум, такая лампа, хотя ее и нельзя эксплуатировать с теми приборами, которые есть в настоящее время, могла бы, при надлежащих условиях, стать осветительным прибором, который никогда не ломается, и имеет гораздо больший КПД, чем обычная лампа накаливания. Такого совершенства, конечно, никогда не достичь, всегда происходит медленное разрушение и постепенное истончение, как у нитей накаливания; но невозможен и преждевременный выход из строя, который вызывается обрывом нити накаливания, особенно когда излучающие предметы в форме блоков.

Когда потенциал быстро меняется, нет необходимости помещать два блока в колбу, нужен только один, как на рисунке 19, или нить, как на рисунке 22. Потенциал в этом случае должен быть гораздо выше, но его легко получить, и к тому же он необязательно опасен.

Когда все остальные показатели равны, лампа доводится до свечения в зависимости от размеров колбы. Если бы можно было получить абсолютный вакуум, размер колбы не имел бы значения, ибо нагрев происходил бы только за счет импульсных зарядов, и вся энергия отдавалась в окружающую среду в форме излучения. Но на практике этого достичь нельзя. В колбе всегда остается газ, и хотя он откачивается максимально возможно, всё же пространство внутри колбы можно рассматривать в качестве проводника, когда применяется высокое напряжение, и я полагаю, что оценивая количество энергии, отдаваемое нитью в окружающую среду, мы должны рассматривать внутреннюю поверхность колбы как одну обкладку конденсатора, а воздух и другие предметы, окружающие колбу, как другую обкладку.

Когда колебания очень малы, нет сомнения, что значительная часть энергии уходит на электризацию окружающего колбу воздуха. Для более полного изучения этого предмета я проводил опыты с крайне высоким потенциалом и низкой частотой. Тогда я обнаружил, что если поднести руку к лампе, когда нить соединена с одним выводом катушки, чувствуются мощные вибрации, которые вызваны притяжением и отталкиванием молекул воздуха, наэлектризованных через стекло. В некоторых случаях, когда процесс происходил очень интенсивно, я слышал звук, происхождение которого должно быть объясняется теми же причинами.

Когда частота низкая, можно получить очень сильный удар током от лампы. В целом, когда присоединяешь лампу или другой предмет определенного размера к выводам катушки, следует опасаться скачка напряжения, так как он может быть вызван просто этим подключением, и напряжение может вырасти в несколько раз по сравнению с первоначальным значением.

Когда к катушке подключаются лампы, как показано на рисунке 23, емкость ламп может быть такой, что при этих условиях они дадут максимальное возрастание напряжения. Таким способом можно получить нужный потенциал при меньшем количестве витков провода.

Срок службы этих ламп, конечно, зависит от степени откачки воздуха, но частично и от формы блока материала с высокой преломляющей способностью. Теоретически может показаться, что маленький угольный шарик, помещенный в стеклянную колбу не пострадает от молекулярной бомбардировки, поскольку, когда материя в колбе излучает, молекулы движутся по прямой и редко сталкиваются с шариком под углом. В связи с этим интересна мысль о такой лампе, в которой «электричество» и электрическая энергия очевидно должны двигаться по одним линиям.

Использование переменного тока высокой частоты делает возможной передачу при помощи электростатической и электромагнитной индукции сквозь стекло лампы достаточной энергии, чтобы поддерживать свечение нити и избавиться от подводящих проводов. Такие лампы предлагались, но за неимением надлежащего оборудования успешно не использовались. Я сконструировал и проводил опыты с большим количеством ламп, основанных на принципе непрерывной и прерывистой нити. Когда используется вторичная обмотка, помещенная в лампу, целесообразно совместить ее с конденсатором. Когда передача осуществляется электростатической индукцией, потенциалы, конечно, очень высоки при частоте, получаемой с машины. Например, когда поверхность конденсатора составляет сорок квадратных сантиметров, что, в общем-то, не так уж и много, а толщина стекла 1 мм, частота составляет 20 000 колебаний в секунду, требуемое напряжение — примерно 9 000 вольт. Это может показаться большой цифрой, но так как каждая лампа может включаться во вторичную обмотку трансформатора очень небольших размеров, это не так уж и неудобно, более того, это устройство не причинит смертельного вреда. Трансформаторы предпочтительнее всего включать последовательно. Регулировка не составит труда, так как с токами такой частоты легко добиться их постоянства.

На прилагающихся рисунках показано несколько типов таких ламп. Рисунок 24 — лампа с прерывистой нитью, рисунки 25а и 25б — лампа с одиночным внешним и внутренним слоями и одиночной нитью. Я также изготавливал лампы с двумя внешними и внутренними слоями и сплошной петлей, соединяющей их. Такие лампы я эксплуатировал с импульсами тока огромной частоты, получаемыми от разрядов конденсатора.

Прерывистый разряд конденсатора особенно предпочтителен для работы таких ламп — где нет внешних подключений — при помощи электромагнитной индукции, причем эффект электромагнитной индукции крайне высок; мне также удалось получить желаемое свечение всего лишь с несколькими витками провода. Свечения можно также добиться, используя простую замкнутую нить.

Оставив теперь в стороне вопрос о практичности таких ламп, могу сказать, что они обладают прекрасной и желаемой многими особенностью, а именно: по усмотрению им можно придать более яркое свечение, просто изменив положение внешнего и внутреннего слоя конденсатора, или индуктивного контура.

Подключения лампы можно добиться путем присоединения ее к одному выводу источника, покрыв колбу внешним конденсирующим слоем, который одновременно выполняет роль отражателя, и соединив его с изолятором определенного размера. Такого типа лампы показаны на рисунках 26 и 27. На рисунке 28 показана схема подключения. Яркость этой лампы можно регулировать в широких пределах, меняя размеры изолированной металлической пластины, к которой подключен слой конденсатора.

Также можно освещать помещения при помощи ламп с одним подводящим проводом, как показано на рисунках 20 и 21, соединив один вывод лампы с выводом источника, а второй с изолированным предметом необходимого размера.

Во всех случаях изолированный предмет служит для отдачи энергии в окружающее пространство и подобен обратному проводу. Очевидно, в двух последних случаях, вместо присоединения проводов к изолированному предмету, можно подключиться к заземлению.

Опыты — наиболее интересные и многообещающие — те, что проводятся с вакуумными трубками. Как и ожидалось, источник тока такой частоты способен возбуждать трубки на больших расстояниях, и получаемые световые эффекты просто замечательны.

Во время своих экспериментов я пробовал возбуждать трубки, лишённые электродов, при помощи электромагнитной индукции, когда трубка служит вторичной обмоткой катушки индуктивности, пропускающей через первичную обмотку разряды лейденской банки. Эти трубки были разной формы, и мне удалось получить световые эффекты, которые я тогда относил к действию электромагнитной индукции. Но после тщательного изучения явлений я обнаружил, что полученные эффекты больше по природе электростатические.

Именно поэтому этот способ возбуждения трубок очень расточителен: если первичная обмотка замкнута, то потенциал, а следовательно, и электростатический индуктивный эффект сильно ослаблен.

Во время работы катушки индуктивности, как описано выше, нет сомнения в том, что трубки возбуждаются при помощи электростатической индукции, а электромагнитная индукция имеет малое (если вообще имеет) значение.

Это со всей очевидностью следует из опытов. Например, если взять трубку в одну руку и находиться возле катушки, она ярко светится и остаётся такой независимо от того, в каком положении она находится от тела наблюдателя. Если бы действие было электромагнитным, трубка не светилась бы, когда наблюдатель находился между ней и катушкой, или, по крайней мере, её яркость сильно уменьшилась. Если трубку держать точно по центру катушки, — когда последняя намотана посекционно и первичная обмотка симметрична вторичной, — она может быть совершенно темной, если же её перенести немного ближе к краю вправо или влево, ярко освещается.

#### *Рис. 28*

Она не светится потому, что в центре обе половины нейтрализуют друг друга и потенциал равен нулю. Если бы действие было электромагнитным, то трубка ярче всего светилась бы именно в плоскости, проходящей через середину катушки, так как электромагнитный эффект здесь максимальный. Когда между контактами катушки устанавливается дуга, все лампы вокруг гаснут, но зажигаются вновь, когда дуга исчезает по причине повышения напряжения. Хотя электромагнитный эффект должен быть практически таким же в обоих случаях.

Размещая трубку на расстоянии от катушки и ближе к одному из выводов — предпочтительнее в точке на оси катушки, — можно осветить её, дотронувшись до дальнего вывода катушки изолированным предметом или рукой, таким образом повысив напряжение на выводе рядом с трубкой. Если трубку приблизить к катушке настолько, что она засветится от действия ближнего контакта, то погасить её можно, удерживая на изолированной подставке конец провода, соединённый с дальним выводом, вблизи ближнего вывода, таким образом компенсируя воздействие последнего на трубку. Эти явления явно электростатические. Подобным же образом, когда трубку помещают на значительном расстоянии от катушки, наблюдатель, стоя на изолированной подставке между катушкой и трубкой, может осветить последнюю, поднеся к ней руку; либо он может заставить её светиться, просто встав между ней и катушкой. При электромагнитном действии это невозможно, ибо тело наблюдателя играет роль экрана.

Когда катушка получает энергию от крайне малых токов, экспериментатор может, прикоснувшись к одному из выводов катушки трубкой, погасить последнюю и снова зажечь её, разорвав контакт с выводом и позволив образоваться небольшой дуге. Это происходит явно по причине соответствующего понижения и повышения потенциала на выводе. В описанном выше опыте, когда трубка освещается через небольшую дугу, она может

погаснуть при ее исчезновении, так как электростатическая индукция сама по себе очень слаба, хотя напряжение может быть велико; но когда устанавливается дуга, электризация одного конца трубки гораздо сильнее и он постепенно освещается.

Если держать конец трубки правой рукой, она будет ярко светиться, но перехватив трубку в середине левой рукой, можно погасить участок трубки, находящийся между руками. Удивительный эффект прекращения свечения трубки можно получить, проведя рукой вдоль трубки и в тоже время плавно убирая ее от катушки, правильно угадав расстояние, чтобы трубка и после этого оставалась темной.

Если первичную обмотку катушки расположить сбоку, как показано на рисунке 166, например, и вакуумную трубку вводить с другого конца внутрь, трубка будет интенсивно светиться, так как увеличивается конденсаторный эффект, и в этом положении очень четко видны полосы. Во всех описанных опытах и многих других действие явно электростатическое.

Эффект экранирования также указывает на электростатическую природу этих явлений и демонстрирует кое-что в плане электризации на расстоянии. Например, если трубку поместить в направлении оси катушки и отделить их друг от друга металлической пластиной с изолятором, трубка в целом засветится ярче, а если трубка будет находиться слишком далеко от катушки, ее всё же можно заставить светиться, поместив между ней и катушкой такую пластину. Сила эффекта в некоторой степени зависит от размеров пластины. Но если пластину заземлить, это промежуточное положение всегда будет гасить трубку, даже если она будет находиться недалеко от катушки. В целом, промежуточное положение предмета между трубкой и катушкой увеличивает или уменьшает яркость свечения трубки или ее способность загораться, в зависимости от того, увеличивается или уменьшается электризация. При экспериментах с изолированной пластиной она не должна быть слишком большой, в противном случае она будет оказывать ослабляющее действие, так как обладает способностью отдавать энергию окружающей среде.

Если трубку зажечь на каком-то расстоянии от катушки, и поместить между ними резиновую или другую изолирующую пластину, трубка может погаснуть. Промежуточное положение диэлектрика в данном случае немного повышает индукцию, но сильно ослабляет электризацию сквозь воздух.

Тогда во всех случаях, когда мы возбуждаем свечение вакуумных трубок при помощи такой катушки, это явление происходит вследствие быстро меняющегося электростатического потенциала; и более того, оно может относиться на счет гармонических колебаний, производимых непосредственно самой машиной, а не наложениями колебаний, которые, как полагают, присутствуют. Такие наложенные колебания невозможны, когда мы используем машину переменного тока. Если пружину постепенно сжимать и отпускать, она не совершает самостоятельных колебаний; для этого ее надо внезапно отпустить. То же самое происходит и с переменными токами в динамо-машине; среда гармонично подвергается напряжению и расслаблению, вырабатывая только один тип волн; внезапное замыкание или обрыв, или внезапный пробой диэлектрика, как при разряде лейденских банок, необходим для получения наложенных волн.

Во всех только что описанных опытах можно использовать безэлектродные трубки, и с их помощью нетрудно получить достаточное освещение для чтения. Световой эффект, однако, значительно усиливается, если применять фосфоресцирующие материалы, такие, как иттрий, урановое стекло, и т. д. Здесь можно столкнуться с трудностями, так как эти материалы при мощных воздействиях постепенно уменьшаются в количестве, и предпочтительнее работать с твердым веществом.

Чтобы не зависеть от эффекта индукции на расстоянии, зажечь трубку можно при помощи внешнего — или, если есть желание, и внутреннего — слоя конденсатора, подвесив трубку в любом месте в комнате на проводе, соединенном с одним выводом катушки. Таким способом можно добиться мягкого освещения. Однако идеальным освещением комнаты было бы создание таких условий, когда осветительный прибор можно передвигать куда угодно и

он загорался бы везде и его не надо было бы подключать. Мне удалось этого достичь, создав в комнате мощное высокочастотное электростатическое поле.

С этой целью я подвесил лист металла на расстоянии от потолка на изолирующих шнурах и соединил его с одним из выводов катушки, другой же вывод заземлил. Я подвешивал и два листа, как показано на рисунке 29, каждый из них соединен с одним из выводов катушки и их размеры тщательно рассчитаны. Вакуумную трубку теперь можно держать в руке в любом месте между этими листами, даже немного за их пределами, — она всегда светится. *Рис. 29*

В таком электростатическом поле проявляются интересные явления, особенно если частота низкая, а потенциал высокий. Кроме указанных световых эффектов можно наблюдать, что любой изолированный проводник искрит, если к нему поднести руку или другой предмет, и искры довольно мощные. Когда большой проводник укреплен на изолирующей подставке и к нему поднести руку, чувствуется вибрация, вызванная движением молекул воздуха, можно также наблюдать светящиеся потоки, если руку поднести к какому-либо выступу. Если прикоснуться одним или двумя контактами телефонной трубки изолированного проводника некоторых размеров, телефон издаёт громкий звук; он также гудит, когда провод определенной длины прикасается к одному или обоим выводам, а при мощных полях звук имеет место даже без провода.

Насколько эти принципы применимы практически, покажет будущее. Может возникнуть мнение, что электростатические явления непригодны для работы на расстоянии. Напротив, проявления электромагнитной индукции, если их применять для производства света, более пригодны. Правда, электростатические явления теряют силу в кубе по мере удаления от катушки, в то время как электромагнитная индукция просто уменьшается на расстоянии. Но если мы установим принудительное электростатическое поле, всё будет по-другому, так как вместо разностного воздействия выводов мы имеем их совокупное действие. Кроме того, я бы обратил ваше внимание на то, что в переменном электростатическом поле проводник, такой, как вакуумная трубка, например, имеет тенденцию в основном поглощать энергию, в то время как в электромагнитном переменном поле проводник поглощает наименьшее количество энергии, а волны отражаются с наименьшими потерями. Это одна из причин, по которой трудно возбудить вакуумную трубку на расстоянии при помощи электромагнитной индукции. Я наматывал катушки большого диаметра и с большим количеством витков и подключал трубку Гейсслера к выводам катушки с целью зажечь трубку на расстоянии; но даже при помощи мощных индуктивных воздействий, получаемых при помощи разряда лейденской банки, трубка не светилась, если была далеко от катушки, хотя это позволило мне сделать кое-какие выводы относительно габаритов последней. Я также заметил, что даже самые мощные разряды лейденской банки способны создать лишь слабое освещение в запаянной вакуумной трубке, и даже эти явления после тщательного изучения я вынужден был отнести к электростатическим.

Тогда как мы можем надеяться получить нужный результат на расстоянии при помощи электромагнитного воздействия, когда даже в непосредственной близости от источника возбуждения при наивыгоднейших условиях мы можем добиться лишь слабого свечения?

Правда, при действии на расстоянии нам помогает резонанс. Мы можем соединить вакуумную трубку или любой другой осветительный прибор с изолированной системой надлежащей мощности и тогда станет возможно увеличить эффект количественно и только количественно, ибо мы не получим *больше* энергии через наш прибор. Итак, мы можем при помощи резонанса получить требуемую электродвижущую силу в вакуумной трубке и иметь слабое свечение, но мы не сможем получить достаточно энергии для того, чтобы иметь достаточно света, и простые подсчеты, основанные на результатах опытов, показывают, что даже если вся энергия, которую трубка получит на определенном расстоянии, будет полностью преобразована в свет, вряд ли его количество будет практически достаточным. Отсюда возникает необходимость направлять энергию с помощью проводников к месту

преобразования. Но поступая так, мы не можем отойти от той методики, что используется в настоящее время, и всё, что мы можем сделать, — усовершенствовать технику.

Эти соображения подсказывают, что этот идеальный способ освещения можно осуществить на практике, только используя электростатику. В таком случае нам понадобятся очень мощные проявления электростатической индукции, а аппаратура, следовательно, должна быть способной вырабатывать высокое напряжение, меняющее свое значение с предельной скоростью. Нам тем более нужны высокие частоты, раз мы хотим иметь низкое напряжение. Прибегая к помощи механических устройств, мы можем добиться только низких частот; следовательно, надо идти в обход, пользуясь другими средствами. Разряд конденсатора дает нам возможность получения гораздо более высокой частоты, чем получаемой механически, и я, естественно пользовался конденсаторами в вышеописанных опытах.

Когда выводы катушки высокого напряжения (рисунок 30) посредством дуги подключаются к лейденской банке и последняя отдельными разрядами разряжается в цепь, мы можем рассматривать дугу, имеющую место между выводами катушки, как источник переменного тока, и тогда нам приходится иметь дело с подобной системой, состоящей из генератора такого тока, и контура, соединенного с ним, и конденсатора, выполняющего роль моста. Конденсатор в таких случаях — самый настоящий преобразователь, и поскольку частота очень высока, можно получить любое соотношение токов в обеих частях системы. На самом деле, аналогия не так уж полна, ибо в пробивном разряде мы имеем в основе своей моментальное изменение относительно низкой частоты и наложенные гармонические колебания, а законы, управляющие течением тока, в них не тождественны.

Когда мы действуем таким способом, соотношение преобразования не должна быть слишком большим, так как потери в дуге возрастают пропорционально квадрату силы тока, а если банку разряжать через толстые и короткие проводники, чтобы получить очень быстрые колебания, значительная часть энергии теряется. С другой стороны, низкие скорости непрактичны по многим очевидным причинам.

Так как преобразованные токи текут по замкнутому контуру, электростатические эффекты обязательно малы и, следовательно, я преобразую их в токи и эффекты необходимого характера. Предпочтительная схема подключения показана на рисунке 31. Способ работы делает возможным при помощи небольших и дешевых устройств получать огромную разность потенциалов, которую ранее получали при помощи больших и дорогих катушек. Для этого надо взять обычную маленькую катушку, соединить ее с конденсатором и разрядным контуром, которая образует первичную обмотку дополнительной маленькой катушки, и преобразовывать в большую сторону. Так как индуктивность первичных цепей очень мала, вторичная обмотка не должна иметь много витков. При соответствующем выборе элементов, можно получить замечательные результаты.

В своих попытках получить необходимые электростатические эффекты таким образом я столкнулся со многими трудностями, которые постепенно преодолевал, но в данный момент я не готов к рассказу о своих изысканиях.

Полагаю, разряд конденсатора с помощью разрядника будет иметь в будущем большое значение. Ибо он предлагает огромные возможности не только для освещения теоретически, но и для других областей.

Многие годы изобретатели работали над проблемой получения электроэнергии при помощи термоэлемента. Было бы оскорбительно полагать, что лишь немногие знают, в чем проблема термоэлемента. Это не КПД или малая мощность — хотя и это серьезные недостатки, — но то, что у термоэлемента есть своя «филлоксера», т. е. при постоянном использовании он ухудшается, именно это и не позволяет использовать его в промышленном масштабе. Теперь, когда современные исследования, кажется, указали определенно на необходимость использования электричества высокого напряжения, многие должны задаться вопросом, можно ли практичным способом получать эту форму энергии из тепла. Мы привыкли смотреть на электростатическую машину как на игрушку, и так или иначе

связываем ее с чем-то непрактичным и неэффективным. Но пришла пора начать мыслить по-иному, ибо теперь мы знаем, что везде вынуждены сталкиваться с теми же силами, и что заставить их работать нам во благо — только вопрос изобретения надлежащих устройств.

В существующих системах распределения электричества применение железа с его удивительными магнитными свойствами позволило нам значительно уменьшить габариты аппаратов, хотя они всё равно слишком громоздки. Чем дальше мы продвигаемся в изучении электричества и магнетизма, тем больше убеждаемся в том, что современным методам не суждена долгая жизнь. По крайней мере для производства света такая тяжеловесная аппаратура не нужна. Требуется небольшое количество энергии, и если свет можно получать так же эффективно, как показывает теория, устройства должны быть маломощными. Если предположить, что методы освещения в будущем будут подразумевать применение высокого напряжения, то желательно создать устройство, способное преобразовывать энергию тепла в энергию нужной формы. Не стоит говорить о том, что сделано в этом направлении, так как мысль о том, что электричество напряжением около 50 000 вольт или 100 000 вольт или более того, даже если его удастся получить, не будет полезно для практического применения, отвратила исследователей от работы в этом направлении.

На рисунке 30 показана схема подключения устройства, необходимого для преобразования токов высокого в токи низкого напряжения при помощи разрядника и конденсатора. Эта схема часто использовалась мной для подключения нескольких ламп накаливания в лаборатории. Некоторые трудности были при работе с дугой разряда, которые я в основном преодолел; кроме этого и настройки машин, других проблем не было, и было легко работать с обычными лампами и даже моторами. При наличии заземления со всеми проводами можно было работать совершенно безопасно, даже имея высокое напряжение на выводах конденсатора. Во время этих опытов применялась катушка высокого напряжения, запитанная от аккумулятора или от генератора переменного тока, для зарядки конденсатора; но катушку можно заменить на другое приспособление, способное выдавать ток высокого напряжения. Таким образом, постоянный и переменный ток можно было преобразовывать, получая импульсы необходимой частоты. Когда токи, заряжающие конденсатор, имеют одно и то же направление, необходимо, чтобы и преобразованные токи также имели одно и то же направление, надо, естественно, так подобрать сопротивление разрядного контура, чтобы не было колебаний.

При работе с приборами по вышеописанной схеме я наблюдал любопытные явления, связанные с сопротивлением, которые интересно описать.

Например, если согнуть толстый медный брусок, как на рисунке 32, и за-шунтировать при помощи ламп накаливания, то при разряде конденсатора через выводы катушки лампы засветятся, хотя они и закорочены. Когда применяется большая катушка, на поверхности бруска легко получить узлы, которые обнаруживаются по степени яркости ламп, как показано на рисунке 32. Узлы никогда не имеют четких очертаний — они представляют собой лишь пики и моменты падения напряжения по длине бруска. Это можно объяснить неравномерностью дуги между контактами. В общем, когда применяется указанная схема преобразования высокого напряжения в низкое, поведение пробойного разряда можно пристально пронаблюдать. Узлы можно изучить при помощи обычного вольтметра Кардью, который должен быть хорошо изолирован. Трубки Гейслера также могут светиться возле точек согнутого бруска; в этом случае, конечно, надо применять меньшие мощности. Я обнаружил, что в данном случае удобно зажигать лампу, и даже трубку Гейслера, замкнутую коротким тяжелым куском металла, результат, на первый взгляд, кажется очень любопытным. Фактически, чем толще брусок (рисунок 32), тем лучше для опытов и результаты их поразительны. Когда используются лампы с длинной тонкой нитью, часто заметно, что нити время от времени резко вибрируют, это действие уменьшается возле узловых точек. Видимо, эти вибрации объясняются электростатическим действием между нитью и стеклом колбы.

В некоторых таких опытах надо применять особые лампы с прямой нитью, как на рисунке 33. Когда применяется такая нить, можно наблюдать еще более любопытное явление. Лампу можно поместить перпендикулярно медному бруску и зажечь; используя несколько большие мощности или, иными словами, меньшую частоту или меньшее импульсное сопротивление, нить можно довести до любого уровня накала. Но если сопротивление увеличить, можно достичь уровня, когда через уголь протекает слабый ток, а большая его часть протекает через разреженный газ; может быть, будет более правильным сказать, что равные доли тока протекают через обе среды, несмотря на большую разницу в сопротивлении, и это будет правильно, если только газ и нить не ведут себя по-иному. Затем было замечено, что вся колба ярко освещена и концы подводящих проводов светятся и даже искрят, хотя угольная нить остается темной. Это показано на рисунке 33. Вместо нити можно использовать отдельный провод, проходящий через всю колбу, и в этом случае явление кажется еще более интересным.

Из проведенных опытов ясно, что когда в них участвуют обычные лампы, запитанные от преобразователей, надо использовать такие лампы, где платиновые провода разведены далеко друг от друга, а частота тока невелика, иначе на концах нити или у основания лампы образуется разряд, и она может повредиться.

Представляя вашему вниманию результаты моих исследований по этому предмету, я остановился только вскользь на фактах, которые мог бы описывать очень долго, и среди моих наблюдений я выбрал только те, которые, как мне показалось, могли бы вас заинтересовать. Это поле деятельности очень широко и совсем не изучено, каждый шаг приоткрывает истину и новые факты.

Насколько результаты, полученные мной, применимы на практике, покажет будущее. Что касается производства света, некоторые результаты весьма обнадеживают и питают мою уверенность в том, что практическое решение проблем лежит в направлении, которое я попытался указать. Всё же, каковы бы ни были непосредственные результаты этих опытов, я надеюсь, что они будут только шагом в дальнейших изысканиях идеала и совершенства. Возможности, открываемые современными исследованиями, настолько широки, что даже скептики должны с радостью предвкушать будущее.

### *Рис. 33*

Именитые ученые решают проблему использования одного типа излучения без применения других в устройствах, созданных для производства света при помощи преобразования одной из форм энергии в свет.

Такого результата нельзя добиться, ибо неважно, каков процесс производства необходимых колебаний: электрический, химический или иной, невозможно получить высокочастотные световые колебания без того, чтобы использовать низкочастотные тепловые колебания. Это — проблема придания телу определенной скорости без прохождения "через низкие скорости. Но есть возможность получения энергии не только в виде света, движущей силы и энергии любого другого вида в каком-то другом виде из окружающей среды. Придет время и всё это будет достигнуто, а сейчас настало время, когда можно произнести эти слова перед просвещенной аудиторией и тебя не сочтут глупым мечтателем. Мы вращаемся в бесконечном пространстве с невообразимой скоростью, всё вокруг нас вращается, всё движется, везде есть энергия. Должен быть способ получать эту энергию напрямую. Тогда, получив свет из окружающей среды, получив от него энергию, когда любой тип энергии добывается без усилий из источника неисчерпаемого, человечество пойдет вперед семимильными шагами. Одна только мысль об этих замечательных возможностях расширяет наше сознание, укрепляет надежду и наполняет сердца высшим ликованием.

### 3. Эксперименты с переменными токами высокого напряжения и высокой частоты<sup>7</sup>

Мне трудно подобрать слова, чтобы выразить, как я польщен тем, что мне представилась возможность выступить перед аудиторией, состоящей из передовых мыслителей современности, стольких выдающихся ученых, инженеров и электриков, живущих в стране, славной величайшими научными достижениями.

Результаты опытов, которые я имею честь представить перед таким собранием, я не могу назвать только своими. Есть среди вас многие, кто имеет право заявить больше прав, чем я, на все достижения, которые может содержать этот труд. Мне не нужно называть много имен, знакомых всему миру, имен тех среди вас, кто является лидером этой захватывающей науки, но одно имя я должен упомянуть — имя, которое нельзя не вспомнить во время такого события. Это имя связано с самым прекрасным открытием, когда-либо сделанным человеком: это имя Крукс!

Когда я еще посещал колледж, давным-давно, прочитал в переводе (ибо тогда я еще не был знаком с вашим великолепным языком) описание его опытов над лучистой материей. Я читал его всего один раз — тогда — тем не менее все подробности могу припомнить и сегодня. Мало есть таких книг, которые, так сказать, производят подобное впечатление на разум студента.

Но если сегодня я упоминаю это имя среди многих, коими может похвастаться ваше заведение, то лишь потому, что у меня есть много причин для того. Поскольку то, что я хочу рассказать и показать вам сегодня вечером, в огромной степени имеет отношение к тому самому малоизвестному миру, который профессор Крукс так умело исследовал; и более того, когда я мысленно уношусь в прошлое и протягиваю нить, которая привела меня к моим успехам, — которые даже я не смею назвать пустяковыми, так как они получили вашу высокую оценку, — я верю, после долгих размышлений, что источником, увлекшим меня в этом направлении и приведшим к вершинам, была та самая маленькая книжка, которую я прочел много лет назад. И вот теперь, когда я сделал робкую попытку выразить уважение и признательность ему и многим среди вас, я предприиму вторую попытку, которая, как я надеюсь, не покажется вам такой робкой, дабы развлечь вас.

Позвольте мне рассказать вкратце о предмете лекции.

Не так давно я имел честь рассказать у нас в Американском институте электроинженеров о некоторых результатах, которых я достиг в новом направлении своих трудов. Не нужно убеждать вас в том, что те многие знаки внимания, которые английские ученые и инженеры продемонстрировали к моей работе, были для меня большой наградой и очень меня воодушевили. Не стану задерживаться на уже описанных опытах, сделаю только небольшое дополнение, с тем чтобы более ясно изложить идеи, которые я уже выдвигал, а также, чтобы предмет сегодняшнего обсуждения отразить наиболее полно и последовательно.

Это исследование касается переменных токов, а если быть абсолютно точным, переменных токов высокого напряжения и высокой частоты. Насколько очень высокая частота важна для получения представляемых результатов, мне трудно сказать. Некоторые опыты можно проводить с низкой частотой; но очень высокие частоты желательны, и не только из-за тех явлений, которые они вызывают, но также и потому, что они удобны при наличии современного оборудования для получения высокого напряжения, которое, в свою очередь, требуется для постановки большинства опытов, о которых пойдет разговор.

Из всех исследований в области электричества, возможно, наиболее интересны те, что касаются переменных токов. Прогресс, достигнутый в этой области прикладного знания, так велик в последние годы, что оправдывает самые оптимистические ожидания. Только нам станет известен один факт, как мы уже сталкиваемся с чем-то новым, и открываются новые

<sup>7</sup> Лекция прочитана перед сотрудниками Электротехнического института в Лондоне 3 февраля 1892 года.

пути исследований. Даже в настоящий момент возможности, о которых ранее не приходилось и мечтать, при помощи этих токов уже частично реализованы. Как в природе — всё основано на приливах и отливах, всё движется волнами, так, кажется, во всех отраслях промышленности переменные токи — волновые движения электричества — будут властвовать.

Одна из причин, отчего эта отрасль науки так быстро развивается, — это, пожалуй, тот интерес, который вызывают экспериментальные исследования. Мы обматываем проводом простой кусок железа; соединяем его с генератором, и с удивлением и восторгом наблюдаем действие сил, которые привели в движение, которые позволяют нам преобразовывать, передавать и направлять энергию так, как мы того пожелаем. Мы правильно соединяем схемы, и кусок железа с проводами начинают вести себя так, как будто в них вдохнули жизнь, вращают тяжелый якорь, через невидимые соединения, с большой скоростью и мощностью, при помощи энергии, возможно, переданной на большом расстоянии. Мы наблюдаем, как энергия переменного тока, проходящая по проводу, обнаруживает себя, — не столько в проводе, сколько в окружающем пространстве, — самым удивительным образом принимая форму тепла, света, механической энергии и, что самое удивительное, химических соединений. Все эти наблюдения восхищают нас и наполняют жгучим желанием узнать больше об этих явлениях. Каждый день мы возвращаемся к нашей работе в надежде на открытие — в надежде, что один из нас, не важно кто, найдет решение одной из насущных проблем, и каждый новый день мы возвращаемся к нашему труду со всё большим рвением; и даже если нас не ждет успех, наш труд не пропал даром, ибо эти старания принесли нам часы невыразимого удовольствия, и мы направили свою энергию на благо человечества.

Мы можем — случайным образом, если хотите, — выбрать любой из опытов, который можно поставить с переменным током; только некоторые из них, и далеко не самые потрясающие, могут быть предметом сегодняшней демонстрации; они все одинаково интересны, одинаково будоражат мысль.

Вот простая стеклянная трубка, из которой частично откачан воздух. Я беру ее в руку, касаюсь провода, по которому течет переменный ток высокого потенциала; трубка в моей руке ярко освещается. Как бы я ее ни расположил в пространстве, куда я могу дотянуться, она будет светить с той же яркостью.

Вот вакуумная колба, подвешенная на одном проводе. Стоя на изолирующей подставке, я берусь за нее, и платиновый электрод, укрепленный внутри, ярко нагревается.

А вот еще одна колба, соединенная с вводом, которая, если я прикоснусь к ее металлическому патрону, начинает играть замечательными фосфоресцирующими красками.

Эта же при касании моих пальцев, отбрасывает тень — тень Крукса — от штока внутри.

Вот я опять стою на изолирующей подставке и мое тело касается одного из выводов вторичной обмотки катушки индуктивности, причем длина провода — несколько миль, и вы наблюдаете, как потоки света пробиваются с дальнего его конца, который неистово вибрирует.

Я еще раз соединяю эти две пластины проволочной сетки с выводами катушки, развожу их, и катушка начинает работать. Вы можете видеть, как между пластинами проскакивает небольшая искра. Я ввожу между ними толстую пластину из лучшего диэлектрика, и, вместо того чтобы сделать пробой невозможным, как мы ожидаем, я помогаю прохождению разряда, который, когда я ввожу диэлектрик, просто меняет форму и выглядит как светящиеся потоки.

Есть ли, спрашиваю я, может ли быть исследование более интересное, чем исследование переменного тока? Во всех этих исследованиях, во всех этих опытах многие годы — с тех самых пор, как величайший экспериментатор, из тех, что читали лекции в этом зале, обнаружил принцип ее действия, — с нами был постоянный спутник, устройство, знакомое всем, когда-то игрушка, а теперь нечто принципиально важное — индукционная катушка. Нет прибора более дорогого для электрика. Все, начиная с наиболее талантливых из вас, не побоюсь этого слова, заканчивая самым неопытным студентом, включая вашего лектора, все мы провели многие восхитительные часы, экспериментируя с индукционной

катушкой. Мы смотрели на ее «игру» и думали, размышляли над прекрасными явлениями, которые она открывала нашему восхищенному взору.

Этот прибор настолько хорошо известен, эти явления настолько хорошо знакомы всем, что мужество изменяет мне, когда думаю о том, что осмелился обратиться к такой компетентной аудитории, что осмелился занять ваше внимание таким старым предметом. Вот перед нами то же устройство и те же явления, только устройство работает несколько по-иному, и явления предстают перед нами в несколько ином ракурсе. Некоторые результаты ожидаемы, другие удивляют нас, но все захватывают наше внимание, ибо в научных исследованиях каждый достигнутый результат может стать отправной точкой нового маршрута, каждый новый факт может вести к важным последствиям.

Обычно при работе с индукционной катушкой мы добивались умеренной частоты в первичной обмотке либо при помощи прерывателя, либо при помощи генератора переменного тока. Английские исследователи раннего периода, например Споттисвуд и Гордон, пользовались быстрым прерывателем, соединенным с обмоткой. Наши знания и опыт сегодня позволяют нам четко понять, почему катушка при таких условиях испытаний не демонстрировала никаких замечательных явлений, и почему компетентные ученые не смогли наблюдать любопытные явления, которые наблюдались с тех пор.

В сегодняшнем опыте катушка работает или непосредственно от специально созданного генератора, способного выдавать много тысяч колебаний в секунду, или пробоем разряжая конденсатор через первичную обмотку; мы создаем колебания во вторичной обмотке с частотой много сотен тысяч или миллионов в секунду, если пожелаем; и таким способом мы вступаем на путь, доселе неизведанный.

Невозможно проводить исследования в какой-либо новой области без того, чтобы не сделать в конце концов интересное наблюдение или не узнать какой-нибудь полезный факт. Результаты многих любопытных и неожиданных наблюдений служат тому убедительным доказательством. Возьмем для примера явление наиболее очевидное — разряд индукционной катушки.

Вот катушка, в которой работают токи крайне высокой частоты, получаемые от разрядов лейденской банки. Для студента не будет удивительным, если лектор скажет, что вторичная обмотка этой катушки состоит из сравнительно короткого и толстого провода; не удивит его и то, что, несмотря на это, катушка способна выдать любой потенциал, который сможет выдержать лучшая изоляция; но, хотя он и будет готов, и даже предполагаемый результат не вызовет в нем интереса, всё же сам разряд катушки удивит и заинтересует его.

Все знакомы с разрядом обычной катушки; не стоит его здесь воспроизводить. Но вот, для сравнения, форма разряда катушки, где ток в первичной обмотке колеблется с частотой несколько сот тысяч в секунду. Разряд обычной катушки выглядит как простая линия или полоса света, разряд этой катушки — как мощные пучки и светящиеся потоки, исходящие из всех точек двух проводов, присоединенных к выводам вторичной обмотки (рисунок 1).

Теперь сравним явление, которое вы только что наблюдали, с разрядом машин Хольца или Уимсхерста — еще одного прибора, такого дорогого сердцу экспериментатора. Какая огромная разница! И всё же, если бы я сделал некоторые изменения, — и их сделать легко, если бы только они не мешали проведению других опытов, — я бы получил на этой катушке искры, которые, если бы катушка была скрыта от ваших глаз, а видны были бы только две рукоятки, даже самому дотошному наблюдателю среди вас было бы трудно, если вообще возможно, отличить от искр электрофорного или фрикционного генератора. Это можно сделать по-разному, — например, если катушка заряжает конденсатор от низкочастотного генератора переменного тока, причем желательно настроить разрядный контур так, чтобы в нем не возникало колебаний. Тогда мы получим во вторичной обмотке, если рукоятки достаточного размера и правильно установлены, более или менее быстрое искрение, очень мощное, но редкое, где искры также яркие и также трещат, как те, что производятся электрофорным или фрикционным генератором.

Есть еще один способ — через две первичные обмотки, соединенные с общей вторичной, пропускать два вида тока со слегка различными периодами, что приведет к появлению во вторичной обмотке искр, возникающих со сравнительно большим интервалом. Но даже и с тем оборудованием, что есть у меня сегодня, я могу успешно имитировать искры машины Хольца. Для этого между выводами катушки, заряжающей конденсатор, я устанавливаю длинную неустойчивую дугу, которая периодически рвется от восходящего потока воздуха, который сама же и производит.

*Рис. 1*

Для того чтобы усилить поток воздуха, с каждой стороны дуги, поближе к ней, я кладу две большие слюдяные пластины. Конденсатор, заряжающийся от этой катушки, разряжается в первичную обмотку другой катушки через некоторый воздушный промежуток, что необходимо для создания высокой скорости изменения тока через первичную обмотку. Схема соединения показана на рисунке 2.

$G$  — это обычный генератор переменного тока, соединенный с первичной обмоткой  $P$  катушки, где вторичная обмотка  $S$  заряжает конденсаторы или банки  $CC$ . Выводы вторичной обмотки соединены с внутренним слоем покрытия банок, а внешний слой покрытия соединен с концами первичной обмотки  $pp$  второй катушки. Эта первичная обмотка  $pp$  имеет небольшой зазор  $ab$ .

Вторичная обмотка  $S$  снабжена набалдашниками или шариками  $KK$  нужного размера, расположенными на расстоянии, необходимом для проведения опыта.

Длинная дуга возникает между выводами  $AB$  первой катушки. Дуги  $MM$  из слюдяных пластин.

Каждый раз, когда между  $A$  и  $B$  рвется дуга, банки быстро заряжаются и разряжаются через первичную обмотку  $pp$ , и происходит мгновенная искра между шариками  $KK$ . Когда устанавливается дуга  $AB$ , потенциал падает, и банки не могут зарядиться до потенциала настолько большого, чтобы разрядиться через зазор  $ab$  до тех пор, пока дуга не станет рваться от потока воздуха.

Таким образом, внезапные импульсы, происходящие с большим интервалом в первичной обмотке  $pp$ , приводят во вторичной обмотке  $s$  к соответствующему количеству импульсов большой интенсивности. Если шарики  $KK$  нужного размера, то искры больше напоминают искры машины Хольца.

Но эти два явления, которые выглядят такими разными, — есть только два проявления разряда. Всё, что нам нужно, это изменить исходные данные опыта, и мы снова получим интересные наблюдения.

Если вместо того, чтобы подключать катушку, как в двух последних опытах, мы подключим ее к высокочастотному генератору переменного тока, как в следующем опыте, то систематическое исследование явлений значительно упростится. В этом случае, изменяя силу и частоту тока в первичной обмотке, мы можем наблюдать пять отчетливых форм разряда, которые я описал в своей лекции, прочитанной перед аудиторией Американского института инженеров 20 мая 1891 г.<sup>8</sup>

Нам потребуется много времени, и мы сильно отклонимся от предмета нашей сегодняшней беседы, если будем воспроизводить все эти формы разрядов, но мне кажется желательным показать вам одну из них. Это кистевой разряд и он интересен по многим причинам. Если рассматривать его вблизи, он напоминает струю газа, вырывающуюся под большим давлением. Мы знаем, что это явление объясняется возбужденным состоянием молекул возле вывода, и ожидаем, что при ударе молекул о вывод и друг о друга вырабатывается некоторое количество тепла. И действительно, мы обнаруживаем, что кисть

<sup>8</sup> См. «The Electrical World», 11 июля 1891 г.

горячая, а немного поразмыслив, можно прийти к выводу: если бы мы могли достичь высокой частоты, то получили бы кисть, которая дает достаточно тепла и света, и которая во всех деталях подобна пламени, за исключением того, возможно, что оба явления не имеют общей первопричины, что химическое сродство может и не иметь электрической природы.

Так как тепло и свет в данном случае вырабатываются за счет ударов молекул воздуха или чего-то подобного, и так как мы можем увеличить количество энергии, просто увеличив потенциал, мы можем даже при той частоте, что мы имеем от динамо-машины, усилить это действие настолько, что температура поднимется до точки плавления вывода. Но при такой низкой частоте нам всегда придется иметь дело с чем-то, что имеет природу электрического тока. Если я поднесу к кисти проводник, проходит небольшая тонкая искра, и всё же при той частоте, что мы используем сегодня, тенденция к образованию искры невелика. Если я поднесу металлический шар на некоторое расстояние и буду держать его над выводом, вы увидите, что всё пространство между выводом и шаром освещено потоками без искр; а при более высоких частотах, получаемых от разряда конденсатора, если бы не внезапные импульсы, число которых невелико, искрения не происходит даже на небольшом расстоянии. Однако при несравнимо более высоких частотах, которые мы всё же можем получать, и если электрические импульсы такой частоты можно передать через проводник, электрические характеристики кистевого разряда совсем исчезают — никаких искр, никакого удара, — и всё-таки мы имеем дело с электрическим явлением, но в более широком, современном смысле этого слова. В моей предыдущей работе, которую я не так давно упоминал, я указал любопытные свойства кисти и описал, как лучше всего ее получить, но мне подумалось, что надо, вследствие интереса к нему, более подробно остановиться на этом явлении.

Когда через катушку проходит ток очень высокой частоты, можно получить прекрасный кистевой эффект, даже если катушка сравнительно небольшая. Экспериментатор может по-разному его варьировать, но и сами по себе они представляют красивое зрелище. Но еще более интересными их делает то, что их можно получить как на одном выводе, так и на двух — фактически на одном даже проще, чем на двух.

Но из всех наблюдавшихся явлений, самый приятный взору и самый поучительный разряд тот, что получается при пропускании через катушку тока от конденсатора. Мощность кисти, обилие искр, если условия подбирать терпеливо, просто потрясающие. Даже с очень маленькой катушкой, если ее заизолировать так, чтобы она выдерживала разность потенциалов в несколько тысяч вольт на виток, искрение такое обильное, что катушка напоминает огненный шар.

Любопытно, что искры, если выводы расположить на значительном расстоянии друг от друга, разлетаются во всех направлениях, как будто выводы катушки независимы. Поскольку искры быстро разрушают изоляцию, их надо избегать. Лучше всего это сделать, поместив катушку в жидкий изолятор, такой, как олифа. Погружение в жидкость может быть непременным условием для продолжительной и успешной работы такой катушки.

Конечно, не может быть и речи о том, чтобы в экспериментальной лекции, когда у нас есть всего несколько минут для демонстрации каждого опыта, показать в лучшем виде все разряды, так как для этого требуется тщательная выверка параметров. Но даже при несовершенном их воспроизводстве, как это сегодня, вероятно, и произойдет, они достаточно поразительны, чтобы вызвать интерес у такой образованной аудитории.

Прежде чем приступить к показу некоторых явлений, ради полноты картины, я должен привести описание катушки и других приборов, которыми буду сегодня пользоваться для показа опытов с разрядом конденсатора посредством разрядника.

Они находятся в ящике *B* (рисунок 3), изготовленном из толстых твердых деревянных досок, обшитых снаружи цинковыми пластинами *Z*, тщательно запаянными по швам. При проведении строго научных опытов, когда точность очень важна, можно посоветовать не прибегать к помощи металлической обшивки, так как она приведет к многочисленным ошибкам, в основном вследствие своего комплексного воздействия на катушку в качестве конденсатора низкой емкости и электростатического и электромагнитного экранирования.

Когда катушка применяется для опыта, подобного сегодняшним, металлическая обшивка имеет ряд преимуществ, на которых, впрочем, мы не будем останавливаться.

Катушку следует разместить симметрично относительно металлической обшивки и промежутков должен быть не менее пяти сантиметров, желательнее даже гораздо больший; особенно это касается двух сторон металлического ящика, которые расположены под прямым углом к оси катушки, так как они могут оказывать на нее воздействие и служить источником потерь.

Катушка состоит из двух бобин, выполненных из твердой резины  $RR$ , укрепленных на расстоянии 10 см друг от друга при помощи болтов  $s$  и гаек  $n$ , из того же материала. Каждая бобина — это трубка  $T$  с внутренним диаметром примерно 8 см, с толщиной стенки 3 мм, к которой прикручены два квадратных фланца  $FF$  с размером стороны 24 сантиметра, расположенные на расстоянии 3 мм друг от друга. Вторичная обмотка  $SS$  из провода, изолированного гуттаперчей высокого качества, намотана в 26 слоев, по 10 витков в каждом, что в целом составляет 260 витков. Обе половины намотаны оппозитно и включены последовательно, причем соединение произведено через первичную обмотку. Эта конструкция, помимо того что удобна, имеет еще и то преимущество, что, когда катушка хорошо сбалансирована, т. е. когда оба ее вывода  $T_1T_2$  соединены с предметами или устройствами одинаковой мощности, нет опасности пробоя через первичную обмотку, и изоляция между первичной и вторичной обмотками не должна быть толстой. При использовании катушки можно последовать совету: соединять оба вывода с устройствами примерно одинаковой емкости, поскольку, когда емкость выводов неодинакова, могут возникнуть искры и повредить первичную обмотку. Для того чтобы избежать этого, середину вторичной обмотки можно соединить с первичной, но это не всегда имеет практический результат.

Первичная обмотка  $PP$  намотана двумя частями и оппозитно на деревянную бобину  $W$ , четыре конца выведены из масла через резиновые трубки  $tt$ . Концы вторичной обмотки  $T_1T_2$  также выведены из масла через толстые резиновые трубки  $t_1t_2$ . Первичная и вторичная обмотки заизолированы при помощи хлопка, и толщина изоляции, естественно, пропорциональна разности потенциалов между витками разных слоев. Каждая половина первичной обмотки имеет четыре слоя, по 24 витка, итого — 96 витков. Когда обе половины соединены последовательно, это дает коэффициент преобразования примерно 1:2,7, а если первичные обмотки соединены параллельно — 1:5,4, но когда частота очень высокая, этот коэффициент не дает даже приблизительного представления об эдс в первичном и вторичном контурах. Катушка установлена в масле на деревянных планках, толщина слоя масла вокруг — примерно 5 см. В тех случаях, когда масло не применяют, пространство вокруг заполняется деревянными опилками, и именно для этой цели служит деревянный ящик  $B$ .

Конструкция, показанная здесь, конечно, не самая лучшая с точки зрения общих принципов, но я полагаю, она удобна для получения требуемых эффектов при работе с высоким напряжением и маленькой силой тока.

Применительно к катушке, пользуюсь либо обычным, либо модифицированным разрядником. В обычном я сделал несколько изменений, которые дают некоторые очевидные преимущества. Если я и упоминаю о них, то только в надежде на то, что какой-либо экспериментатор сочтет их полезными.

Одно из изменений состоит в том, что подвижные головки  $A$  и  $B$  (рисунок 4) разрядника крепятся между медными щечками  $JJ$  под давлением пружины, что позволяет передвигать их и таким образом избежать утомительного процесса частой полировки.

Другое изменение заключается в использовании сильного электромагнита  $NS$ , который крепится так, что его ось проходит под прямым углом к линии, соединяющей головки  $A$  и  $B$  и создает между ними мощное магнитное поле. Полюсные наконечники магнита подвижны и выполнены так, чтобы выступать между медными головками, с тем чтобы сделать магнитное поле наиболее интенсивным; но для предотвращения попадания разряда на магнит,

полюсные наконечники покрыты слоем слюды  $MM$  достаточной толщины.  $v_1v_1$  и  $s_2s_2$  — это зажимы для проводов. На каждой стороне один винт для толстого, другой — для тонкого провода.  $LL$  — это винты для крепления штоков  $RR$ , поддерживающих головки.

В другой конструкции с магнитом я создаю разряд между округлыми полюсными наконечниками, которые изолированы, и желательно, чтобы они имели полированные медные колпачки.

Применение интенсивного магнитного поля дает принципиальное преимущество в том случае, когда в индукционной катушке или трансформаторе работает ток очень низкой частоты. В этом случае количество базовых разрядов между головками может быть настолько мало, что ток, возникающий во вторичной обмотке, непригоден для многих опытов. Напряженное магнитное поле тогда служит для того, чтобы сдувать дугу, формирующуюся между головками, и разряд происходит чаще.

Вместо магнита может успешно применяться поток воздуха, более или менее сильный. В таком случае лучше формировать дугу между головками  $AB$  (рисунок 2), а головки  $ab$  можно или соединить, или вовсе устранить, так как в такой конфигурации дуга длинная и нестабильная и легко поддается воздействию потока воздуха.

Когда для прерывания дуги применяется магнит, предпочтительнее вариант соединения, указанный на рисунке 5, поскольку в этом случае токи, формирующие дугу, более мощные, а магнитное поле оказывает более сильное влияние. Применение магнита позволяет, однако, заменить дугу вакуумной трубкой, но я при работе с такой трубкой столкнулся с большими трудностями.

Другой тип разрядника, применяемый в этом и других опытах, показан на рисунках 6 и 7. Он состоит из нескольких медных шпилек  $cc$  (рисунок 6), каждая из которых включает в себя круглую среднюю часть  $m$  с выступающим снизу концом  $e$ , который служит всего лишь для закрепления шпильки в токарном станке при полировке разрядной поверхности, и болта / сверху, с накрученным на него фланцем  $f$ , и гайкой  $n$ , служащей для крепления провода к болту. Фланец  $f$  удобен тем, что удерживает медную шайбу при креплении к ней провода, а также поворачивает ее, когда необходимо иметь свежую поверхность для разряда. Две пластины из твердой резины  $RR$ , имеющие профильную проточку  $dd$  (рисунок 7) для крепления центральных шайб частей  $cc$  служат для жесткого крепления последних при помощи двух болтов  $CC$  (из которых показан только один), насквозь стягивающих пластины.

При использовании такого разрядника я обнаружил три основных преимущества перед его обычной разновидностью. Во-первых, диэлектрическая способность суммарной воздушной прослойки больше, когда она образуется из многих промежутков, заполненных воздухом, чем если бы она была однородной, а это позволяет работать с промежутком меньшей длины, что уменьшает потери и износ металла; во-вторых, дуга разбивается на несколько меньших дуг и полированные поверхности служат дольше; и в-третьих, устройство можно настраивать в процессе опыта. Обычно я устанавливаю шайбы, отмеряя расстояние между ними при помощи пластины одинаковой толщины, о таком способе установки я узнал из описания опытов сэра Уильяма Томсо-на, в этом случае происходит шунтирование эдс при искрении.

Следует, конечно, помнить, что разрядный промежуток сильно сокращается при повышении частоты. Проверив несколько вариантов расстояния, экспериментатор примерно представляет себе величину эдс и ему уже проще проводить опыт, так как не надо снова и снова устанавливать шайбы. Имея такой разрядник, я мог поддерживать колебания так, что глазу не видно было искрения между головками, и они не нагревались, по крайней мере значительно. Такой тип разряда применяется во многих конденсаторах и контурах, которые

очень удобны и экономят время. Я предпочитал использовать его в схеме, показанной на рисунке 2, когда дугу формируют токи небольшой силы.

Могу также упомянуть, что я пользовался разрядниками с одним или несколькими зазорами, в которых разрядные поверхности вращались с огромной скоростью. Этот способ, однако, не дал каких-либо преимуществ, за исключением случаев, когда сила тока от конденсатора была велика и требовалось охлаждать поверхности разряда, а также случаев, когда собственных колебаний разряда не хватало, и дуга, только сформировавшись, рвалась от потока воздуха, таким образом начиная вибрации с прогрессирующим интервалом. Я также по-разному применял механические прерыватели. Для того чтобы избежать трудностей с трением, я принял такую схему, когда формируется дуга, а сквозь нее вращается с большой скоростью закольцованная слюдяная пластина, прикрепленная к металлической поверхности и имеющая множество отверстий. Понятно, что применение магнита, воздушного потока или иного прерывателя производит замечательный эффект, если только самоиндукция, емкость и сопротивление не находятся по отношению друг к другу в таком отношении, что после каждого прерывания возникают колебания.

Теперь я попытаюсь продемонстрировать вам некоторые наиболее замечательные разряды.

Через это помещение я протянул два обычных провода, изолированных хлопком, каждый длиной 7 метров. Они подвешены на диэлектриках на расстоянии примерно 30 см друг от друга. Теперь каждый провод я соединяю с выводом катушки и подключаю ее. Если выключить в помещении свет, то вы увидите, что провода ярко освещены потоками, обильно исходящими по всей поверхности проводов, даже если слой изоляции довольно толст. При условии, что опыт поставлен правильно, свечения, производимого проводами, достаточно, чтобы различать предметы в помещении. Для получения наилучшего результата, конечно, необходимо тщательно выверить емкость банок, длину дуги между головками и длину проводов. Исходя из своего опыта, могу сказать, что вычисление длины проводов в данном случае ни к чему не приведет. Экспериментатор поступит правильно, если с самого начала возьмет длинные провода и будет их подгонять, отрезая поначалу длинные куски, потом короче и короче до тех пор, пока не достигнет нужной длины.

Для этого и подобных опытов подойдет масляный конденсатор небольшой емкости, состоящий из двух небольших подвижных металлических пластин. Я беру короткие провода и устанавливаю пластины конденсатора на максимальном расстоянии. Если потоки на проводах усиливаются по мере приближения пластин, то длина проводов в целом правильная; если же уменьшаются — провода слишком длинные для данной частоты и напряжения. Если в таких опытах с катушкой используется конденсатор, то это должен быть обязательно масляный, а не воздушный конденсатор, так как в последнем могут быть значительные потери энергии. Провода, идущие сквозь масло к пластинам, должны быть очень тонкими и изолированными с помощью какого-либо искусственного изолятора и прикрыты крышкой из токопроводящего материала, расположенной под поверхностью масла. Крышка не должна располагаться вблизи выводов, или концов провода, так как на них может происходить искрение. Эта крышка применяется для уменьшения потери энергии в воздух, поскольку является электростатическим экраном. Что же касается размеров сосуда для масла и размеров пластин, то экспериментатор после первой же попытки опыта получит приблизительное представление о них. Габариты пластин, расположенных в масле, однако, можно вычислить, поскольку диэлектрические потери очень малы.

Из ранее описанного опыта интересно было бы узнать, какое влияние количество испускаемого света оказывает на частоту и потенциал электрических импульсов? Я придерживаюсь мнения, что получаемое количество тепла и света должно быть пропорционально, если все исходные данные опыта остаются неизменными, произведению частоты и квадрата напряжения, но экспериментально доказать это положение было бы крайне трудно. Одно, по крайней мере, точно, а именно: увеличивая напряжение и частоту, мы резко усиливаем потоки; и поскольку прогноз весьма оптимистический, есть надежда, что

мы можем создать практичный осветительный прибор в таких цепях. В таком случае мы бы использовали горелки или пламя, где не происходило бы никакого химического взаимодействия, не потреблялся бы никакой материал, но имело бы место лишь преобразование энергии и, по всей вероятности, получалось бы больше света и меньше тепла, чем от обычного пламени.

Яркость потоков, конечно, значительно больше, когда они сфокусированы на небольшой площади поверхности. Это можно продемонстрировать при помощи следующего опыта.

К одному из выводов катушки я присоединяю провод  $w$  (рисунок 8), скрученный в окружность диаметром примерно 30 см, а к другому выводу я присоединяю небольшой медный шар 5, причем площадь поверхности провода примерно равна площади поверхности шара, а центр последнего расположен на линии, проходящей под прямым углом к плоскости окружности провода и через ее центр. Когда мы при надлежащих условиях формируем разряд, образуется полый конус, и в темноте видно, что половина шара ярко освещена, как показано на рисунке.

При помощи разнообразных устройств легко концентрировать потоки на небольших площадях и получать сильные световые эффекты. Таким способом можно сделать так, чтобы два тонких провода ярко светились. Для большей интенсивности потоков провода должны быть тонкими и короткими; но, как и в описанном случае, их емкость будет слишком мала для катушки — по крайней мере, для нашей — и необходимо увеличить емкость до определенного значения, и в то же время оставить поверхность проводов небольшой. Этого можно добиться несколькими способами.

#### *Рис. 9*

Вот, например, две резиновые пластины  $RR$  (рисунок 9), на которые я наклеил два тонких провода  $ww$  в виде имени. Провода могут быть оголенными или наилучшим образом изолированными — для успеха опыта это значения не имеет. Лучше взять хорошо изолированные провода. На обратной стороне каждой пластины, в том месте, где штриховка, имеется фольга  $tt$ . Пластины расположены на одной линии на достаточном расстоянии друг от друга, чтобы предотвратить пробой между проводами. Покрытия из фольги я соединил проводником  $C$ , а два провода сейчас соединяю с выводами катушки. Теперь легко, меняя силу и частоту тока в первичной обмотке, найти то значение, когда емкость системы более всего соответствует условиям опыта, и провода так ярко светятся, что, если выключить свет в комнате, то имя, которое они образуют, ярко горит.

Возможно, предпочтительнее всего проводить этот опыт с катушкой, подключенной к генератору переменного тока высокой частоты, так как тогда, благодаря гармоническим колебаниям, потоки более однообразны, хотя и не столь обильны, чем при работе с нашей катушкой. Этот опыт, однако, можно проводить и при низких частотах, но не так успешно.

Когда два провода, соединенные с выводами катушки, расположены на нужном расстоянии, потоки между ними могут быть настолько интенсивными, что образуется постоянное свечение. Для демонстрации этого явления я взял два провода в форме окружностей  $C$  и  $c$  (рисунок 10) из довольно толстого провода, одна окружность диаметром около 80, а другая около 30 см. Каждый провод я присоединил к одному из выводов катушки. Поддерживающие провода согнуты таким образом, что окружности располагаются в одной плоскости, насколько возможно точно. Когда свет в помещении гаснет и катушка начинает работать, вы видите, что всё пространство между окружностями равномерно заполнено потоками света, образуя светящийся диск, который виден на большом расстоянии, настолько потоки ярки. Внешнюю окружность можно сделать гораздо большей; работая с этой катушкой, я использовал гораздо большие по диаметру окружности, и мне удавалось получить ярко светящиеся полосы площадью более одного квадратного метра, что замечательно для такой небольшой катушки. Для того чтобы получить гарантированный

результат, сейчас я взял окружность поменьше, и площадь свечения составляет 0,43 квадратных метра.

Частота собственных колебаний и быстрота последовательности искр между разрядными головками в определенной степени влияют на появление потоков. Когда частота очень низка, воздух пробивается более или менее одинаково, как и при постоянной разности потенциалов, а потоки состоят из отчетливых нитей, перемежающихся с искрами, которые, в свою очередь, видимо соответствуют последовательности разрядов между головками. Но когда частота очень высока, и дуга производит очень громкий, но ровный звук — то и другое говорит о том, что имеет место осцилляция, и искры проскакивают с огромной скоростью, — тогда образуемые светящиеся потоки однородны.

Для достижения такого результата следует применять очень маленькие катушки и банки небольшой емкости. Я беру две трубки, изготовленные из толстого богемского стекла диаметром 5 см и длиной 20 см. Внутри каждой трубки помещаю первичную обмотку из толстого медного провода. Поверх трубок наматываю вторичную обмотку из гораздо более тонкого провода, изолированного гуттаперчей. Вторичные обмотки соединяю последовательно, а первичные лучше всего соединить параллельно. Затем трубки помещаю в стеклянный сосуд на расстоянии 10–15 см друг от друга на изолированные подставки, а сосуд заполняю олифой на дюйм выше трубок. Свободные концы вторичных обмоток вывожу из жидкости и располагаю параллельно на расстоянии около 10 см друг от друга. Зачищенные концы надо обмакнуть в олифу. Для разряда через первичную обмотку можно использовать две банки вместимостью 4 пинты каждая, соединенные последовательно. После того, как сделаны необходимые корректировки относительно длины проводов и выступа над поверхностью жидкости, формируется дуга и образуется светящаяся полоса между проводами; это полоса ровная и не имеет текстуры, словно обычный разряд в трубке, откуда почти полностью откачан воздух.

Я остановился на этом, казалось бы, незначительном эксперименте неслучайно. Во время таких опытов экспериментатор приходит к ошеломляющему заключению о том, что для того, чтобы посылать световые разряды сквозь газы, не нужно добиваться определенной степени вакуумирования, но газ может находиться под обычным давлением или немного выше. Чтобы добиться этого, необходима очень высокая частота; также требуется и высокий потенциал, но эта потребность второстепенна. Эти опыты учат нас тому, что в поисках новых способов производства света путем возбуждения атомов или молекул газа нам не следует ограничиваться вакуумными трубками, но мы можем серьезно заняться поиском методов получения света без применения какого-либо сосуда, когда воздух находится под обычным давлением.

Такие высокочастотные разряды, которые заставляют воздух светиться при обычном давлении, мы часто наблюдаем в природе. У меня нет сомнений в том, что, как многие полагают, северное сияние происходит вследствие внезапных космических возбуждений, таких, как вспышки на солнечной поверхности, которые заставляют электростатический заряд Земли очень быстро вибрировать, красное свечение не ограничивается верхними разреженными слоями атмосферы, но разряд пронизывает, по причине своей высокой частоты, также и плотные слои атмосферы в форме зарева, такого, какое мы обычно наблюдаем в трубке, откуда частично откачан воздух. Если бы частота была низкой, или более того, заряд совсем не вибрировал, плотный воздух бы разрывался, как при ударе молнии. Признаки такого разрыва низших слоев атмосферы несколько раз наблюдались при возникновении этого явления; но если такое происходит, то это можно отнести на счет фундаментальных возмущений, которые немногочисленны, ибо колебания, вызываемые ими, были бы слишком быстрыми для пробивного разряда. Именно первоначальные и неравномерные импульсы влияют на приборы; наложенные вибрации, видимо, остаются незамеченными.

### *Рис. 11*

Когда простой низкочастотный разряд проходит сквозь немного разреженный воздух, последний принимает пурпурный оттенок. Если, так или иначе, мы увеличим интенсивность молекулярных или атомарных вибраций, газ меняет цвет на белый. Подобные изменения происходят при обычном давлении с электрическими импульсами очень высокой частоты. Если молекулы воздуха вокруг провода немного возбуждены, образуемая кисть красноватая или фиолетовая; если вибрации становятся достаточно интенсивными, потоки становятся белыми. Мы можем добиться этого несколькими способами. В недавно показанном опыте с проводами, натянутыми через помещение, я попытался достичь результата, максимально увеличив и частоту и потенциал; во время опыта с тонкими проводами, наклеенными на резиновые пластины, я сконцентрировал действие на очень небольшой площади — иными словами, я работал с большой электрической напряженностью.

Наиболее любопытная форма разряда при работе с такой катушкой наблюдается, когда частота и потенциал достигают крайнего значения. Для постановки опыта каждая часть катушки должна быть хорошо изолирована, и только два небольших шара — или, что еще лучше, два металлических диска *dd* с острыми краями (рисунок 11) диаметром в несколько сантиметров должны находиться на открытом воздухе. Катушка, которая в данном случае используется, погружена в масло, а выступающие концы вторичной обмотки покрыты водонепроницаемым слоем твердой и толстой резины. Все трещинки, если таковые есть, должны быть тщательно устранены, с тем чтобы кистевой разряд не формировался нигде, кроме небольших шаров или пластин, находящихся снаружи. В данном случае, так как нет присоединенных к выводам больших пластин или иных предметов значительной емкости, катушка может иметь очень быстрые колебания. Потенциал можно увеличить, если экспериментатор сочтет нужным, путем увеличения диапазона изменения тока в первичной обмотке. При работе с катушкой, которая не слишком отличается от нашей, лучше всего соединять две первичные обмотки параллельно, но если вторичная обмотка состоит из гораздо большего количества витков, то первичные обмотки надо соединить последовательно, в противном случае колебания могут быть слишком быстрыми для вторичной обмотки. При таких условиях белые туманные потоки отходят от краев дисков и как призраки тянутся в пространство. На такой катушке, если она хорошо сделана, они достигают в длину 25 или 30 см. Если поднести к ним руку, то ничего нельзя почувствовать, а искра, вызывающая шок, проскакивает, только если руку поднести совсем близко. Если каким-либо способом придать колебаниям прерывистый характер, то возникают так называемые «биения», и рука или иной проводник, поднесенный еще ближе, даже не вызовет пробоя.

Среди всех многообразных прекрасных явлений, которые можно получить при помощи этой катушки, я выбрал только те, что отличаются новизной и приводят нас к интересным выводам. Совсем нетрудно в лабораторных условиях наблюдать и более занятные эффекты, но они не таят в себе ничего нового.

Те, кто в свое время начинал опыты с электричеством, описывают искры, произведенные большой обычной катушкой индуктивности на диэлектрической пластине, разделявшей выводы. Совсем недавно Сименс провел ряд опытов, в ходе которых наблюдались красивые явления. Без сомнения, большие катушки даже на малой частоте способны демонстрировать занятные эффекты. Но и самая большая катушка не сравнится по красоте потоков и искр с такой разрядной катушкой, если ее правильно настроить. Представьте себе, что такая катушка способна покрыть потоками разрядов пластину диаметром 1 м. Лучше всего для такого опыта взять тонкую пластину из резины или стекла и с одной ее стороны наклеить узкое кольцо из фольги большого диаметра, а с другой — круглую шайбу, причем центры их должны совпадать, а площади поверхностей быть примерно равными, чтобы катушка была хорошо сбалансирована. Шайба и кольцо должны соединяться с выводами, хорошо изолированными тонкими проводами. Легко видеть эффект

конденсатора, создающего полосу однородных потоков или сеть из тонких серебряных нитей, или массу ярких искр, которые полностью покрывают пластину.

С тех пор как я выдвинул идею преобразования при помощи разряда в своей прошлой лекции перед Американским институтом инженеров в начале прошлого года, интерес к ней не ослабевает. Она явилась для нас средством получения любых потенциалов с помощью недорогой катушки, которая работает от любого источника, и — что, возможно, еще более ценно — она позволяет нам преобразовывать токи любой частоты и получать снова любую частоту. Но главное ее достоинство, скорее всего, заключается в том, что она позволит нам изучать явление фосфоресценции, которое катушка с разрядником способна вызывать даже в тех случаях, когда обычные катушки, даже самые большие, с этой задачей не справляются.

Принимая во внимание ее возможное применение для многих практических целей, а также использование такой катушки в лабораторных исследованиях, несколько дополнительных замечаний по поводу ее конструкции, я полагаю, не будут излишними.

Естественно, необходимо в таких катушках использовать хорошо изолированные провода.

Хорошую катушку можно создать, применяя провода, изолированные несколькими слоями хлопка, и выварив ее в течение длительного времени в чистом воске, а затем остудив при небольшом давлении. Преимущество такой катушки в том, что с ней нетрудно работать, но она не даст нам такого результата, какой можно получить от катушки, погруженной в масло. Кроме того, присутствие большого количества воска, кажется, не оказывает положительного влияния на катушку, в то время как с масляным прибором всё обстоит совсем иначе. Возможно, это происходит потому, что диэлектрические потери в жидкости не так велики.

Поначалу я пытался пользоваться проводами с шелковой и хлопковой изоляцией, но постепенно пришел к тому, что надо применять изоляцию из гуттаперчи, которая более всего отвечает целям опыта. Гуттаперчевая изоляция, конечно, увеличивает емкость катушки, в особенности если катушка большая, и это усложняет получение высокой частоты; но с другой стороны, гуттаперча выдержит большую нагрузку, чем такой же слой масла, и этого результата следует добиваться любой ценой. Катушку из масла нельзя извлекать более чем на несколько часов, иначе гуттаперча потрескается и катушка уже не будет и вполнину такой хорошей. Гуттаперча, видимо, испытывает на себе воздействие масла, но по прошествии восьми-девяяти месяцев я не обнаружил никаких повреждений.

В продаже я обнаружил два типа проводов в гуттаперче: у одного типа изоляция плотно приклеена к металлу, у другого нет. Если только определенным способом не устранить воздух из-под оплетки, то первый тип безопаснее. Я наматываю катушку в масляном баке так, чтобы все пустоты заполнялись маслом. Между слоями я применяю материю, тщательно вываренную в масле, ее толщина зависит от разности потенциалов между витками. Кажется, что нет серьезной разницы в том, какое масло применять: я пользуюсь парафиновым и льняным маслом.

Для того чтобы полностью удалить воздух, очень практичный способ при работе с небольшими катушками следующий: изготовьте деревянный ящик с толстыми стенками из дерева, долгое время вываренное в масле. Доски должны быть пригнаны так, чтобы могли долгое время выдерживать внешнее давление воздуха. Когда катушку вы поместите внутрь и установите, ящик следует плотно закрыть крепкой крышкой, а крышку укрепить металлическими пластинами и запаять их. В крышке высверливаются два сквозных отверстия, в которые вставляются стеклянные трубочки, а сочленения герметизируются. Одна из трубок соединяется с вакуумным насосом, а другая — с сосудом, содержащим достаточное количество олифы. Последняя трубка имеет в основании очень маленькое отверстие и снабжена запорным краном. Когда достигается приличный уровень вакуумирования, кран открывается и масло медленно поступает внутрь. Таким образом удается избежать больших пузырей, которые являются основной угрозой, между витками.

Воздух выгоняется полностью, даже лучше, чем при кипячении, что для гуттаперчи не подходит.

Для первичной обмотки я беру обычный линейный провод с толстой хлопковой оплеткой. Жилы очень тонкого витого провода, правильно скрученные, конечно, наилучшим образом бы подошли, но их не достать.

В опытной катушке размер провода не имеет большого значения. В нашей катушке первичная обмотка из калиброванного провода № 12, а вторичная — из № 24 компании Браун и Шарп; но отдельные участки можно существенно изменять. Я бы только произвел некоторые подстройки; результат, которого мы хотим добиться, от этого не пострадает.

Я потратил какое-то время на описание кистевого разряда, потому что изучая его, мы не только улаживаем наш взор, но и получаем пищу для ума и приходим к некоторым практическим выводам. При использовании переменного тока высокого напряжения для предотвращения кистевого разряда не бывает излишней предосторожности. В основной токоведущей шине, в катушке ли, трансформаторе или конденсаторе, кистевой разряд — это главная угроза изоляции. В конденсаторе все газы должны быть тщательно удалены, ибо в нем заряженные поверхности находятся в непосредственной близости, и при высоком напряжении, — так же верно, как предмет упадет, если его отпустить, — так и изоляция будет пробита, если найдется хоть один пузырь газа, при полном же отсутствии газа конденсатор выдержит гораздо большее напряжение. Основной провод высокого напряжения может быть поврежден благодаря трещине или пустоте, тем более что в пустоте может содержаться разреженный газ; и поскольку почти невозможно избежать таких небольших недостатков, мне представляется, что в будущем доставка электроэнергии при помощи тока высокого напряжения будет происходить в жидкой изоляции. Стоимость — большой недостаток, но если мы применим масло для изоляции при передаче энергии с помощью тока напряжением, скажем, 100 000 вольт или более, то этот процесс станет настолько легким, что его трудно будет назвать достижением инженерной мысли. С масляной изоляцией и моторами переменного тока передача энергии будет безопасной и встанет на промышленную основу для расстояний не менее тысячи миль.

Особенностью масла и жидкой изоляции вообще является то, что при электрическом воздействии они выделяют пузырьки газа, который может в них присутствовать и растворяют его в своей массе задолго до того, как он может причинить какой-либо вред. Эту особенность можно наблюдать в обычной катушке, вынув первичную обмотку и закупорив один конец трубки и заполнив ее прозрачным жидким изолятором, например, парафиновым маслом. Первичная обмотка на несколько мм меньше, чем внутренний диаметр трубки, может быть помещена в масло. Когда катушка включается, то сверху сквозь масло можно увидеть множество светящихся точек — пузырьки воздуха, которые оказались там при помещении туда первичной обмотки и которые светятся вследствие интенсивной бомбардировки. Закупоренный воздух соударяется с маслом, оно начинает циркулировать, увлекая за собой часть воздуха до тех пор, пока пузырьки не растворятся, тогда светящиеся точки исчезают. Таким способом, если только не оказывается закупоренных больших воздушных пузырьков и становится невозможной циркуляция, удается избежать риска поломки, при этом лишь немного нагревается масло. Если же вместо жидкости применить твердую изоляцию, неважно, какой толщины, стал бы неизбежным пробой и поломка аппарата.

Полное удаление газов из устройства, в котором диэлектрик подвергается более или менее интенсивному воздействию меняющихся электрических полей, однако, не только желательно, но и целесообразно с точки зрения экономики. Например, в конденсаторе, если применять только твердый или только жидкий диэлектрик, потери будут малы; но если внутри останется газ под нормальным или низким давлением, то потери будут велики. Какова бы ни была природа сил, действующих в диэлектрике, видимо, в жидкости или твердой среде молекулярное смещение невелико, поскольку результат работы этой силы и процесса смещения незначителен — если только сила невелика; но в газах смещение и его результат огромны — молекулы движутся свободно, достигая высоких скоростей, и энергия их удара

переходит в тепло или другую форму. Если газ сильно сжат, то вследствие этого смещение незначительно, а потери уменьшаются.

В большинстве следующих опытов я предпочел использовать, в основном по причине его стабильной и удовлетворительной работы, генератор переменного тока, о котором уже упоминал. Эта одна из машин, которую я построил для проведения таких опытов. Генератор имеет 384 полюса и способен выдавать ток с частотой примерно 10 000 колебаний в секунду. Об этой машине я говорил в своей лекции в Американском институте инженеров 20 мая 1891 года, о которой я уже упоминал. Более подробное описание, достаточное, чтобы по нему создать подобный аппарат, можно найти в нескольких профильных журналах этого периода.

Катушки, работающие от этого прибора, довольно малы и имеют от 5 000 до 15 000 витков во вторичной обмотке. Они помещены в прокипяченное льняное масло и находятся в деревянных ящиках, обшитых цинковыми пластинами.

Я счел целесообразным поменять местами обмотки и намотать в этих катушках первичные обмотки сверху; это позволяет применять большую первичную обмотку, что, конечно, уменьшает опасность перегрева и увеличивает мощность катушки. С каждой стороны первичная обмотка короче вторичной на один см для предотвращения пробоя на концах.

Когда первичная обмотка сделана подвижной, что необходимо для некоторых опытов и во много раз удобнее для настройки, я покрываю вторичную обмотку сургучом и обрабатываю на станке, доводя ее диаметр до размера немного меньшего, чем внутренний диаметр первичной обмотки. К последней пристраиваю рукоятку, выступающую из масла, служащую для того, чтобы сдвигать ее по отношению к вторичной.

Теперь позволю себе сделать несколько замечаний в отношении управления катушками индуктивности, которые были опущены в описаниях прошлых опытов.

Вторичная обмотка имеет такую индуктивность, что сила тока, протекающего через провод, очень мала и может быть такой, даже если выводы катушки соединены между собой проводником небольшого сопротивления. Если к выводам присоединить какую-либо емкость, то самоиндукция компенсируется и через вторичную обмотку течет ток большей силы, хотя выводы изолированы. Для человека, совсем незнакомого со свойствами переменного тока, не может быть ничего более загадочного. Эта особенность была продемонстрирована в опыте, где присутствовали металлическая сетка, соединенная с выводами катушки, и резиновая пластина. Когда проволочные сетки подносили близко друг к другу, между ними возникала небольшая дуга, мешавшая прохождению тока большой силы через вторичную обмотку, так как устраняла емкость на выводах; когда между выводами помещали резиновую пластину, емкость созданного конденсатора компенсировала самоиндукцию катушки, и разряд был гораздо сильнее.

Первостепенная задача, следовательно, соединить емкость со вторичной обмоткой, чтобы преодолеть самоиндукцию. Если частота и потенциал очень высоки, то газообразное вещество надлежит тщательно изолировать от заряженных поверхностей. Если использовать лейденские банки, находящиеся под большим напряжением, то их надо погрузить в масло, в противном случае происходит значительное рассеивание. При высоких частотах также важно соединить конденсатор с первичной обмоткой. Можно соединить конденсатор с концами первичной обмотки или выводами генератора, но последнее не рекомендуется, так как устройство можно повредить. Лучше всего, без сомнения, включить конденсатор последовательно с первичной обмоткой и генератором и настроить его емкость так, чтобы устранить самоиндукцию в этих приборах. Конденсатор должен иметь очень тонкую подстройку, для этого удобно применять небольшой масляный конденсатор с подвижными пластинами.

В настоящий момент считаю лучше всего продемонстрировать вам явление, которое я наблюдал не так давно, и которое с чисто научной точки зрения может показаться более интересным, чем всё то, о чем я собирался вам поведать сегодня вечером. Было бы

правильным квалифицировать его как разновидность кистевого разряда, формируемого поблизости от выводов или непосредственно на одном из них в вакууме.

В колбе, имеющей проводящий вывод, даже если он алюминиевый, кистевой разряд недолговечен, и, к сожалению, даже в том случае, если из колбы удалить электрод. При исследовании одного явления, несомненно, следует пользоваться колбой, в которой нет подводящего провода. Я выяснил, что лучше всего пользоваться такими колбами, какие показаны на рисунках 12 и 13.

На рисунке 12 лампа состоит из колбы  $L$ , в основание которой запаяна трубка барометра  $B$ , конец которой запаян в форме небольшого шара  $s$ .

Эта сфера должна быть как можно лучше запаяна в центре большой колбы. Перед запайкой тонкую трубку  $t$ , изготовленную из алюминиевого листа, можно поместить внутри трубки барометра, но это не принципиально. Небольшой полый шар  $s$  заполняется порошком проводника, а в горловине  $w$  укрепляется провод, соединяющий порошок с генератором.

Конструкция на рисунке 13 была выбрана с целью удалить из кисти любой проводник, могущий оказать на нее воздействие. Лампа в данном случае состоит из колбы  $L$ , у которой имеется горловина  $n$  с трубкой  $B$  и небольшим шаром  $s$ , припаянным к ней так, чтобы образовать две отдельных емкости, как показано на рисунке. Когда лампа работает, горловина  $n$ , покрытая фольгой, которая соединена с генератором и действует индуктивно в относительно разреженном и токопроводящем газе, содержащемся в ней. Оттуда ток поступает через трубку  $B$  в небольшой шар  $s$ , чтобы индуктивно воздействовать на газ, содержащийся в колбе  $L$ . Лучше всего сделать трубку  $t$  очень толстой, отверстие в ней очень маленьким, а шар  $s$  выдуть тонким. Крайне важно поместить шар  $s$  точно в центр колбы  $L$ .

На рисунках 14, 15 и 16 показаны разные формы, или стадии, кисти. На рисунке 14 показано, как разряд возникает в колбе, имеющей проводящий вывод: но поскольку в такой колбе он очень скоро исчезает — часто за несколько минут, — я продолжу описывать это явление так, как оно видится в колбе, где нет электрода. Оно наблюдается при следующих условиях: Когда из колбы  $L$  (рисунок 12 и 13) максимально откачан воздух, обычно она не возбуждается при соединении провода  $w$  (рисунок 12) или фольги (рисунок 13) с выводом катушки. Для возбуждения обычно достаточно дотронуться рукой до колбы  $L$ . Тогда сначала в колбе возникает интенсивное свечение а затем оно уступает место белому туманному свету. Вскоре после этого можно заметить, что освещенность в колбе распределяется неравномерно, а после прохождения тока в течение какого-то времени лампа принимает вид как на рисунке 15. После этого явление переходит в фазу, показанную на рисунке 16, т. е. через несколько минут, часов, дней или недель, в зависимости от того, как эксплуатируется лампа. Нагревание лампы или увеличение напряжения ускоряет этот переход.

Когда кисть принимает форму, показанную на рисунке 16, она может стать очень чувствительной к электростатическому и магнитному воздействию. Если лампа висит на прямом проводе и все предметы удалены от нее, а к ней приблизится на несколько шагов наблюдатель, то это заставит разряд переместиться на другую сторону, а если наблюдатель будет ходить вокруг нее, то разряд всегда будет находиться на противоположной стороне. Он может начать вращение вокруг вывода задолго до того, как достигнет этой чувствительной фазы. Когда начинается вращение, да и несколько раньше тоже, на него оказывает влияние магнит, а на определенной стадии он становится крайне восприимчивым к его влиянию. Небольшой постоянный магнит, полюса которого отстоят друг от друга на расстоянии двух сантиметров не более, зримо воздействует на кисть на расстоянии двух метров, замедляя или ускоряя ее вращение в зависимости от того, как он расположен по отношению к ней. Мне кажется, я заметил, что в тот момент, когда кисть наиболее чувствительна к магнитному воздействию, она не так подвержена влиянию электростатического поля. Мое объяснение таково: электростатическое притяжение между кистью и стеклом колбы, которое задерживает

вращение, растет гораздо быстрее, чем магнитное воздействие, когда возрастает интенсивность потока.

Когда лампочка висит на проводе колбой  $L$  вниз, вращение всегда по часовой стрелке. В южном полушарии вращение произойдет в обратную сторону, а на экваторе его не будет вовсе. Вращение может быть реверсировано при помощи магнита, если его держать на некотором расстоянии. Кисть, кажется, вращается лучше всего, когда она находится под прямым углом к действию сил притяжения Земли. На максимальной скорости она скорее всего вращается синхронно с колебаниями тока, скажем, 10 000 раз в секунду. Вращение можно замедлить или ускорить при приближении или удалении наблюдателя или любого проводника, но его нельзя начать в противоположную сторону, переместив колбу. Когда разряд находится на пике чувствительности и потенциал или частота меняются, чувствительность падает. Даже небольшое изменение любого из этих параметров прекращает вращение. Чувствительность также подвержена влиянию температурных изменений. Для достижения наибольшей чувствительности требуется, чтобы небольшой шар  $s$  был в центре колбы  $L$ , так как в противном случае электростатическое воздействие стеклянной колбы будет препятствовать вращению. Шар  $s$  должен быть небольшим и одной толщины; его асимметричность, конечно, приведет к потере чувствительности.

Тот факт, что кисть вращается в постоянном магнитном поле в определенном направлении показывает, что в переменном токе высокой частоты положительные и отрицательные импульсы не равны, но один всегда больше другого.

Конечно, вращение в одном направлении может быть вызвано действием двух составляющих тока друг на друга, или действием поля, произведенного одним из элементов, на другое поле, как в серийном моторе, причем необязательно, чтобы один импульс был сильнее другого. Тот факт, что кисть вращается в любом положении, говорит в пользу этого мнения. В таком случае она будет вращаться в любой точке земной поверхности. Но, с другой стороны, трудно объяснить, почему постоянный магнит реверсирует ее вращение, и приходится согласиться с мнением о преобладании импульсов одного вида.

Что же касается самого формирования кисти или потока, полагаю, это происходит вследствие электростатического воздействия колбы и асимметрии частей. Если бы маленькая колба  $s$  и большая колба  $L$  были абсолютно концентрическими сферами, а стекло имело во всех точках одинаковую толщину и качество, думаю, кисть не формировалась бы, так как со всех сторон имелась бы одинаковая тенденция к прохождению разряда. То, что создание потока объясняется неравномерностью, очевидно, следует из того факта, что он имеет тенденцию оставаться в одном положении, а вращение происходит только тогда, когда его выводят из равновесия под воздействием электростатического или магнитного поля. Когда, достигнув максимальной чувствительности, он находится в одном положении, с ним можно проводить любопытные опыты. Например, экспериментатор может, выбрав правильное положение, поднести руку на достаточно значительном расстоянии к лампе и заставить кисть передвинуться простым напряжением мышц. Когда она начинает вращаться и руки находятся на нужном расстоянии, нельзя сделать и малейшего движения, чтобы кисть не отреагировала. Металлическая пластина, соединенная с другим выводом катушки, воздействует на нее на большом расстоянии, замедляя вращение на один оборот в секунду.

Я полностью убежден, что такая кисть, когда мы научимся ее правильно формировать, послужит полезным инструментом в изучении природы сил, действующих в электростатических и магнитных полях. Если есть какое-либо движение в пространстве, которое можно измерить, то кисть поможет обнаружить его. Это, так сказать, луч света, движущийся без трения и лишенный инерции.

Полагаю, что это явление может найти практическое применение в телеграфии. При помощи такой кисти можно посылать сообщения, например, через Атлантику с любой скоростью, так как ее чувствительность может быть настолько велика, что любое изменение

будет оказывать на нее воздействие. Если бы можно было сделать поток очень интенсивным и очень узким, то его отражения можно было бы легко сфотографировать.

Мне было интересно выяснить, вращается ли сам поток или в колбе происходит только передвижение заряда под напряжением. Для этих целей я установил небольшую слюдяную крыльчатку, чьи лопасти находились на пути щетки. Если движение потока есть, то крыльчатка завертится. Мне не удалось получить отчетливого вращения крыльчатки, хотя я повторял опыт снова и снова; но поскольку крыльчатка оказывала видимое влияние на поток, и очевидное вращение последнего не было достаточно удовлетворительным, эксперимент не привел к определенным выводам.

Мне не удалось получить это явление от разрядной катушки, хотя каждое второе такое явление с ее помощью можно получить — много и фактически гораздо лучше, чем от катушки, запитанной от генератора.

Возможно, можно получить кистевой разряд при помощи однонаправленных импульсов или от постоянного потенциала, в таком случае он будет более восприимчив к магнитным полям.

При работе с индукционной катушкой на токах высокой частоты мы с удивлением впервые понимаем, как важно соотношение емкости, самоиндукции и частоты для конечного результата. Воздействие емкости наиболее впечатляет, так как в этих опытах самоиндукция и частота очень высоки, а критическая емкость очень мала, и нужны небольшие изменения для получения впечатляющих изменений. Экспериментатор может прикоснуться к выводам вторичной обмотки или присоединить к одному или обоим выводам изолированные предметы небольшого объема, такие, как, например, лампочки, и может получить значительное увеличение или снижение напряжения, а также значительно повлиять на ток в первичной обмотке. В ранее показанном опыте, когда разряд щетки появляется на проводе, присоединенном к одному выводу катушки, и провод колеблется, когда экспериментатор прикасается изолированным предметом к другому выводу катушки, очевидно наблюдается внезапный рост потенциала.

Я могу показать вам, как катушка ведет себя по-иному, и это тоже интересно. Здесь у меня небольшая алюминиевая крыльчатка, присоединенная к игле и способная свободно вращаться на металлическом предмете, прикрученном к выводу катушки. Когда катушка включается, молекулы воздуха ритмично притягиваются и отталкиваются. Так как сила отталкивания больше силы притяжения, то на лопасти крыльчатки оказывается соответствующее сильное воздействие. Если бы крыльчатка была изготовлена из простой металлической пластины, то сила отталкивания была бы одинаковой для обеих ее сторон и не оказывала никакого действия. Но если одну из поверхностей экранировать, или бомбардировку этой поверхности ослабить тем или иным способом, сила отталкивания продолжает воздействовать на другую сторону, и крыльчатка начинает вращаться. Экранирование лучше всего осуществить, разместив на одной из сторон изолированное токопроводящее покрытие, или, если крыльчатка сделана в форме обычного пропеллера, разместив на одной из сторон, ближе к ней, изолированную металлическую пластину. Без статического экрана, однако, можно обойтись, воспользовавшись толщиной изолятора, прикрепленного к одной из сторон крыльчатки.

Для того чтобы показать поведение катушки, крыльчатку можно разместить на выводе и она сразу станет вращаться, когда через катушку пропускается ток очень высокой частоты. При постоянном потенциале, конечно, и даже при работе тока низкой частоты, она не будет вращаться, вследствие очень незначительного обмена воздуха и слабой бомбардировки; но в последнем случае она будет вращаться, если потенциал очень высок. Колесико на шпильке, наоборот, подтверждает правильность другого правила: оно вращается лучше всего при постоянном потенциале, а усилие тем меньше, чем выше частота. Итак, довольно легко настроить условия таким образом, чтобы потенциала было недостаточно для вращения крыльчатки, но чтобы при соединении другого вывода катушки с изолированным предметом он поднимался до значения, при котором крыльчатка вращается, и чтобы также было

нетрудно остановить вращение, присоединив к выводу предмет других размеров, уменьшающий потенциал.

Вместо крыльчатки в этом опыте мы можем использовать «электрический» радиометр, который даст такой же эффект. Но в таком случае выясняется, что лопасти вращаются только при разрежении или обычном давлении; при небольшом повышенном давлении они вращаться не будут, так как воздух имеет высокие токопроводящие свойства. Это любопытное наблюдение было сделано совместно — мной и профессором Круксом. Я приписываю результат высокой токопроводящей способности воздуха, молекулы которого не ведут себя, как отдельные носители зарядов, но действуют как единый проводник. В таком случае, конечно, если вообще существует отталкивание молекул от лопастей, эта сила должна быть очень мала. Возможно, однако, что результат отчасти объясняется тем, что большая часть заряда проходит по подводящему проводу через газ-проводник вместо того, чтобы рассеиваться с проводящих лопастей.

При попытках воспроизвести описанный опыт с электрическим радиометром потенциал не должен превышать определенного значения, так как электростатическое притяжение между колбой и лопастями может быть настолько сильным, что вращение прекратится.

Самой любопытной особенностью переменных токов высокой частоты и напряжения является то, что они позволяют нам проводить опыты с одним проводом. Во многих отношениях эта особенность представляет огромный интерес.

В том типе мотора переменного тока, который я изобрел несколько лет назад, я добивался вращения путем индукции при помощи однофазного переменного тока, пропущенного через контур мотора, на массе мотора или в других его контурах, вторичных токов, которые, вместе с первичными, или индукционными токами, создавали движущее силовое поле. Простую и несколько грубоватую форму такого мотора можно получить, намотав на железный сердечник первичную обмотку, а рядом с ней вторичную, соединив концы последней, и поместив свободно вращающийся металлический диск в поле обеих обмоток. Железный сердечник применяется в силу очевидных причин, но это не принципиально для опыта. Для улучшения работы мотора, железный сердечник сделан так, что он охватывает якорь. Еще одно улучшение — вторичная обмотка частично наложена на первичную, с тем чтобы она не была свободна от ее индукционного воздействия и не отталкивала силовых линий ее поля. И еще одно улучшение — надлежащий сдвиг по фазе между первичным и вторичным токами достигается при помощи конденсатора, самоиндукции, сопротивления или соответствующих витков.

Я выяснил, однако, что вращение достигается при помощи одной обмотки и сердечника, и объясняю это явление тем, и это главная мысль при проведении опыта, что при намагничивании сердечника существует отставание по времени. Я помню, с каким удовольствием в записках профессора Эйртона, которые попали ко мне позже, я прочитал об идее временной задержки. Действительно ли это временная задержка или запаздывание происходит благодаря действию вихревых токов, циркулирующих в устройстве, — этот вопрос открыт, но фактом остается то, что если через обмотку, намотанную на железный сердечник, пропустить переменный ток, создается силовое движущее поле, способное привести якорь в движение. Интересно упомянуть, с связи с историческим опытом Араго, что в моторах, основанных на задержке или сдвиге по фазе, я добивался вращения в направлении, обратном направлению движения поля, что означает, что в том опыте магнит может не вращаться, а может вращаться в направлении, противоположном направлению вращения диска. Вот перед нами мотор (схематично показанный на рисунке 17), состоящий из обмотки и железного сердечника, а также свободно подвешенного медного диска, расположенного вблизи сердечника.

Для демонстрации новой и интересной особенности я выбрал, по причине, которую объясню, именно этот тип мотора. Когда концы обмотки соединяются с выводами генератора,

диск начинает вращение. Но это не тот опыт, теперь уже хорошо известный, а показать хочу тот, где этот мотор вращается при помощи только одного подключенного вывода, то есть, один вывод мотора соединен с одним выводом генератора — в нашем случае со вторичной обмоткой индукционной катушки высокого напряжения, — другие выводы мотора и генератора изолированы и свободны. Для получения вращения обычно (но не абсолютно всегда) необходимо присоединить свободный конец обмотки мотора к изолированному предмету какого-либо размера. Тела экспериментатора более чем достаточно. Если он дотронется предметом, который держит в руке, до свободного вывода, то через обмотку пройдет ток и диск начнет вращение. Если к обмотке последовательно подключить вакуумную трубку, то она ярко засветится, указывая на наличие сильного тока. Вместо тела экспериментатора с тем же успехом можно использовать металлическую пластину, подвешенную на проводящем шнуре. В данном случае пластина действует как конденсатор, подключенный последовательно к обмотке. Она компенсирует самоиндукцию последней и позволяет прохождение сильного тока. В таком сочетании чем больше самоиндукция, тем меньше должна быть пластина, а это означает, что для работы мотора требуется более низкая частота, следовательно, и более низкое напряжение. Одна обмотка, намотанная на сердечник, имеет высокий показатель самоиндукции; в основном по этой причине данный мотор был выбран для проведения этого опыта. Если бы мы имели на сердечнике вторичную обмотку, то она уменьшала бы самоиндукцию, и нам потребовались бы высокая частота и напряжение. Ни то, ни другое нежелательно, так как высокий потенциал мог нанести вред изоляции небольшой первичной обмотки, а высокая частота привела бы к уменьшению вращательного момента.

Следует отметить, когда в таком моторе применяется замкнутая вторичная обмотка, совсем нелегко при высокой частоте получить вращение, поскольку вторичная обмотка почти полностью отсекает силовые линии первичной — и тем сильнее, чем выше частота, позволяя проходить только слабому току. В таком случае, если только вторичная обмотка не замкнута через конденсатор, крайне важно, чтобы добиться вращения, расположить первичную и вторичную обмотки более или менее внахлест.

Но у этого мотора есть и еще одна интересная особенность, а именно: между мотором и генератором вообще не требуется никаких соединений, может быть, только через землю, ибо изолированная пластина способна не только отдавать энергию в пространство, но и получать ее из переменного электростатического поля, хотя в последнем случае количество энергии намного меньше. В данном примере один из выводов мотора соединен с изолированной пластиной или предметом, находящемся в переменном электростатическом поле, а другой вывод предпочтительно заземлен.

Вполне возможно, однако, что такие «беспроводные», если их можно так назвать, моторы могут работать от передачи энергии через разреженный воздух с больших расстояний. Переменные токи, особенно высокочастотные, поразительно свободно проходят даже через слаборазреженные газы. Верхние слои воздуха разрежены. Для того чтобы продвинуться на несколько миль в пространстве, требуется преодолеть лишь механические трудности. Нет никакого сомнения в том, что при высоких потенциалах, которые можно получить при помощи высоких частот и масляной изоляции, светящиеся разряды могут преодолевать многие мили в разреженном воздухе, и что таким способом, используя энергию в несколько сот тысяч лошадиных сил, можно питать моторы и лампы на значительном расстоянии от стационарных источников. Но подобные схемы я упоминаю только как возможные. Нам вообще не потребуется передача энергии. Прежде чем сменятся несколько поколений, наши машины будут получать энергию в любой точке вселенной. Эта идея не нова. Человечество пришло к ней уже давно, ведомое разумом и инстинктом. Ее высказывали по-разному и в разных местах в древнейшей и новейшей истории. Мы находим ее в прекрасном мифе об Антее, который использует мощь Земли; мы находим ее в тонких размышлениях одного из ваших выдающихся математиков и во многих намеках и высказываниях мыслителей современности. Везде в космосе есть энергия. Она

статическая или кинетическая? Если статическая, то наши надежды напрасны; если кинетическая — а мы знаем, что это так, уверены в этом, — то только вопрос времени, когда же люди смогут подключиться к самой природной сети. Из всех, живых и мертвых, Крукс наиболее приблизился к решению. Его радиометр вращается при свете дня и во тьме ночи; он вращается везде, где есть тепло, а тепло есть везде. Но, к сожалению, его прекрасное маленькое устройство, что касается развития, а это и есть самое интересное, следует внести в список самых неэффективных машин, которые когда-либо создавались!

Описанный перед этим опыт только один из ряда равно интересных экспериментов, которые можно производить, применяя только один провод, с переменным током высокого потенциала и высокой частоты. Мы можем подключить изолированный провод к источнику такого тока, пропустить по нему ток малой силы, и в любой его точке получить сильный ток, способный расплавить толстый медный провод. Или можем, при помощи какого-нибудь устройства, разлагать раствор в любой электролитической ячейке, соединив один из полюсов банки с таким проводом или источником энергии. Мы также можем, присоединив к проводу или только приблизив к нему, зажечь лампу накаливания, вакуумную трубку или флюоресцентную колбу.

Каким бы неприемлемым ни казался этот план действий во многих случаях, он всё же практичен, и рекомендуется для производства света. Усовершенствованная лампа потребует небольшого количества энергии, и если провода вообще потребуются, мы должны будем научиться подавать такую энергию без обратного провода.

Теперь признанным фактом является то, что тело можно накалить или заставить светиться, либо подключив его одним проводом, либо просто приблизив к источнику импульсов надлежащего характера, и что в таком случае количества света достаточно для того, чтобы изготовить практичный источник его. Следовательно, по меньшей мере, стоит постараться определить наилучшие условия и изобрести наилучшие приборы для достижения такой цели.

Некоторый опыт в этом направлении уже имеется. И я остановлюсь на нем подробнее в надежде на то, что эти эксперименты окажутся полезными.

Нагрев проводника, заключенного в колбу и присоединенного к источнику переменного тока большой частоты, зависит от стольких вещей различной природы, что трудно сформулировать общее правило, по которому происходит максимальный нагрев. Что касается размеров сосуда, то недавно я обнаружил, что при обычном или близком к обычному атмосферном давлении, когда воздух хорошо изолирует, и, следовательно, практически такое же количество энергии той же частоты и потенциала отдается предметом, неважно большая колба или маленькая, предмет хорошо нагревается, если его заключить в небольшую колбу, так как локализация тепла в этом случае выше.

При пониженном давлении, когда воздух более или менее проводит ток, или если воздух достаточно нагрет для того, чтобы стать проводником, тело накаляется сильнее в более просторной колбе, очевидно, потому, что при всех одинаковых условиях испытания, тело отдает больше энергии в большой колбе.

При высокой степени вакуумизации, когда вещество в колбе становится «лучистым», у большой колбы также имеется преимущество, но совсем небольшое.

И, наконец, при крайне высокой степени разряжения, которой нельзя достичь без применения специальной аппаратуры, за исключением случаев, когда сосуд очень мал, нет различимых отличий в степени нагрева.

Эти наблюдения явились результатом нескольких опытов, из которых один, который демонстрирует эффект размера колбы при высокой степени разряжения, можно описать, так как он имеет интересную особенность. Взяли три круглые колбы диаметром 2, 3 и 4 дюйма и в центре каждой поместили нить накаливания одинаковой длины и толщины. В каждой колбе часть нити была соединена с платиновым подводным проводом, помещенным в стеклянную ножку, впаянную в колбу; при этом, конечно, прилагались все усилия для того, чтобы во всех трех случаях устройство было одинаковым. Каждая была заключена в трубку из

полированного алюминия, которая удерживалась пружиной. Назначение этой алюминиевой трубки будет объяснено позже. В каждой колбе часть нити одинаковой длины выступала из металлической трубки. Теперь достаточно сказать, что при таких условиях нити одинаковой длины и толщины — иными словами тела одинакового объема — накаливались. Три колбы были припаяны к стеклянной трубке, соединявшейся с насосом Шпренгеля. При достижении высокой степени разрядки стеклянная трубка была запаяна. Затем был подан ток последовательно к каждой колбе и было обнаружено, что все нити накалились примерно одинаково, разве только самая маленькая колба, расположенная между двумя побольше, светилась немного ярче. Этот результат был ожидаем, так как, когда загоралась каждая из ламп, свечение проходило через две другие, поскольку все три колбы представляли собой один сосуд. Когда все три лампы соединили с катушкой параллельно, в самой большой нить горела ярче всех, в средней немного тусклее, а в самой маленькой нить была немного красной. Затем колбы запаяли и включали отдельно. Яркость нитей теперь была такова, какой должна была быть, исходя из предположения, что отдаваемая энергия пропорциональна поверхности колбы, причем эта поверхность в каждом случае представляет собой одну из пластин конденсатора. Соответственно, разница между самой большой и средней была меньше, чем разница между средней и маленькой колбами.

Во время этого опыта было сделано интересное наблюдение. Все три колбы подвесили на оголенном проводе, соединенном с выводом катушки, большую — на конце провода, маленькую — на некотором расстоянии, а среднюю — на таком же расстоянии от маленькой. Нити в обеих больших лампах горели, как и ожидалось, в то время как в маленькой она не добрала и ожидаемой степени свечения. Это наблюдение заставило меня сменить положение ламп, и тогда я обнаружил, что какая бы лампа ни оказалась в середине, она будет гореть тусклее, чем с краю. Этот загадочный результат, конечно, был отнесен на счет электростатического воздействия ламп друг на друга. Когда их поместили вдали друг от друга или в углах равнобедренного треугольника из медного провода, они горели соответственно своему размеру.

Что касается формы сосуда, то она тоже важна, тем более при высокой степени вакуумирования. Из всех возможных конструкций наиболее предпочтительна шарообразная с телом из тугоплавкого материала внутри. По опыту ясно, что в таком шаре тугоплавкий предмет определенных размеров значительно легче накалить, чем в колбе другой формы. Преимущество также заключается в придании телу накаливания формы шара, по очевидным причинам. В любом случае тело надо поместить в центр, где атомы, отскакивающие от стен, соударяются. Этой цели легче всего достичь в сферической колбе; но она достижима и в цилиндрическом сосуде, где нить или нити расположены на его оси, а возможно и в параболическом сосуде или сферическом, где тугоплавкие части помещены в его фокусе; хотя последнее вряд ли возможно, так как наэлектризованные атомы должны в любом случае нормально отталкиваться от поверхности, с которой они соударяются, если только скорости не крайние, тогда они, возможно, будут следовать общим правилам отражения. Неважно, какой формы сосуд, если воздух откачан слабо, нити, помещенные в любую точку, будут накаливаться одинаково; но если воздух откачан сильно и колба имеет сферическую или грушевидную форму, как обычно, то образуются фокальные точки и нить накаливается сильнее всего в этих точках или поблизости от них.

Для иллюстрации этого эффекта у меня имеются две небольшие одинаковые колбы с разной степенью вакуумирования. При подключении к катушке нить в той колбе, откуда воздух откачан слабо, накаливается одинаково по всей длине, в то время как в последней та часть нити, что расположена ближе к центру колбы, светится гораздо более интенсивно, чем остальные. Любопытно то, что это явление наблюдается, даже если две нити поместить внутрь и каждую соединить с выводом катушки, и, что еще более любопытно, если они расположены рядом, конечно, при условии, что воздух совсем откачан. Во время опытов я заметил, что нити перегорают в определенный момент, и вначале приписывал это качеству угля. Но когда это произошло несколько раз подряд, понял, почему это происходит.

Для того чтобы накаливать тугоплавкое тело в колбе, желательно, по причине экономии, чтобы вся переданная в колбу от источника энергия достигла этого тела без потерь; отсюда, и только отсюда, она должна испускаться. Конечно, не подлежит сомнению, что нельзя достичь этой теоретической цели, но при помощи правильной конструкции осветительного прибора можно приблизиться к ее достижению.

По многим причинам накаливаемое тело помещают в центр колбы, обычно оно расположено на стеклянной ножке, через которую проходит подводный провод. Поскольку потенциал на этом проводе переменный, то разреженный газ вокруг этой ножки подвергается индукции, она нагревается и подвержена бомбардировке. Таким образом, большая часть энергии, предназначенная для освещения, — особенно, когда используется высокая частота, — может теряться. Дабы избежать этих потерь, или по крайней мере свести их к минимуму, я обычно экранирую разреженный газ от индукции провода, помещая его в трубку из проводника. Сомнений не вызывает, что из всех металлов для этой цели наиболее пригоден алюминий по причине своих многочисленных замечательных свойств. Единственный его недостаток в том, что он легкоплавкий и, следовательно, надо правильно разместить его по отношению к телу накаливания. Обычно изготавливается трубочка, диаметр которой немного меньше диаметра стеклянной ножки, и надевается на нее. Трубочка изготавливается путем обрачивания на токарном станке алюминиевой полосы нужного размера вокруг сердечника, при этом надо зажимать полосу плотно при помощи чистой замши или промокательной бумаги, а сердечник вращать очень быстро. Полоска плотно наматывается вокруг сердечника и таким образом получается двух- или трехслойная трубка. При надевании на ножку давления обычно хватает, чтобы трубочка не соскользнула, но для верности нижнюю кромку стоит загнуть внутрь. Верхний внутренний угол полосы — тот, что ближе всего к телу накаливания, — следует отрезать по диагонали, так как он, находясь ближе всего к источнику тепла, часто заворачивается и почти касается или даже касается подводного провода или нити, поддерживающей тело накаливания. В таком случае большая часть поступающей в колбу энергии расходуется на нагревание трубочки, и лампа становится бесполезной. Алюминиевая трубочка должна выступать над стеклянной ножкой — на дюйм или два, — в противном случае стекло будет находиться слишком близко к раскаленному предмету, сильно нагреется и станет более или менее сносным проводником и вследствие своей проводимости установит электрический контакт между металлической трубкой и подводным проводом, причем большая часть энергии, опять же, израсходуется на нагрев последнего. Посему лучше сделать верхний конец трубки диаметром в 1 дюйм или меньше. Для того чтобы еще уменьшить опасность, возникающую от нагревания стеклянной ножки, а также для того, чтобы предотвратить контакт между металлической трубкой и электродом, предпочитаю обернуть ножку несколькими слоями тонкой слюды, которая по ширине совпадает с металлической трубкой. В некоторых колбах я также применял внешний изолирующий колпачок.

Приведенные замечания предназначены для экспериментаторов на первых стадиях опытов, так как трудности, с которыми они встретятся в дальнейшем, каждый преодолет по-своему.

Для иллюстрации эффекта экранирования я взял две лампы одинакового размера, размещение их стеклянных ножек, проводов подвода и соединенных с ними элементов накаливания должно быть абсолютно одинаковым. Ножка одной лампы имеет алюминиевый колпачок, на ножке другой его нет. Сначала обе лампы были соединены с насосом Шпренгеля. Когда был максимально откачан воздух, сначала отсоединили и запаяли основную трубку, затем обе лампы. Итак, уровень разряжения в обеих одинаков. Когда их поочередно соединяют с катушкой, дающей определенный потенциал, угольная нить той лампы, где есть металлический колпачок, сильно накаливается, в то время как нить другой лампы, при том же потенциале, даже не краснеет, хотя фактически получает больше энергии, чем первая. Если их вместе подключить к выводу катушки, разница станет еще заметнее, что демонстрирует важность экранирования. Металлический колпачок, надетый на стеклянную

ножку с подводющим проводом, фактически выполняет две функции. Первая — он работает более или менее как электростатический экран, таким образом экономя энергию, подаваемую в лампу, и вторая — каким бы плохим экраном он ни был, он выполняет механическую задачу по предотвращению бомбардировки, и соответственно, интенсивного нагрева и возможного повреждения тонкой опоры элемента накаливания, или стеклянной ножки с подводющим проводом. Я говорю тонкой опоры, ибо очевидно, что для более полной локализации тепла на элементе накаливания его опора должна быть действительно тонкой, чтобы забирать как можно меньше тепла вследствие своей проводимости. Из всех опробованных опор я обнаружил, что наилучшая — это обычная нить накаливания, в основном потому, что из всех проводников она может выдерживать наибольшую степень нагрева.

Эффективность металлической трубки, как электростатического экрана, зависит от степени разряжения.

При крайне высокой степени разряжения, которая достигается с трудом при помощи насоса Шпренгеля, когда вещество внутри колбы в состоянии крайне высокой излучательной способности, трубка действует наиболее эффективно. Тень от верхнего края трубки ясно проступает на колбе.

При немного меньшей степени разряжения, которую можно назвать обычным «неударным» вакуумом, и когда частицы вещества в основном движутся по прямой, экран всё еще хорошо работает. Для того чтобы пояснить предыдущее высказывание, необходимо сказать, что то, что есть «неударный» вакуум для катушки, работающей, как обычно, от импульсов, или тока низкой частоты, не является даже близко таковым, когда катушка работает от тока очень высокой частоты. В таком случае разряд очень свободно может пройти через разреженный газ, через который может не пройти низкочастотный разряд, даже если потенциал будет гораздо выше. При нормальном атмосферном давлении имеет место противоположное правило: чем выше частота, тем меньше вероятность пробоя искры между выводами, особенно если это разрядные головки или шары определенного размера.

И наконец, при низкой степени разряжения, когда газ хорошо проводит ток, металлическая трубка не только не действует, как электростатический экран, но и является недостатком конструкции, усиливающим боковое рассеивание энергии от подводящего провода. Этого, конечно, следует ожидать. В данном случае металлическая трубка хорошо контактирует с подводющим проводом и большая часть бомбардировки направлена на трубку. Если электрический контакт слаб, то трубка всё-таки полезна, хотя она, может быть, и не экономит энергию, но всё же защищает опору элемента накаливания, а также служит для концентрации энергии на нем.

Если алюминиевая трубка призвана выполнять функцию экрана, то ее полезность ограничивается степенью откачки воздуха, когда она изолирована от электрода, то есть, когда газ в целом не проводник, и молекулы или атомы действуют как независимые отдельные носители зарядов.

В дополнение к работе в качестве эффективного экрана, в истинном понимании этого слова, токопроводящая трубка или покрытие могут также играть роль, по причине своей токопроводимости, компенсатора или демпфера во время бомбардировки стеклянной ножки. Предположим следующую ситуацию: при ритмической бомбардировке проводящей трубки, по причине ее несовершенства как экрана, обязательно должно случиться так, что некоторые молекулы или атомы ударят по трубке ранее других. Те, что ударятся первыми, отдадут свой избыточный заряд, и трубка наэлектризуется, причем электризация моментально распространится по ней. Но это должно уменьшить количество энергии, теряемой при бомбардировке по двум причинам: первая — заряд, отданный атомами, распространяется по большому участку поверхности, следовательно, электрическая плотность в любой точке уменьшается и атомы отталкиваются с меньшей энергией, чем если бы они ударились о хороший изолятор; вторая — так как трубка наэлектризована атомами, которые первыми вступили с ней в контакт, продвижение следующих атомов к трубке затрудняется

отталкивающей силой, с которой трубка должна воздействовать на одинаково заряженные атомы. Эта сила должна оттолкнуть значительное количество атомов от трубки и, во всяком случае, уменьшить энергию их удара. Ясно, что чем ниже уровень разреженности, тем лучшим проводником является газ, и ни один из вышеуказанных эффектов не может иметь место, а, с другой стороны, чем меньше количество атомов, тем с большей скоростью они движутся; иными словами, чем тщательнее откачан воздух, до определенного предела, тем более отчетливыми будут оба явления.

То, что я сейчас сказал, может служить объяснением явлению, наблюдавшемуся профессором Круксом, а именно: разряд в колбе гораздо сильнее, когда в ней находится изолятор, а не проводник. По моему мнению, проводник служит демпфером для движущихся атомов двумя указанными способами, поэтому для того чтобы сформировать видимый разряд, требуется гораздо более высокий потенциал, если в колбе проводник, имеющий значительную площадь поверхности.

Для того чтобы разъяснить эти высказывания, я должен обратиться к рисункам 18, 19 и 20, на которых показаны различные конструкции широко применяемых ламп.

На рисунке 18 показана в разрезе сферическая лампа  $L$  со стеклянной ножкой  $5$ , содержащей подводный провод  $w$ , соединенный с нитью накаливания  $l$ , которая в свою очередь служит опорой для элемента накаливания  $m$  в центре лампы.  $M \sim$  это тонкая полоса слюды, в несколько слоев намотанная на ножку  $s$ , а  $a$  — это алюминиевая трубка.

На рисунке 19 показана такая же лампа, но уже усовершенствованная. Металлическая трубка  $S$  приклеена к горловине трубки. В самой трубке укреплен пробка  $P$ , изготовленная из изоляционного материала, по центру которой проходит металлический вывод  $l$  для соединения с подводным проводом  $w$ . Этот вывод должен быть хорошо изолирован от металлической трубки  $S$ , следовательно, если клей токопроводящий, — а в большинстве случаев так и бывает, — то пространство между пробкой  $P$  и горловиной колбы надо заполнить хорошим изолятором, например слюдяным порошком.

На рисунке 20 показана лампа, изготовленная в экспериментальных целях. В этой лампе алюминиевая трубка снабжена внешним выводом для изучения поведения колпачка в различных условиях. О ней пойдет речь при описании дальнейших опытов.

Поскольку бомбардировка ножки, по которой проходит подводный провод, происходит благодаря индуктивному воздействию провода на разреженный газ, было бы полезным уменьшить величину воздействия в практических пределах, применив тонкий провод, изолированный толстым слоем стекла или другого материала, и как можно более сократить ту часть провода, которая проходит сквозь газ. Для выполнения этих условий я применил большую трубку  $T$  (рисунке 21), которая немного выступает внутрь колбы, и имеет на вершине очень короткую стеклянную ножку  $s$ , в которой запаян подводный провод  $w$ , а верхнюю часть ножки я защитил от нагревания небольшой алюминиевой трубкой  $a$ , а под ним слоем слюды, как обычно. Провод  $w$ , выходящий наружу сквозь большую трубку, должен быть хорошо изолирован, например стеклянной трубкой, а пространство внутри следует заполнить каким-либо отличным изолятором. Из всех изолирующих порошков, которые я испробовал, наилучшим является слюдяной. Если не принять эту меру предосторожности, то трубка  $T$ , выступающая внутри колбы, непременно треснет вследствие нагрева кистевым разрядом, который имеет тенденцию появляться в верхней части трубки, там, откуда откачан воздух, в особенности, если вакуумирование высокое, и, следовательно, необходимый для работы лампы потенциал очень высок.

На рисунке 22 показана подобная конструкция, где большая трубка  $T$  выступает внутрь колбы и несет элемент накаливания  $ng$ . В данном случае подводный провод снаружи внутрь колбы отсутствует, а энергия поступает с покрытий конденсатора  $CC$ . При такой конструкции изолятор  $P$  должен плотно прилегать к стеклу и быть довольно толстым, в

противном случае разряд может миновать провод  $w$ , который соединяет внутреннюю пластину конденсатора с элементом накаливания  $m$ .

Молекулярная бомбардировка стеклянной ножки внутри колбы доставляет много неприятностей. Для примера я опишу явление, которое наблюдал часто и с большим неудовольствием. Можно взять колбу, лучше большую, и хороший проводник, например угольный, укрепить его внутри на платиновом проводе в стеклянной ножке. Из колбы можно откачать воздух, довольно сильно, когда появляется свечение. Когда лампу подключают к катушке, угольный элемент, если он мал, сначала накаляется, но его яркость немедленно уменьшается, а затем где-то в середине ножки проходит разряд в форме ярких искр, несмотря на то, что платиновый провод находится в хорошем контакте с разреженным газом через угольный элемент или металл сверху. Первые искры очень яркие, и напоминают искры, получаемые на чистой поверхности ртути. Но по мере нагревания ими стекла, они, конечно, теряют свою яркость и прекращаются, когда стекло в месте излома накаляется или становится достаточно теплым для того, чтобы проводить ток. Когда наблюдаешь это впервые, явление кажется очень любопытным, оно показывает, как резко меняется поведение переменного тока, или импульсов высокой частоты по сравнению с постоянным током или током низкой частоты. В случае низкочастотных токов это явление, конечно, не возникло бы. Когда мы имеем частоту, полученную от механического источника, я думаю, стекло трескается вследствие бомбардировки, которая нагревает его и снижает изолирующие качества, но при высокой частоте, которую мы получаем от конденсатора, без сомнения, стекло может треснуть и без нагрева. Хотя на первый взгляд это и может показаться чрезвычайно необычным, но всё же этого следовало ожидать. Энергия, поступающая на подводящий провод, частично расходуется элементом накаливания, а частично — сквозь стекло благодаря действию индукции. Этот случай, таким образом, аналогичен тому, когда конденсатор при помощи проводника включается параллельно в цепь с источником переменного тока. При низкой частоте наибольшую нагрузку получает проводник, а конденсатор остается в сохранности; но при крайне высокой частоте, роль проводника может стать ничтожной. В последнем случае разность потенциалов на выводах конденсатора может стать такой высокой, что наступит пробой диэлектрика, несмотря на то, что выводы шунтированы проводником низкого сопротивления.

Конечно, необязательно, когда требуется накаливать заключенное в колбу тело при помощи таких токов, чтобы оно было проводником, так как даже и совершенный изолятор может быстро накаляться. Для этого достаточно обернуть электрод изолирующим материалом, как, например, в лампе, показанной на рисунке 21, где тонкая нить накаливания обернута изолятором и поддерживает элемент такого же материала на своей верхушке. В начале бомбардировки идет за счет индукции через диэлектрик до тех пор, пока он не нагреется достаточно для того, чтобы стать проводником, и тогда бомбардировка продолжается как обычно.

В лампах, сконструированных, как показано на рисунке 23, применяется другой метод. В данном случае диэлектрик  $m$  укреплен на некотором расстоянии над угольным элементом. Угольный элемент соединен с подводящим проводом, который проходит сквозь стеклянную ножку, обернутую в несколько слоев слюды. Алюминиевая трубка  $a$ , как обычно, применяется для экранирования. Она устроена так, чтобы выступать на высоту угольного элемента и только диэлектрик  $m$  возвышается над ней. Бомбардировке в начале подвергается верхняя часть угольного элемента, а нижнюю часть защищает алюминий. Однако, как только диэлектрик  $m$  нагревается, он становится хорошим проводником и тогда превращается в центр бомбардировки, так как он более всего открыт для нее.

Во время таких опытов я сконструировал много ламп с одним проводом или без внутреннего электрода, в которых излучение проецировалось или фокусировалось на элементе накаливания. На рисунке 24 показана одна из таких ламп. Она состоит из

сферической колбы  $L$ , у которой есть длинная горловина  $n$  сверху для усиления действия в некоторых случаях при помощи внешнего проводникового покрытия. Колба  $L$  внизу имеет небольшую круглую головку  $B$ , которая служит для того, чтобы крепко ее удерживать в гнезде  $S$ , изготовленном из изоляционного материала, куда колба вклеена. Тонкая нить накаливания  $f$ , соединенная с проводом  $w$  проходит через центр колбы  $L$ . Нить накаляется в середине, где бомбардировка, исходящая снизу, наиболее интенсивна. Нижняя часть колбы до того уровня, куда достает край гнезда  $S$ , сделана токопроводящей при помощи фольги или чего-то подобного, а внешний электрод соединен с выводом катушки. Конструкция, показанная на рисунке 24, оказалась несовершенной для накаливания нити или элемента накаливания, находившихся в центре колбы, но хорошо работала, когда стояла цель — получить свечение.

Во время многих опытов, когда различные предметы устанавливались в колбах, как например, на рисунке 23, были сделаны интересные наблюдения.

Помимо прочего выяснилось, что независимо от того, где начиналась бомбардировка, как только достигалась высокая температура, оказывалось, что один предмет принимает на себя основную часть ударов, а другой предмет или другие предметы были разгружены. Это качество зависит в основном от точки плавления и от способности тела к «испарению» или к расщеплению — под последним термином понимается не только испускание атомов, но и распад на более крупные частицы. Это наблюдение соответствовало общепринятым понятиям. В колбе, откуда почти полностью откачан воздух, электричество истекает от электрода при помощи независимых носителей, которыми могут быть атомы и молекулы остатков воздуха, а могут быть атомы, молекулы и более крупные частицы самого электрода. Если электрод состоит из материалов различного характера и один из этих материалов более подвержен распаду, чем остальные, то по большей части носители тока происходят от этого материала, который легче нагревается, а, нагреваясь быстрее, быстрее и распадается.

Мне кажется, что подобный процесс имеет место и в лампах с однородным электродом, и я полагаю, что это основная причина распада. Должны быть какие-нибудь неровности, даже если поверхность отшлифована, что, конечно, невозможно в случае большинства тугоплавких материалов, которые применяются в качестве электродов. Предположим, что кончик электрода нагревается, тут же основная часть разряда начинает проходить через эту точку и небольшой кусочек электрода плавится и испаряется. Теперь возможно, что вследствие этого быстрого разрушения в точке атаки падает температура или возникает контрсила, как в дуге; в любом случае местный распад сталкивается с ограничениями, характерными для опыта, и тот же процесс происходит в другом месте. Нам электрод кажется равномерно светящимся, но на нем есть точки, которые постоянно перемещаются, в которых температура гораздо выше средней, и это значительно усиливает процесс распада. То, что нечто подобное происходит, по крайней мере когда температура электрода немного ниже, можно подтвердить следующим опытом. Хорошенько откачаем воздух из колбы, так, чтобы при довольно высоком потенциале разряд не мог пройти, то есть не светящийся, ибо слабый, невидимый разряд происходит всегда, при любых условиях. Теперь медленно увеличим потенциал, включая ток в первичной обмотке не более чем на мгновение. В какой-то момент в колбе появятся две, три или полдюжины светящихся точек. Эти места на стекле очевидно подвергаются более интенсивной бомбардировке, чем остальные, а это объясняется неравномерностью электрической плотности, что вызвано острыми выступами или, в общем, неровностями электрода. Но светящиеся участки постоянно перемещаются, что особенно хорошо видно, если удастся их создать, а это говорит о том, что форма электрода постоянно меняется.

Из этих опытов я делаю вывод: для наибольшей износоустойчивости элемент накаливания в колбе должен иметь круглую форму и поверхность его должна быть хорошо отшлифована. Такой маленький шарик можно изготовить из алмаза или другого кристалла, но лучше всего оплавить при высокой температуре какой-либо оксид, например двуокись

циркония, так, чтобы он принял вид капли, а затем поместить его в колбу при температуре ниже его точки плавления.

Интересные и полезные результаты можно без сомнения получить в направлении крайней степени нагрева. Как можно получить такие высокие температуры? Как они достигаются в природе? При столкновениях небесных тел, при высоких скоростях и ударах. При столкновении можно достичь любой степени нагрева. Во время химического процесса мы ограничены. При соединении кислорода и водорода, они, образно говоря, падают с определенной высоты. Мы не можем достичь высокой температура при помощи газовой горелки, так же, как и при помощи печи, но в вакуумной колбе мы можем сконцентрировать любое количество энергии на маленьком элементе. Оставим практичность воплощения в стороне, и станет понятно, что таким способом, я полагаю, мы можем получить самую высокую температуру. Но тут мы сталкиваемся с огромной проблемой, а именно: тело распадается прежде, чем оплавится и образует каплю. Эта проблема существует в основном применительно к оксидам, таким, как двуокись циркония, так как их нельзя сжать настолько, чтобы они быстро не распались. Я неоднократно пытался оплавить двуокись циркония, помещая его в чашку или в угольную дугу, как показано на рисунке 23. Он светился очень ярко, и частицы, испускавшиеся из угольной чашки были заметно белого цвета; но независимо от того, был ли он сжат слоями или растерт в порошок с углем, он улетучивался раньше, чем плавился. Угольная чашка с двуокисью циркония помещалась очень низко в горловине большой колбы, так как нагрев стекла испускаемыми частицами оксида был настолько быстрым, что во время первой попытки колба треснула мгновенно, как только пустили ток, нагрев стекла испускаемыми частицами всегда был сильнее, когда в угольной чашке содержалось вещество, которое быстро улетучивалось, полагаю потому, что в таких случаях, при одинаковом потенциале, достигаются более высокие скорости, а также потому, что за единицу времени улетучивается большее количество вещества — то есть, большее количество частиц ударяется о стекло.

С указанной трудностью, однако, не столкнешься, если в угольную чашку поместить вещество, устойчивое к разрушению. Например, если оксид сперва расплавить в кислородной горелке, а затем поместить в колбу, он быстро плавился и принимал форму капли.

В целом во время плавки были замечены прекрасные световые эффекты, которые трудно описать. Рисунок 23 должен проиллюстрировать эффект, наблюдавшийся с рубиновой каплей. Сначала можно наблюдать узкий столб белого света, который проецировался на верхнюю часть колбы и образовывал неровное световое пятно. Когда кончик рубина оплавляется, свечение становится очень мощным; но по мере того, как всё больше атомов испускается с поверхности капли, стекло нагревается и «устаёт» и теперь светится только кромка пятна. Таким образом формируется очень яркая и четко очерченная линия, соответствующая внешним очертаниям капли, и начинает медленно распространяться по колбе по мере того, как капля растёт. Когда эта масса начинает кипеть, образуются пузырьки и небольшие пустоты, дающие на поверхности колбы темные пятна. Колбу можно, не боясь, перевернуть вверх дном, так как капля обладает вязкостью.

Здесь я могу упомянуть еще одну интересную особенность, которую заметил в процессе проведения этих опытов, хотя это наблюдение и не переросло в уверенность. Мне показалось, что под воздействием ударов молекул, вызванных частыми колебаниями потенциала, элемент оплавился и оставался в таком состоянии в вакуумной колбе при температуре более низкой, чем была при нормальном давлении и нагреве в обычных условиях, по крайней мере, так мне показалось при том освещении. Один из опытов можно привести как иллюстрацию этого явления. Небольшой кусочек пемзы прикрепили к платиновому проводу и сперва приварили его газовой горелкой. Затем провод поместили между двух кусочков древесного угля и с помощью горелки создали интенсивный нагрев для того, чтобы расплавить кусочек пемзы до состояния стеклоподобной головки. Платиновый провод должен быть достаточно толстым, чтобы выдержать нагрев. При нагреве древесным

углем и в пламени горелки пемза очень ярко светилась. Затем провод с головкой поместили в колбу и, откачав воздух, стали подавать ток, медленно наращивая его силу, чтобы не треснула головка. Головка нагрелась до точки плавления, и когда она расплавилась, она уже не светилась так ярко, как раньше, что говорит о более низкой температуре. Не беря в расчет возможную, и даже вероятную, ошибку наблюдателя, ставим вопрос, можно ли трансформировать предмет из твердого состояния в жидкое при меньшем количестве выделяемого света?

Когда потенциал предмета часто колеблется, его структура непременно вибрирует. Если потенциал очень высок, хотя вибрации могут быть нечастыми, скажем, 20 000 в секунду, воздействие на структуру может быть значительным. Предположим, что путем постоянного энергетического воздействия рубин плавится в каплю. Когда формируется капля, она испускает видимые и невидимые волны, которые находятся в четком взаимодействии, а глазу будет видно, что капля обладает определенной яркостью. Предположим, что мы сократим до любого предела количество подаваемой энергии, а вместо этого будем подавать энергию, которая волнообразно изменяется в соответствии с определенным законом. Теперь, когда формируется капля, из нее будут испускаться три вида вибраций — обычные видимые и два вида невидимых волн, то есть обычные темные волны разных длин и вдобавок — волны вполне определенного характера. Последние не существуют при постоянной энергии, и всё же они помогают расшатать и ослабить структуру. Если бы было так, то рубиновая капля испускала бы сравнительно меньше видимых и больше невидимых волн, чем раньше. Так, кажется, когда платиновый провод плавится под воздействием переменного тока высокой частоты, он испускает в точке плавления меньше света и больше невидимого излучения, чем когда на него воздействует постоянный ток, хотя количество энергии, потребленное в процессе плавки, одинаково. Или другой пример, нить накаливания в лампе не способна работать так же долго при токах крайне высокой частоты, как при постоянных токах, при условии, что она одинаково ярко светится. Это означает, что при работе с переменным током, нить должна быть короче и толще. Чем выше частота, то есть чем больше разница между постоянным и переменным воздействием, тем хуже для нити. Но если бы требовалось продемонстрировать правдивость этого высказывания, то ошибочным был бы вывод о том, что такой элемент накаливания, какой используется в этих лампах, быстрее разрушается токами высокой частоты, чем низкой. По опыту могу сказать, что верно как раз обратное: головка лучше выдерживает бомбардировку токами высокой частоты. Это объясняется тем фактом, что высокочастотный разряд проходит сквозь разреженный газ гораздо свободнее, чем разряд низкочастотный или постоянного тока, и это говорит о том, что с первым мы можем работать при более низком потенциале, который производит более слабый удар. Таким образом, если газ для нас не имеет значения, постоянный или низкочастотный ток для нас предпочтительнее; но если действие газа желательно и важно, то требуются высокие частоты.

В процессе проведения этих опытов было сделано много попыток работы с углеродными головками. Электроды, изготовленные из обычных углеродных головок, были определенно более прочными, если их делали с применением высокого давления. Электроды, которые получались хорошо известными способами, не давали таких результатов: от их воздействия колбы вскоре чернели. По результатам многих опытов я могу судить, что нити накаливания, изготовленные такими методами, хороши при работе только с постоянным или низкочастотным переменным током. Некоторые типы углерода такие прочные, что для того, чтобы довести их до точки плавления, головки приходилось делать очень маленькими. В таком случае очень трудно вести наблюдение по причине интенсивного нагревания. Тем не менее нет никакого сомнения в том, что все типы углерода плавятся при молекулярной бомбардировке, но в жидком состоянии он очень нестабилен. Из всех опробованных элементов два доказали свою наивысшую прочность — алмаз и карборунд. Их характеристики примерно одинаковы, но последний более предпочтителен по многим

причинам. Поскольку, скорее всего, этот материал широко не известен, я позволю себе привлечь к нему ваше внимание.

Его недавно изобрел г-н Е.-Г. Ачесон из города Мононгахила (штат Пенсильвания, США). Он предназначен для того, чтобы заменить алмазный порошок при шлифовке драгоценных камней и т. д. и мне сообщили, что он справляется с этой задачей вполне успешно. Я не знаю, почему его назвали «карборунд», может быть, есть что-то в процессе его изготовления. Благодаря любезности изобретателя, мне удалось недавно получить некоторое количество этого материала, который я намеревался испытать, изучив его способность к свечению и устойчивость к высоким температурам.

Карборунд бывает двух видов — в виде кристалла и виде порошка. Первый темный, но очень яркий; второй почти такого же цвета, как алмазный порошок, но более мелкий. При осмотре под микроскопом образцы переданных мне кристаллов вроде бы не имели определенной формы, скорее напоминали кусочки яичной скорлупы отличного качества. Большинство из них были матовыми, но некоторые были прозрачными и разноцветными. Кристаллы похожи на углерод с вкраплениями; они очень твердые и долгое время выдерживают даже пламя кислородной горелки. Когда на них направлено пламя горелки, они сначала образуют слоистую компактную структуру, по-видимому, вследствие вкраплений. Эта масса долгое время может выдерживать пламя без последующего плавления; но по мере дальнейшей обработки выделяется стекловидный осадок, который, как я полагаю, есть расплавленный глинозем. При сильном сжатии кристаллы показывают хорошие качества, но не такие, как настоящий углерод. Порошок, который каким-то образом получают из кристаллов, практически не проводит ток. Это превосходный материал для шлифовки камней.

У меня было слишком мало времени, чтобы провести удовлетворительные исследования свойств этого материала, но за несколько недель я получил достаточный опыт, чтобы сказать, что он обладает некоторыми замечательными свойствами. Он выдерживает крайне высокие температуры, слабо распадается при молекулярной бомбардировке и не пачкает колбу, как обычный углерод. Единственная сложность, с которой я столкнулся при его использовании во время опытов, — мне трудно было отыскать крепежный материал, который так же хорошо выдерживал бы нагрев и бомбардировку, как карборунд.

Здесь у меня несколько ламп, в которых головки из карборунда. Для того чтобы изготовить такие головки, я поступаю следующим образом: я беру обычную нить накаливания и обмакиваю ее конец в деготь или иную вязкую жидкость, которая быстро обугливается. Затем я продеваю нить через кристаллы и держу вертикально над горячей пластиной. Деготь размягчается и образует каплю на конце нити, а кристаллы прилипают к капле. Регулируя расстояние до пластины, я высушиваю деготь, и головка становится твердой. Затем я еще раз обмакиваю головку в деготь и снова держу над пластиной, пока деготь не испарится, оставляя после себя только твердую субстанцию, которая крепко связывает кристаллы. Если требуется головка побольше, я повторяю процедуру несколько раз, а также покрываю нить кристаллами пониже головки. Когда головка помещается в колбу, при хорошей степени вакуумирования, сначала слабый, а потом сильный разряд пропускается через колбу для обугливания дегтя и устранения всех газов, а затем головка сильно накаляется.

При использовании порошка лучше всего действовать так: я развожу плотный раствор карборунда и дегтя и пропускаю через него нить. Стерев после этого большую часть раствора при помощи замши, я держу нить над горячей плитой, пока деготь не испарится и покрытие не станет твердым. Я повторяю этот процесс столько раз, сколько надо, чтобы достичь нужной толщины покрытия. На конце нити я делаю головку так, как уже рассказывал.

Нет сомнения в том, что такая головка — правильно изготовленная под большим давлением — из карборунда, особенно из порошка хорошего качества, выдержит бомбардировку не хуже любого известного материала. Проблема в том, что крепежный материал не выдерживает и карборунд медленно уносится через некоторое время. Поскольку

он несколько не затемняет колбу, его полезно было бы использовать для покрытия нитей накаливания в обычных лампах, и я думаю, что из него даже можно изготавливать нити или стержни, которые заменят обычные нити накаливания. Покрытие из карборунда кажется более прочным, чем остальные, не только потому, что этот материал может держать высокую температуру, но и потому, что он, кажется, хорошо соединяется с углеродом, лучше, чем все остальные известные мне материалы. Покрытие из циркония или иного оксида разрушается гораздо быстрее. Я изготавливал головки из алмазной пыли таким же образом, как из карборунда, и они по прочности почти приблизились к нему, но связующий материал не выдержал гораздо быстрее; хотя это я склонен объяснить размером и неровностями зерен алмазов.

Было интересно выяснить, обладает ли карборунд свойством фосфоресценции. Здесь, конечно, надо быть готовым к столкновению с двумя проблемами: во-первых, что касается сырья — кристаллов, они хорошие проводники, а как известно, проводники не светятся; во-вторых, порошок, если он очень мелкий, вряд ли хорошо продемонстрирует это свойство, поскольку мы знаем, что когда кристаллы, даже такие, как алмаз или рубин, растерты в мелкий порошок, они в значительной степени теряют способность к свечению.

Здесь встает вопрос, может ли проводник фосфоресцировать? Что в теле, например в металле, есть такого, что лишает его способности к свечению, если только это не сама способность проводить ток? Ибо факт, что большинство светящихся предметов теряют эту способность, когда они нагреты достаточно, чтобы стать проводником. Тогда, если металл в основном, а может быть, и полностью, лишит этого свойства, он станет способен светиться. Следовательно, возможно, что при очень высоких частотах, когда он ведет себя как диэлектрик, металл или другой проводник, может демонстрировать способность к свечению, даже если он совершенно не способен светиться под воздействием низкочастотного разряда. Есть, однако, еще один способ, при котором проводник может демонстрировать, по крайней мере, кажущееся свечение.

В настоящее время еще существуют значительные сомнения по поводу того, что такое свечение, или фосфоресценция, и все ли явления, объединенные этим понятием, вызваны одинаковыми причинами. Предположим, что в вакуумной колбе под ударами молекул поверхность металлического предмета или другого проводника сильно светится, но в то же время оказывается, что он относительно прохладный, можно ли такое свечение назвать фосфоресценцией? Такой результат, хотя бы и теоретически, возможен, так как это всего лишь вопрос потенциала и скорости. Предположим, что потенциал электрода, а следовательно, и скорость испускаемых атомов, достаточно высоки, тогда поверхность металлического тела, о которое ударяются атомы, станет раскаленной, поскольку процесс выработки тепла пойдет несравнимо быстрее, чем процесс излучения и отвода его с поверхности удара. На первый взгляд наблюдателя один удар атома вызовет мгновенную вспышку, но если удары будут повторяться с достаточной скоростью, они будут оказывать постоянное воздействие на сетчатку глаза, и тогда поверхность металла будет казаться постоянно раскаленной, равномерно интенсивно светящейся, в то время как на самом деле свет будет иметь прерывистый характер или, по крайней мере, будет периодически менять интенсивность. Металлический предмет нагреется до предела равновесия, до того уровня, когда энергия, которая излучается постоянно, будет равна энергии, подаваемой скачкообразно. Но подаваемой энергии может не хватить при таких условиях для того, чтобы довести нагрев до температуры выше среднего значения, особенно если частота ударов атомов очень низка и ее хватает только на то, чтобы глазу была незаметна флуктуация интенсивности излучаемого света. Тогда тело, соответственно характеру получаемой энергии, будет излучать сильное свечение, но находиться при этом на сравнительно низком температурном уровне. Как же может назвать наблюдатель свечение, происходящее при таких обстоятельствах? Даже если анализ света и даст ему что-то определенное, всё же он отнесет это явление к разряду фосфоресценции. Вероятно, таким образом и проводники и диэлектрики могут находиться в состоянии свечения определенной интенсивности, но

количество энергии, необходимой для этого, будет варьироваться в зависимости от свойств материала.

Эти и последующие высказывания приводятся для того, чтобы обозначить любопытные свойства переменного тока или электрических импульсов. С их помощью мы можем заставить тело излучать больше света при определенной средней температуре, чем если бы оно излучало при постоянной подаче энергии; а также мы можем довести тело до точки плавления и заставить его излучать меньше света, чем если бы это происходило при подаче энергии обычными средствами. Всё зависит от того, как мы подаем энергию и какие возбуждаем колебания: в одном случае колебаний больше, в другом — меньше, их количество соотносим с возможностями нашего зрения.

Некоторые эффекты, ранее мной не наблюдавшиеся, полученные при первых опытах с карборундом, я приписывал фосфоресценции, но в последующих экспериментах выяснилось, что он лишен этого свойства. Кристаллы обладают интересным качеством. В колбе с одним электродом в форме небольшого металлического диска, например, при достижении определенного уровня вакуума электрод покрывается тонкой пленкой молочного цвета, которая отделена от свечения, наполняющего колбу, темным пространством. Если металлический диск покрыть кристаллами карборунда, то пленка имеет более интенсивный снежно-белый оттенок. Как я позже выяснил, это всего лишь свойство яркой поверхности кристаллов, ибо когда алюминиевый электрод хорошо отшлифован, он демонстрирует такие же качества. Я провел ряд опытов с полученными кристаллами в основном потому, что, было бы интересно обнаружить их способность к фосфоресценции по причине их токопроводимости. Я не смог получить отчетливое свечение, но вынужден сказать, что нельзя делать окончательных выводов до тех пор, пока не будут поставлены дальнейшие опыты.

Порошок в ходе некоторых экспериментов вел себя так, как будто он содержал глинозем, но характерного красного оттенка не было. Его мертвенно-бледный цвет становится значительно ярче под ударами молекул, но теперь я убежден, что он не светится. И всё-таки окончательный вывод делать рано, так как порошкообразный карборунд ведет себя не как, например, флюоресцентный сульфид, который можно растереть в порошок, не лишив его таким способом свойства фосфоресцентности; карборунд ведет себя, скорее, как порошкообразный рубин или алмаз, и, следовательно, для того чтобы принять какое-то решение, надо получить его в форме большого куска и отполировать поверхность.

Карборунд оказывается полезным в связи с этими и другими опытами, а его основное достоинство в том, что он хорош для производства покрытий, тонких проводников, головок и других электродов, способных выдерживать высокую температуру.

Производство небольшого электрода, способного выдерживать громадные температуры, я рассматриваю как задачу чрезвычайной важности при получении света. Мы сможем при помощи токов высокой частоты получать в 20 раз большее количество света, чем то, которое мы получаем сейчас с помощью ламп накаливания, при том же уровне расходуемой энергии. Может показаться, что я преувеличиваю, но на самом деле ничуть. Так как это высказывание может быть неверно истолковано, я полагаю необходимым четко очертить проблему, с которой мы сталкиваемся, работая в этом направлении, и обозначить пути ее решения.

Любой, кто начинает изучать эту проблему, склонен думать, что в лампе с электродом нам надо достичь высокой степени накала последнего. Это ошибка. Высокая степень накала головки — это необходимое зло, но на самом деле нам нужна высокая степень свечения газа вокруг головки. Иными словами, задача в том, чтобы заставить газ светиться как можно ярче. Чем ярче свечение, тем быстрее средняя вибрация и тем больше экономия при производстве света. Но для того чтобы поддерживать высокую интенсивность свечения газа в стеклянном сосуде, нам нужно изолировать его от стекла; то есть сконцентрировать его как можно плотнее в центре колбы.

Во время одного из опытов, показанных нынче вечером, в середине провода формировался кистевой разряд. Эта кисть была пламенем, источником света и тепла. Она не

вырабатывала много тепла и не светилась ярким светом, но стало ли от этого ее пламя меньше и не жгло мне руку? Меньше ли ее пламя от того, что яркость не слепит мои глаза? Задача в том, чтобы внутри колбы получить такое пламя, меньшее по размеру, но несравнимо более мощное. Если бы у нас были средства для производства электрических импульсов высокой частоты и их передачи, от колбы можно было бы отказаться, может быть, оставив ее только для защиты электрода или экономии энергии при помощи концентрации тепла. Но поскольку таких средств нет, то приходится заводить вывод внутрь лампы и разряжать в ней воздух. Это делается только для того, чтобы устройство могло функционировать так, как оно не может при обычном давлении. Внутри лампы мы можем усилить процесс до любой степени — настолько, что кисть начнет излучать мощный свет.

Интенсивность света зависит от частоты и потенциала импульсов, а также от электрической плотности на поверхности электрода. Очень важно использовать самую маленькую головку, чтобы максимально увеличить плотность. Интенсивные удары молекул газа, конечно, очень сильно нагревают маленький электрод, но вокруг него создается воспламененная фотосфера, объемом в сотни раз больше него. Если применяются алмазные, карборундовые или циркониевые головки, то фотосфера может превышать объем головки в тысячу раз. Некоторые могут подумать, что при отсутствии отражения доведенный до крайней степени накала электрод испарится. Но по размышлению, можно прийти к выводу, что теоретически этого не должно случиться, и в этом факте, который, кстати, экспериментально доказан, заключается основное достоинство этой лампы в будущем.

В начале бомбардировки большая часть воздействия оказывается на головку, но когда вокруг нее формируется проводящая фотосфера, нагрузка с головки частично снимается. Чем выше степень накала фотосферы, тем более она по проводимости приближается к электроду и, следовательно, газ и твердый проводник образуют единое целое. В результате — чем далее развивается накаливание, тем большее воздействие оказывается на газ и меньшее — на проводник. Формирование фотосферы, следовательно, и есть средство защиты электрода. Эта защита, конечно, относительна, и не следует думать, что чем выше степень накала, тем меньше портится проводник. И всё же, теоретически, при крайне высоких частотах этот результат должен быть достигнут, но, возможно, при температуре более высокой, чем та, которую способны выдерживать все известные нам элементы накаливания. Тогда, при наличии такого электрода, который может выдерживать крайне высокую степень бомбардировки и внешнего напряжения, он будет в безопасности независимо от того, насколько запредельными будут нагрузки. В лампе накаливания действуют другие правила. Здесь газ не имеет значения: вся нагрузка ложится на нить, и срок службы лампы уменьшается настолько быстро по мере увеличения степени накала, что мотивы экономии заставляют нас эксплуатировать ее при низкой степени накала. Но если лампа накаливания работает на высокой частоте, то действием газа нельзя пренебрегать, и правила наиболее экономичного режима работы должны меняться.

Для того чтобы довести лампу с одним или двумя электродами до совершенства, необходимо использовать высокочастотные импульсы. Среди прочего — высокая частота обеспечивает два основных преимущества, влияющих на экономичное производство света. Во-первых, разрушение электрода замедляется вследствие того, что мы задействуем много слабых ударов вместо нескольких сильных, которые быстро подрывают структуру материала; во-вторых, облегчается формирование фотосферы.

Для того чтобы свести к минимуму разрушение электрода, желательно получить гармонические вибрации, ибо любая внезапность ускоряет процесс разрушения. Срок службы электрода гораздо больше, если в состоянии накала он поддерживается токами, получаемыми от генератора переменного тока, обеспечивающего более или менее гармонические колебания, чем те, что дает разрядная катушка. В последнем случае наибольший вред наносят внезапные разряды.

Одна из составляющих потерь в такой лампе — это бомбардировка колбы. Так как потенциал очень высок, испускаемые молекулы движутся с огромной скоростью; они

ударяются о стекло и обычно вызывают сильную флуоресценцию. Производимый эффект обычно очень красив, но с точки зрения экономии возможно стоило бы предотвратить или хотя бы свести к минимуму бомбардировку колбы, так как в таком случае, как правило, цель заключается не в флуоресценции. Эти потери в основном зависят от потенциала импульсов и электрической плотности на поверхности электрода. При использовании очень высоких частот потери энергии от бомбардировки сильно уменьшаются, ибо, во-первых, потенциал, необходимый для выполнения определенной работы, гораздо ниже; а во-вторых, когда вокруг электрода формируется фотосфера, это имеет такой же результат, как если бы электрод был гораздо больше, что означает меньшую электрическую плотность. Но в силу ли уменьшения потенциала или плотности, результат достигается в направлении избегания сильных ударов, которые деформируют стекло за пределами его эластичности. Если бы частоту можно было достаточно увеличить, то потери, связанные с недостаточной эластичностью стекла, можно было бы считать ничтожными. Потери от бомбардировки колбы можно, однако, уменьшить применив два электрода вместо одного. В этом случае каждый электрод можно соединить с одним из выводов; или, если предпочтительнее использовать один провод, один электрод можно соединить с выводом, а второй с землей или с каким-то предметом определенной площади, например абажуром лампы. В последнем случае, если не обдумать всё заранее, один из электродов будет светиться ярче другого.

Но в целом я считаю более целесообразным при работе с высокой частотой использовать только один провод и один электрод. Я убежден, что осветительный прибор ближайшего будущего для своей работы не потребует более одного соединительного провода, и в конечном счете не будет иметь подводящего провода, поскольку необходимая энергия может передаваться сквозь стекло. В опытных лампах подводящий провод в основном применяется для удобства, поскольку использование конденсирующих покрытий так, как показано на рисунке 22, например, связано с трудностью установки деталей, но она преодолима, если будут изготовлены тысячи ламп, иначе энергию можно передавать сквозь лампу точно так же, как и по проводу, при высоких частотах потери очень малы. Такие осветительные приборы, несомненно, потребуют высоких потенциалов, и в глазах практичных людей это может выглядеть как недостаток. На самом же деле использование высокого потенциала — это ни в коем случае не недостаток, если это касается безопасности прибора.

Есть два способа обеспечить безопасность электроприбора. Первый — использовать низкий потенциал, второй — таким образом определить габариты устройства, что оно будет безопасным независимо от того, насколько высокий потенциал в нем применяется. Из этих двух последний кажется мне наилучшим, так как в этом случае достигается абсолютная безопасность, и она не зависит от стечения обстоятельств, которые могут даже прибор низкого напряжения сделать опасным для жизни и собственности. Но практичность требует не только разумного определения габаритов аппарата, но необходимости использования правильного вида энергии. Нетрудно, к примеру, построить трансформатор, способный выдавать при работе от низковольтного генератора, скажем, 50 000 вольт, что требуется для свечения вакуумной трубки, так что, несмотря на высокий потенциал, она абсолютно безопасна, и ее удар не причиняет никаких неудобств. Всё же такой трансформатор был бы очень дорогим и сам по себе неэффективен, а кроме того тот тип энергии, который он вырабатывает, непригоден для экономичного производства света. Экономия требует применения энергии крайне частых колебаний. Проблема производства света подобна проблеме получения высокой ноты при помощи колокола. Назовем ее еле слышной нотой; и даже эти слова не дадут точного значения, настолько удивительна чувствительность глаза. Мы можем наносить сильные удары с большими промежутками, израсходовать много энергии, и всё-таки не получить того, чего хотели; а можем держать ноту при помощи частых легких шлепков и приблизиться к цели больше, расходуя энергии меньше. При производстве света, что касается осветительных приборов, применимо только одно правило, а именно: использовать как можно более высокую частоту, но средства производства и передачи

импульсов такого характера накладываются на нас, по крайней мере в настоящее время, большие ограничения. Если принято решение использовать высокую частоту, обратный провод становится не нужен и вся аппаратура упрощается. С применением очевидных средств достигается такой же результат, как если бы использовался обратный провод. Для этого достаточно прикоснуться в лампе или поднести к ней изолированный предмет определенной площади. Конечно, площадь его тем меньше, чем выше частота и потенциал; и тем выше экономия срока службы лампы или другого устройства.

К этому способу работы мы сегодня неоднократно обращались. Так, например, при достижении накала головки, когда до лампы дотрагивались рукой, тело экспериментатора служило усилителем действия. Используемая лампа была похожа на ту, что показана на рисунке 19, а потенциал на катушке был невелик, недостаточен для того, чтобы накаливать головку лампы, висящей на проводе; и кстати, для того чтобы провести опыт более показательно, была использована такая большая головка, что потребовалось время, чтобы она накалилась после того, как лампу взяли в руки. Контакт с лампой, конечно, был необязателен. Нетрудно, используя довольно большую лампу с необычно малым электродом, создать такие условия, что электрод раскаляется при приближении экспериментатора на несколько футов к лампе, а при отступлении накал уменьшается.

Во время другого опыта, когда вызывалась флуоресценция, применялась подобная лампа. И снова потенциала было недостаточно для возбуждения свечения до тех пор, пока действие не было усилено — в данном случае, однако, по-другому — прикосновением металлического предмета к гнезду. Электродом в лампе служила углеродная головка настолько большая, чтобы не вызвать накаливания и не испортить таким образом эффекта флуоресценции.

В других ранних опытах применялась лампа такая, как показано на рисунке 12. В данном примере, прикладывание к колбе двух пальцев вызывало на стекле одну или две тени в форме ножки, при этом прикосновение пальцев вызывало такой же эффект, как применение в обычных условиях внешнего электрода. Во всех опытах действие усиливалось путем наращивания мощности на том конце провода, который соединялся с катушкой. Как правило, нет необходимости прибегать к таким методам и при более высоких частотах; но когда это требуется, колба или трубка могут быть *Рис. 25* легко приспособлены для этих целей.

На рисунке 24, например, показана экспериментальная колба  $L$ , имеющая сверху горловину  $n$  для размещения покрытия из фольги, которое можно соединить с внешним предметом большой площади. Лампа, показанная на рисунке 25, также может светиться от присоединения жестяной фольги на горловине  $n$  к выводу, а подводящего провода  $w$  к изолированной пластине. Если лампа установлена в гнезде прямо, как показано на разрезе, то в горловину  $n$  можно установить экран из проводника, с помощью которого действие усилится.

Более совершенная конструкция лампы показана на рисунке 26. В данном случае конструкция такая, какая продемонстрирована на рисунке 19. Цинковая пластина  $Z$  с цилиндрическим выступом  $T$  надета на металлическое гнездо  $S$ . Лампа свисает на проводе  $t$ , причем цинковая пластина  $Z$  выполняет двойную функцию усилителя и отражателя. Отражатель отделен от вывода  $t$  выступом изоляционной пробки  $P$ .

Похожая конструкция флуоресцентной трубки показана на рисунке 27. Трубка  $T$  изготовлена из двух коротких трубок разного диаметра, закупоренных на концах. Снизу размещено проводящее покрытие  $C$ , соединенное с проводом  $w$ . Провод на верхнем конце имеет крепежную петлю и проходит по центру тонкой трубки, заполненной плотно набитым изолятором. С внешней стороны трубки  $T$  есть еще одно проводящее покрытие  $C_f$  на которое надет металлический отражатель  $Z$ , который должен быть отделен от провода  $w$  толстым слоем изоляции.

Экономичное использование отражателя или усилителя требует, чтобы вся энергия, подаваемая на воздушный конденсатор, была возместима, иными словами не должно быть

потерь ни в газообразной среде, ни благодаря ее действию где бы то ни было. Это далеко не так, но, к счастью, потери можно свести к любому желаемому значению. По этому поводу следует сделать несколько пояснений, чтобы расставить все точки над *i* в опытах, предпринятых для исследования этого направления.

Допустим, что небольшая спираль, как в опыте на рисунке 17, одним концом соединена с одним из выводов катушки индуктивности, а вторым — с металлической пластиной или, для простоты, с шаром, изолированным в пространстве. Когда катушка начинает работать, потенциал шара меняется и небольшая спираль ведет себя так, как будто ее свободный конец соединен с другим выводом катушки. Если внутрь спирали поместить железный провод, он сразу раскалится, а это значит, что через спираль проходит сильный ток. Как ведет себя в данном случае металлический изолированный шар? Он может быть конденсатором, накапливающим и отдающим энергию, а может быть просто стоком энергии, и условия опыта определяют, чем он больше является в настоящее время. Когда шар находится под высоким напряжением, он индуктивно действует на окружающий его воздух или иной газ. Молекулы или атомы, находящиеся вблизи шара, естественно, притягиваются сильнее, и проходят большее расстояние, чем те, что дальше от него. Когда ближайšie молекулы ударяются о шар, они отталкиваются, и по всей зоне действия индукции происходят столкновения. Теперь ясно, что если потенциал постоянен, то таким образом потери энергии будут очень малы, ибо молекулы, находящиеся ближе всего к шару, получив от удара дополнительный заряд, не притягиваются до тех пор, пока не избавятся если не от всего, то хотя бы от большей части дополнительного заряда, что достигается многими столкновениями. На основании того факта, что в сухом воздухе очень мало потерь энергии, можно прийти к такому выводу. Когда потенциал шара не постоянный, а переменный, условия в корне меняются. В таком случае происходит ритмическая бомбардировка, независимо от того, теряют ли молекулы заряд после удара или нет; более того, если заряд теряется, столкновения становятся более сильными. Всё же, если частота импульсов невелика, потери, вызванные ударами и столкновениями, будут большими, если только потенциал не крайне высок. Но при высоких частотах и более или менее высоких потенциалах потери могут быть огромными. Количество энергии, утраченное за единицу времени, пропорционально произведению количества столкновений в секунду, или частоты, и количеству энергии, потраченной при каждом столкновении. Но энергия столкновения должна быть пропорциональна квадрату электрической плотности шара, так как заряд, переданный молекулам, пропорционален этой плотности. Из этого следует вывод, что общее количество потерянной энергии пропорционально произведению частоты и квадрата электрической плотности; но этот закон требует экспериментального подтверждения. Если предположить, что приведенные высказывания верны, то, часто меняя потенциал тела, помещенного в изолирующую газообразную среду, можно рассеять любое количество энергии. Большее количество энергии тогда, полагаю я, не рассеивается в форме длинных эфирных волн, перемещающихся на большие расстояния, как многие полагают, но потребляется, как, например, в случае с изолированным шаром — в процессе потерь в результате ударов и столкновений и вблизи шара. Для уменьшения рассеивания необходимо добиться небольшой электрической плотности — тем меньшей, чем выше частота.

Но поскольку на основании ранее выдвинутого предположения потери уменьшаются пропорционально квадрату плотности, и так как токи высокой частоты при передаче по проводам вызывают большие потери, следует, что в целом лучше пользоваться одним проводом, а не двумя. Следовательно, если моторы, лампы или иные приборы усовершенствуются и их можно будет эксплуатировать при помощи токов высокой частоты, экономические причины будут диктовать нам использование только одного провода, особенно если расстояния огромны.

Когда энергия адсорбируется конденсатором, он ведет себя так, как будто его емкость увеличилась. Это явление всегда имеет место, в большей или меньшей степени, но оно невелико и не имеет последствий, если частота невысока. При использовании крайне высокой частоты, и обязательно в данном случае высокого потенциала, адсорбция — или то, что в нашем случае, в частности, называется потерей энергии вследствие присутствия газообразной среды, — это важный фактор, который надо учитывать, так как энергия, потерянная в воздухе, может составлять любую часть затраченной энергии. Может показаться, что по измеренной или вычисленной емкости конденсатора очень трудно определить его действительную емкость или период колебаний, особенно если конденсатор имеет маленькую поверхность и высокий потенциал. Так как многие важные результаты зависят от точности предположения, этот предмет требует тщательного исследования другими экспериментаторами. Для уменьшения шансов на ошибку в указанных опытах я бы посоветовал использовать шары или пластины большой площади, дабы уменьшить электрическую плотность. В противном случае, если это возможно практически, следует пользоваться масляным конденсатором. По видимому, в масле или других жидких диэлектриках, таких потерь, как в газообразной среде, не происходит. Если есть возможность полностью выгнать газ из конденсаторов с твердым диэлектриком, то их следует помещать в масло только лишь по соображениям экономии; тогда они могут получать наивысший потенциал и оставаться холодными. В лейденских банках потери в воздух практически малы, так как покрытия из фольги большие, расположены близко друг к другу и заряженные поверхности не открыты напрямую; но когда потенциалы высоки, потери могут быть значительны на верхнем крае фольги или около него, там, где на воздух оказывается самое сильное воздействие. Если банку поместить в олифу, то она сможет выполнять работу, в четыре раза превышающую то же самое количество, выполненное за единицу времени при обычных условиях, и потери при этом будут ничтожны.

Не следует думать, что тепловые потери в воздушном конденсаторе обязательно связаны с образованием видимых потоков или кистей. Если небольшой электрод, помещенный в колбу с воздухом, соединить с выводом катушки, можно заметить потоки, исходящие от него, а воздух в колбе нагреется; если вместо электрода туда поместить большой шар, то потоков не будет, но воздух нагреется.

Также не следует думать, что температура воздушного конденсатора может дать представление о потерях при нагреве, так как в таком случае теплота должна выделяться гораздо быстрее: в дополнение к обычному излучению происходит очень интенсивный отток тепла с независимыми носителями, поскольку не только устройство, но и воздух на некотором расстоянии от него нагреваются из-за возможных столкновений.

Благодаря этому в экспериментах с катушкой повышение температуры можно отчетливо наблюдать только, когда предмет, соединенный с ней, достаточно мал. Но если аппарат больших размеров, даже большой предмет нагреется, например, человеческое тело; и я думаю, что опытным врачам полезно последить за такими опытами, которые при правильной конструкции устройств не представляют никакой угрозы для здоровья.

Здесь возникает интересный вопрос, в основном, для метеорологов. Как ведет себя Земля? Земля — это воздушный конденсатор, но он совершенен или нет, или является просто стоком энергии? Нет почти никаких сомнений, что во время таких возбуждений, которые происходят во время опытов, Земля — совершенный конденсатор. Но всё может быть иначе, когда ее заряд начинает колебаться под влиянием каких-то небесных воздействий. В таком случае, как указывалось ранее, видимо, только небольшое количество энергии будет передано в космос в форме длинных эфирных волн, но наибольшее количество энергии, я думаю, истратится при молекулярных и атомных столкновениях, и уйдет в космос в форме коротких тепловых и, возможно, световых волн. Так как частота колебаний заряда и потенциал, по всей вероятности, крайне велики, преобразованная в теплоту энергия может быть значительна. Поскольку электрическая плотность распределяется неравномерно, как по причине неровностей земного рельефа, так и из-за различных атмосферных явлений,

полученный эффект будет разным в разных местах. Значительные изменения в температуре и атмосферном давлении вследствие этого могут происходить в разных местах планеты. Изменения могут быть постепенными или внезапными, соответственно природе возбуждения, и могут вызывать ливни и грозы, или локально изменять погоду так или иначе.

Из приведенных замечаний можно сделать вывод о том, каким важным фактором становятся потери в воздухе, окружающем заряженные поверхности, когда электрическая плотность велика, а частота импульсов чрезмерна.

Но в соответствии с нашими объяснениями выходит, что воздух — изолятор, то есть он состоит из независимых носителей зарядов, погруженных в изолирующую среду. Так получается, когда воздух находится под обычным или немного выше, или очень малым давлением. Когда же воздух немного разрежен и проводит ток, тогда настоящие потери проводника также имеют место. В таком случае, конечно, значительное количество энергии может быть рассеяно в воздухе даже при постоянном потенциале, или импульсах низкой частоты, если плотность очень большая.

Когда газ находится под очень небольшим давлением, электрод нагревается сильнее, так как достигаются более высокие скорости. Если газ вокруг электрода сильно сжат, то смещения, а соответственно и скорости, очень малы, и нагрев незначителен. Но если в таком случае повысить частоту, то электрод нагреется до высокой температуры, точно так же, как он бы нагрелся, если бы газ находился под низким давлением; на самом деле откачка воздуха необходима, потому что мы не можем получить (и возможно передать) токи требуемой частоты.

Возвращаясь к теме электродной лампы, хорошо было бы как можно больше сконцентрировать тепло возле электрода путем предотвращения циркуляции воздуха в колбе. Если взять очень маленькую колбу, то в ней тепло будет концентрироваться лучше, чем в большой, но ее емкость может не позволить ей работать от катушки, но если это произойдет, стекло будет сильно греться. Проще всего усовершенствовать конструкцию, взяв лампу нужного размера и поместив внутрь нее небольшую колбу, диаметр которой точно выверен, расположив ее над тугоплавкой головкой накаливания. Эта конструкция показана на рисунке 28.

Колба  $L$  в данном случае имеет горловину  $n$ , достаточно широкую для того, что через нее прошла маленькая колба  $B$ . В противном случае конструкция будет такой же, как показано на рисунке 18. Маленькая колба размещена на стеклянной ножке  $s$ , на которой есть тугоплавкая головка  $m$ . От алюминиевой трубки  $a$  ее отделяют несколько слоев слюды  $M$  для того, чтобы не допустить трещин стеклянной ножки вследствие резкого нагревания алюминиевой трубки при внезапном включении катушки. Если требуется производить свет только за счет накаливания электрода, то внутренняя колба должна быть как можно меньше. Если желательно вызвать фосфоресценцию, то она должна быть побольше, иначе она может нагреваться и свечение прекратится. В такой конструкции обычно только в маленькой колбе возникает фосфоресценция, так как внешняя колба практически не подвергается бомбардировке.

В некоторых лампах, показанных на рисунке 28, маленькие трубки были выкрашены фосфоресцирующей краской и получались прекрасные световые эффекты. Вместо того чтобы увеличивать размер внутренней колбы и избежать преждевременного нагрева, целесообразно взять больший электрод  $m$ . Это ослабит бомбардировку по причине меньшей электрической плотности.

Много ламп было изготовлено по схеме, изображенной на рисунке 29. Здесь маленькая колба  $B$ , содержащая тугоплавкую головку  $m$ , после того как в ней создали вакуум, была закупорена в большой лампе  $L$ , из которой воздух был немного откачан. Она также закупорена. Принципиальное отличие этой конструкции в том, что она позволяет достичь высокой степени вакуума и в то же время использовать большую колбу. В процессе опытов,

проводимых с такими лампами, выяснилось, что лучше всего делать ножку 5 возле пробки  $e$  очень толстой, а подводящий провод  $w$  тонким, так как случалось такое, что ножка в этом месте нагревалась и колба трескалась. Часто получалось так, что вакуума в большой колбе было достаточно лишь для того, чтобы проходил разряд, а пространство между колбами было малинового цвета, давая любопытные эффекты. В некоторых случаях, когда вакуум был небольшой и воздух хорошо проводил ток, чтобы сильно накаливать головку  $m$ , желательнее было в верхней части горловины колбы поместить жестяную фольгу, замкнутую на изолированный предмет, землю или другой вывод катушки, так как хорошо проводящий ток воздух немного ослаблял эффект, возможно, потому, что на него индуктивно действовал провод  $w$  там, где он входил в колбу в точке  $e$ . Еще одна трудность, которая, однако, всегда присутствует, когда тугоплавкую головку помещают в небольшую колбу, обнаружилась в конструкции, показанной на рисунке 29, а именно: вакуум в колбе  $B$  снижался за короткое время.

Основная идея обеих конструкций — сосредоточить тепло в центральной части лампы, прекратив циркуляцию воздуха. Этого удалось добиться, но вследствие нагрева внутренней колбы и постепенного испарения стекла трудно поддерживать вакуум, даже если выбрать конструкцию, помещенную на рисунке 28, где колбы сообщаются.

Но, конечно, идеальный путь — это достижение достаточно высокой частоты. Чем выше частота, тем медленнее воздухообмен и, я полагаю, можно достичь такой частоты, когда циркуляция совсем прекратится, независимо от того, сколько молекул воздуха окружают вывод. Тогда мы сможем получить пламя, при котором не будет потерь материала, и это будет странное пламя, так как оно будет твердым! При такой высокой частоте в игру вступит инерция частиц. Так как кисть, или пламя, получит твердость в силу инерции частиц, то их обмен прекратится. Это случится обязательно, так как с ростом числа импульсов уменьшается потенциал каждого из них, и в конце концов установятся только атомарные колебания, а передвижение сквозь измеримое пространство прекратится. Так, у обычной газовой горелки, соединенной с источником переменного потенциала можно повысить мощность до определенного уровня по двум причинам — за счет придания дополнительной вибрации, а также вследствие замедления процесса расхода материала. Но, поскольку обновление затруднится, а оно необходимо для поддержания горения, постоянный рост частоты импульсов, — если предположить, что они передаются напрямую пламени, — приведет к «гашению» его, при этом под данным термином мы понимаем прекращение химического процесса.

Я, однако, думаю, что в случае с электродом, помещенным в жидкую изолирующую среду и окруженным независимыми носителями зарядов, на которые он действует индуктивно, достаточно высокая частота приведет к возникновению притяжения к электроду. Для этого только надо предположить, что независимые тела имеют неправильную форму; тогда они поворачиваются к электроду стороной, имеющей наибольшую электрическую плотность, а это то положение, при котором сопротивление, которое жидкость оказывает при приближении, меньше того, что она оказывает при отходе.

Нет сомнения, что общее мнение таково, что нет никакой возможности получить такие частоты, которые позволят — при допущении того, что некоторые из высказанных взглядов верны — прийти хотя бы к некоторым результатам из тех, что я только что обрисовал как возможные. В ходе исследований, наблюдая за этими явлениями, я пришел к убеждению, что эти частоты могут быть значительно ниже расчетных. В пламени мы вызываем небольшие колебания, заставляя молекулы или атомы сталкиваться. Но каков коэффициент этих столкновений и вызываемых вибраций? Конечно, он будет меньше коэффициента ударов колокола и звуковых вибраций или коэффициента разрядов и колебаний конденсатора. Мы можем заставить молекулы газа сталкиваться при помощи переменных электрических импульсов высокой частоты; также мы можем инициировать процесс в пламени; а из опытов с частотами, которые мы можем в настоящее время получать, я думаю, можно получить результат с импульсами, которые можно передать по проводу.

Рассуждая подобным образом, мне показалось интересным продемонстрировать твердость вибрирующего газового столба. Хотя с такой низкой частотой, как 10 000 колебаний в секунду, которую я без труда сумел получить от специально созданного генератора, задача сначала выглядела безнадежной, я всё же провел ряд опытов. Опыты с воздухом при обычном давлении не дали результатов, но когда я немного разрешил воздух, мне кажется, получил несомненное опытное подтверждение искомого свойства. Так как такой результат может привести умелых экспериментаторов к важным выводам, я опишу один из опытов.

Хорошо известно, что когда из трубки немного откачан воздух, разряд может пройти в форме тонкой светящейся нити. Когда он вызывается током низкой частоты, полученным от катушки, работающей как обычно, эта нить инертна. Если поднести к ней магнит, то ближайшая ее часть притягивается или отталкивается, в зависимости от того, как направлены силовые линии магнита. Мне пришла мысль, что если такую нить получить от тока высокой частоты, то она должна быть более или менее твердой, а так как это можно увидеть, то можно и изучить. В соответствии с этим я приготовил трубку диаметром 1 дюйм и длиной 1 метр с покрытием на обоих концах. В трубке был создан вакуум до такой степени, что при небольшой нагрузке можно было получить нитевидный разряд. Надо сказать, что общий вид трубки и степень вакуумирования отличаются от того, какими они бывают при работе с обычными низкочастотными токами. Так как предпочтительнее работать с одним выводом, приготовленная трубка была подвешена на проводе, соединенном с одним выводом катушки через жестяное покрытие, к нижнему концу с покрытием иногда присоединялась изолированная пластина. Когда образовывалась нить, она тянулась через верхнюю часть трубки и терялась внизу. Если она обладала твердостью, то выглядела не как эластичный шнур, натянутый между двумя опорами, а как шнур, подвешенный на опоре с небольшим грузом на нижнем конце. Когда полюс магнита подносили к верхнему концу светящейся нити, она в этом месте меняла положение под магнитным или электростатическим воздействием; когда раздражитель быстро убирался, получался аналогичный результат, как будто подвешенный шнур оттянули, а потом быстро отпустили рядом с точкой подвешивания. При этом светящаяся нить начинала вибрировать и на ней образовывались два видимых и один неотчетливый узел. Вибрации продолжались полных восемь минут, постепенно затухая. Скорость колебаний часто ощутимо менялась, и можно было заметить электростатическое воздействие стекла на колеблющуюся нить; но было ясно, что электростатика не являлась причиной колебаний, ибо нить обычно была стабильна, а иногда колебания вызывались быстрым приближением пальца к верхней части трубки.

При помощи магнита нить можно было разбить на две части и обе вибрировали. Поднеся руку к нижней части трубки или к изолированной пластине можно было ускорить колебания; это можно было сделать, насколько я заметил, увеличив частоту и потенциал. Так, увеличение частоты или прохождение более сильного разряда той же частоты, соответствовало натяжению шнура. Я не получил опытного подтверждения при разрядах конденсатора. Световая полоса, возбуждаемая в трубке периодическими разрядами лейденской банки, должна обладать твердостью, и если ее деформировать и внезапно отпустить, должна вибрировать. Но, вероятно, количество вибрирующего вещества было настолько мало, что, несмотря на крайне высокую скорость, инерция не могла проявиться. Кроме того, наблюдение в таких случаях очень трудно производить по причине собственных колебаний.

Демонстрация того факта, который всё еще нуждается в экспериментальном подтверждении, что вибрирующий газовый столб имеет упругость, может сильно изменить взгляды мыслителей. Когда можно заметить это свойство при низких частотах и незначительном потенциале, то как же будет вести себя газообразная среда под воздействием огромного электростатического напряжения, которое может иметь место в межзвездном пространстве, и которое может колебаться с непостижимой скоростью? Существование такой электростатической, ритмично колеблющейся силы — электростатического поля — показало

бы возможный путь формирования твердых веществ из ультрагазообразного правещества, а также как поперечные и другие типы колебаний могут передаваться сквозь газообразную среду, наполняющую всю Вселенную. Тогда эфир может быть настоящей жидкостью, лишенной упругости и находящейся в состоянии покоя, причем это необходимое звено в цепи взаимодействия. Что определяет упругость тела? Это должны быть скорость и количество движущегося вещества. В газах скорость может быть значительной, но плотность крайне мала; в жидкости скорость скорее всего мала, хотя плотность может быть значительной; и в обоих случаях инерционное сопротивление, оказываемое смещению, практически равно нулю. Но поместите столб газа (или жидкости) в напряженное, часто колеблющееся электростатическое поле, и инерционное сопротивление не заставит себя долго ждать. Тело может более или менее свободно двигаться сквозь вибрирующую массу, но в целом она будет упругой.

Есть тема, которой я должен коснуться в связи с этими опытами: высокий вакуум. Это предмет не только очень интересный, но и полезный, так как его изучение может привести к результатам огромной важности. В потребительских устройствах, таких, как лампы накаливания, которые питаются от обычных систем распределения, более высокая степень вакуумирования не принесет большой пользы. В таком случае вся нагрузка ложится на нить, а газ почти не причем; усовершенствование, следовательно, будет ничтожным. Но когда мы начинаем использовать очень высокие частоты и потенциалы, действие газа становится очень важным, и вакуум серьезно изменяет результаты. До тех пор, пока применялись обычные, даже очень большие катушки, изучение предмета было ограничено, так как именно в тот момент, когда это стало наиболее интересным, изучение прекратилось по причине того, что достигнут «неударный» вакуум. Но в настоящее время мы можем получить от разрядной катушки потенциалы гораздо более высокие, чем были способны дать самые большие катушки, и, что еще более важно, мы можем заставить потенциал меняться с огромной скоростью. Оба эти достижения позволяют нам пропускать световые разряды через вакуум любой степени, и поле наших исследований значительно расширилось. Я полагаю, что из всех возможных направлений разработки практичного осветительного прибора, направление высокого вакуума кажется наиболее многообещающим. Но для получения крайней степени вакуума приборы должны быть значительно усовершенствованы, и абсолютного совершенства мы не достигнем, пока не заменим механическую помпу усовершенствованной электрической. Молекулы и атомы могут быть вытеснены из лампы под воздействием огромного потенциала: таков будет принцип вакуумной помпы будущего. В настоящее же время мы должны получить наилучший результат механическими средствами. В этом плане не лишними окажутся несколько слов о методе и устройстве для получения крайне высокой степени вакуума, которые я создал в процессе моих исследований. Очень вероятно, что и другие исследователи могли пользоваться подобными установками, но так как, возможно, в описании этой будет нечто интересное, несколько замечаний, которые позволят обрисовать изыскания более полно, я всё же сделаю.

Устройство показано на рисунке 30. 5 — это насос Шпренгеля, который был изготовлен специально для этой работы. Запорный кран не использовался, а вместо него в горловину резервуара R был вмонтирован полый клапан 5. Этот клапан имеет небольшое отверстие  $h$ , через которое поступает ртуть; размер *выходного* отверстия  $o$  тщательно выверен и подогнан под сечение трубки  $r$ ; которая припаяна к резервуару, а не соединена с ним обычным способом. В этом устройстве удалось избежать проблем и недостатков, которые часто возникают вследствие использования запорного крана на резервуаре и соединения последнего с вертикальной трубкой.

Помпа соединяется U-образной трубкой T с большим резервуаром Rf. С особой тщательностью были пригнаны поверхности кранов  $p$  и  $p_p$  обе они, а также ртутные чашки над ними сделаны особенно "длинными. После того, как U-образная трубка была пригнана и установлена на место, ее нагрели, чтобы снять напряжение неплотно пригнанных частей. U-

образная трубка имеет запорный кран  $C$  и два отвода  $d$  и  $d_1$  — один для маленькой колбы  $B$ , где находится едкое кали, а другой — для приемника  $r$ ; где надо создать вакуум.

Резервуар  $R_1$  посредством резинового шланга соединяется с резервуаром  $R_2$  который немного больше, и оба они снабжены запорными кранами  $C_1$  и  $C_2$ , соответственно. Резервуар  $R_2$ , может при помощи штатива опускаться и подниматься таким образом, что, когда он заполнен ртутью и клапан  $C_2$  закрыт, так чтобы в поднятом положении в нем создавался вакуум Торричелли, его можно поднять так высоко, чтобы ртуть в резервуаре  $R_1$  поднялась выше запорного крана  $C_1$  а когда этот кран закрыт, а резервуар  $R_2$  внизу и вакуум Торричелли образуется в резервуаре  $R_1$  его можно было опустить так низко, чтобы ртуть полностью перетекла из резервуара  $R_1$  в резервуар  $R_2$  и встала чуть выше запорного крана  $C_2$

Емкость помпы и сочленений меньше соответственно вместимости резервуара  $R_1$ , так как степень вакуума зависит от соотношения этих величин.

При помощи этого устройства я собрал воедино все средства производства высокого вакуума, применявшиеся в предыдущих опытах, в частности едкое кали. Позволю себе сказать касательно его использования: можно сэкономить значительное количество времени и усовершенствовать работу помпы, расплавив и доведя до кипения это вещество, как только, или даже раньше, чем помпа установится. Если этого не сделать, то едкое кали, как обычно при низких оборотах, может выделить влагу и помпа будет много часов работать, не давая высокого вакуума. Едкое кали я  $n$  агревал спиртовкой, попускал через него разряд или пропускал ток через провод, находящийся в нем. Преимущество последнего способа в том, что таким образом нагрев можно быстро повторить.

В целом процесс откачки воздуха выглядел так: вначале, когда запорные краны  $C$  и  $C_1$  открыты, а все остальные сочленения закрыты, резервуар  $R_2$  был поднят так высоко, что ртуть заполнила резервуар  $R_1$  и узкую часть U-образной трубки. Когда помпа начинала работать, ртуть, конечно, быстро поднималась в трубке, а резервуар  $R_2$ , опускался, причем исследователь удерживал ртуть примерно на том же уровне. Резервуар  $R_2$  уравнивался длинной пружиной, которая облегчала эту работу, а трения частей было до-статочно, чтобы удерживать его в любом положении. Когда насос Шпренгеля заканчивал свою работу, резервуар  $R_2$  опускался еще ниже и уровень ртути в  $R_1$  опускался и она заполняла  $R_2$ , после чего клапан  $C_2$  закрывался. Воз-дух, прижатый к стенкам  $R_1$ , и воздух, поглощенный ртутью, выпускался, и чтобы освободить ртуть от всего воздуха, резервуар  $R_2$  много раз опускался и поднимался. Во время этого процесса некоторое количество воздуха, которое собиралось под запорным краном  $C_2$ , выгонялось из  $R_2$  путем опускания его достаточно низко и открывания крана; кран закрывался перед тем, как поднять сосуд. Когда весь воздух был удален из ртути и больше не скапливался в  $R_2$ , его опускали и прибегали к помощи едкого кали. Теперь резервуар  $R_2$  был снова поднят, пока ртуть в  $R_1$  не устанавливалась выше крана  $C_1$  Поташ плавил и кипятили, и влага частично устранялась насосом, а частично реадсорбировалась; и этот процесс нагрева и охлаждения повторялся много раз, и каждый раз после того, как влага впитывалась или выгонялась, резервуар  $R_2$  много раз поднимали и опускали. Таким образом из ртути удалялась вся влага и оба резервуара были готовы к работе. Тогда резервуар  $R_2$  поднимался в верхнее положение и помпу включали на длительный срок. Когда достигалась наивысшая степень вакуума, колба с поташ ем оборачивалась хлопковой тканью, пропитанной эфиром, для того, чтобы держать ее при низкой температуре, затем резервуар  $R_2$  опускали и, после того как резервуар  $R_1$  опустел, приемник  $z$  быстро закупоривали.

Когда вставляли новую колбу, ртуть поднималась выше крана  $C_1$ , который был закрыт для того, чтобы оба резервуара и ртуть находились в наилучшем состоянии, и ртуть никогда не удалялась из  $R_1$ ; за исключением тех случаев, когда достигалась наивысшая степень откачки. Необходимо соблюдать это правило, чтобы устройство хорошо работало.

Применяя такую конструкцию, я работал очень быстро, а когда устройство было в абсолютном порядке, можно было получить флюоресценцию в небольшой колбе менее чем за 15 минут, что, конечно, очень быстро для небольшой лабораторной установки, которая

потребляет примерно 100 фунтов ртути. При работе с небольшими колбами соотношение емкости насоса, приемника и сочленений и резервуара R было примерно 1-20, а уровень достигаемого вакуума обязательно очень высокий, хотя и не могу назвать точные цифры и уверенно сказать, насколько высок уровень.

Исследователя в процессе опытов более всего впечатляет поведение газов, подвергнутых воздействию высокочастотного электростатического напряжения. Но его не должно покидать сомнение: можно ли наблюдаемые эффекты отнести именно на счет молекул или атомов газа, чей химический анализ происходит перед ним, или в игру вступает другое газообразное вещество, имеющее в своем составе атомы или молекулы, погруженные в жидкость, заполняющую пространство. Такая среда обязательно должна существовать, и я убежден, что, например, даже при отсутствии воздуха поверхность и пространство вокруг предмета нагревались бы от быстро колеблющегося потенциала тела; но такого нагрева поверхности и окружающего пространства не может произойти при удалении всех свободных атомов, если бы осталась однородная, несжимаемая и эластичная жидкость — какой должен быть эфир, — ибо тогда не было бы ни ударов, ни столкновений. В таком случае, что касается самого тела, могут происходить только внутренние потери от трения.

Поразительным является то, что разряд сквозь газ проходит тем легче, чем больше частота импульсов. В этом случае его поведение диаметрально противоположное металлическому проводнику. В последнем случае с повышением частоты роль импеданса возрастает, но газ ведет себя скорее как цепь конденсаторов: возможность прохождения заряда через него, видимо, зависит от скорости изменения потенциала. Если это так, тогда в вакуумной трубке любой длины, неважно какова сила тока, самоиндукция будет ничтожно мала. Тогда мы имеем проводник в виде газа, способный передавать электрические импульсы любой частоты которую мы сможем получить. Если бы частоту удалось поднять до достаточно высокого уровня, тогда можно было бы реализовать любопытную систему распределения электроэнергии, которая заинтересовала бы газовые компании: металлические трубы, заполненные газом, где металл — это изолятор, а газ — проводник. Конечно, можно изготовить полый медный стержень, разрядить в нем газ, и пропуская импульсы достаточно высокой частоты через контур вокруг него, довести газ внутри до высокой степени накала; но что касается сил, то весьма сомнительно, будет ли при таких импульсах медный стержень действовать как статический экран. С такими парадоксами и очевидно невозможными ситуациями мы сталкиваемся на каждом шагу в нашей работе, и именно в них в большой степени и заключается основная привлекательность исследований.

Здесь у меня короткая широкая трубка, из которой откачан воздух, покрытая толстым слоем бронзы, не дающей свету поступать внутрь. Металлический зажим для подвешивания трубки укреплен посередине и касается трубки. Теперь я хочу зажечь газ внутри, подвесив трубку на проводе, соединенном с катушкой. Любой, кто проводит этот опыт впервые, скорее всего пожелает остаться в одиночестве, дабы не стать посмешищем для ассистентов. И всё же трубка освещается, несмотря на металлическое покрытие, и свет ясно виден сквозь него. Длинная трубка, покрытая алюминиевой бронзой, довольно ярко загорается, если ее держать в одной руке, а другой касаться вывода катушки. Мне могут возразить, что покрытия недостаточно хорошие проводники; однако, даже если они имели бы большое сопротивление, они должны экранировать газ. Конечно, они экранируют газ, находясь в состоянии покоя, но не так хорошо, когда на них волнообразно воздействуют. Потери энергии в трубке, несмотря на экран, происходят благодаря газу. Если бы мы взяли полый металлический шар и заполнили его абсолютно несжимаемым жидким диэлектриком, внутри шара не было бы потерь, и, соответственно, можно было бы сказать, что содержимое прекрасно экранировано, хотя потенциал и быстро меняется. Даже если шар заполнить маслом, потери всё равно были бы меньше в сравнении с газом, так как в последнем случае сила порождает смещения, а это означает удары и столкновения.

Неважно, под каким давлением находится газ, он становится важным фактором нагрева проводника, когда электрическая плотность велика, а частота высокая. То, что для нагрева

проводника путем светящегося разряда воздух является очень важным элементом, так же точно, как экспериментально доказанный факт. Можно проиллюстрировать действие воздуха при помощи следующего опыта: я беру короткую трубку с небольшим вакуумом внутри, по центру которой от одного конца до другого проходит платиновый провод. По нему пропускаю постоянный или низкочастотный ток и он равномерно нагревается по всей длине. Нагрев происходит вследствие проводимости, или фрикционных потерь, а газ вокруг провода, как видим, не выполняет никакой функции. Но теперь позвольте мне пропустить прерывистые разряды или высокочастотный ток. И снова провод нагревается, но только в этот раз в основном на концах и меньше всего в середине; и если частота импульсов, или скорость изменения, достаточно высока, то провод можно даже перерезать посередине, так как весь нагрев происходит благодаря разреженному газу. Здесь газ может выступать только как проводник, не имеющий сопротивления, отводящий ток от провода, поскольку сопротивление последнего сильно возрастает, при этом лишь нагревая концы провода, так как они сопротивляются прохождению разряда. Но совсем необязательно, чтобы газ в трубке был проводником; давление его может быть крайне низким, и всё же концы провода нагреются, как доказано опытом, только в данном случае эти два конца не будут иметь электрического контакта через газообразную среду. Итак, то что происходит при высоких частотах и потенциалах в вакуумной трубке, происходит и при разряде молнии при обычном давлении. Нам необходимо лишь помнить об одном из фактов, которые мы обнаружили во время этих исследований, а именно: в ответ на высокочастотные импульсы газ при обычном давлении ведет себя так, как будто он разрежен. Я думаю, что во время разрядов молнии часто провода или предметы-проводники испаряются только из-за того, что присутствует воздух, и что если бы проводник был погружен в изолирующую жидкость, он был бы в безопасности, так как тогда энергия была бы потрачена где-то в другом месте. Исходя из поведения газов в ответ на внезапные импульсы высокого потенциала я склонен сделать вывод, что не может быть более верного пути отвода разряда молнии, чем дать ему пройти через некий объем газа, если только это можно практически осуществить.

Есть еще два свойства, на которых, я считаю, необходимо остановиться в связи с данными опытами, — «лучистое состояние» и «неударный вакуум».

Каждый, кто изучал труды Крукса, должен находиться под впечатлением, что «лучистое состояние» — это свойство газа, неотделимое от высокой степени вакуума. Но следует помнить, что явления, наблюдаемые в вакуумном сосуде, ограничены характером и емкостью применяемого устройства. Я думаю, что в колбе молекулы или атомы двигаются по совершенно прямой линии не потому, что не встречаются препятствия, а потому, что скорость, переданная им, достаточна для того, чтобы двигаться по прямой. Средняя длина прямого пути — это одно, а скорость — количество энергии, связанное с движущимся телом, — совсем другое, и при обычных обстоятельствах, я полагаю, это всего лишь вопрос потенциала или скорости. Катушка с разрядником, когда потенциал очень высок, вызывает флюоресценцию и отбрасывает тени при сравнительно низком вакууме. При разряде молнии материя движется по прямой при нормальном давлении, когда средняя длина свободного пробега крайне мала, и часто изображения проводов или иных металлических предметов проецируются частицами, резко отброшенными по прямой линии.

Для того чтобы экспериментально продемонстрировать правильность приведенных высказываний, я приготовил лампу. В колбе  $L$  (рисунок 31) на нити накаливания  $f$  я укрепил кусочек извести  $i$ . Нить накаливания соединена с проводом, идущим в лампу, конструкция которой показана на рисунке 19. Когда лампа подключается к проводу, соединенному с выводом катушки, а последняя начинает работать, кусок извести  $i$  и выступающая часть нити  $f$  начинают подвергаться бомбардировке. Степень откачки воздуха такова, что потенциала катушки достаточно для начала флюоресценции, которая исчезает по мере ухудшения вакуума. Так как известь содержит влагу, которую отдает при нагревании, флюоресценция длится несколько мгновений. Когда известь достаточно нагрета, влаги

отдается столько, сколько нужно, чтобы уничтожить вакуум. Так как бомбардировка продолжается, одна часть куска извести нагревается больше, чем другие, и в результате почти весь разряд проходит через эту точку, которая сильно нагревается, и белый поток частиц извести (рисунок 31) испускается из этой точки. Этот поток состоит из «лучистой материи», хотя уровень вакуума низкий. Частицы движутся по прямой, так как скорость, сообщенная им, велика, и это происходит по трем причинам — большой электрической плотности, высокой температуры небольшого участка, и того, что частицы извести легко отрываются и уносятся — гораздо легче частиц углерода. При тех частотах, которые мы можем получить, частицы ощутимо отрываются и отбрасываются на значительное расстояние, но при достаточно высоких частотах такого не произойдет: в этом случае будет распространяться только напряжение или через колбу будут передаваться вибрации. Нечего и говорить о том, чтобы достичь такой высоты, если предположить, что атомы движутся со скоростью света; но я полагаю, что такое невозможно — для этого потребуются огромный потенциал. При тех потенциалах, которые мы можем получить, даже от катушки с разрядником, скорость не должна быть важна.

Что касается «неударного вакуума» следует отметить, что он имеет место только при низкочастотных импульсах и является необходимым в силу невозможности отвода достаточного количества энергии такими импульсами в высоком вакууме, так как те немногие атомы, которые находятся рядом с выводом, вступая с ним в контакт, отталкиваются от него и держатся на расстоянии сравнительно долго, и поэтому не выполняется достаточно работы, чтобы эффект стал виден для глаза. Если разницу потенциалов на выводах поднять, то диэлектрик пробивается. Но при очень высокой частоте импульсов такого пробоя не произойдет, так как любое количество работы может быть выполнено путем постоянного возбуждения атомов в вакуумном сосуде. Нетрудно — даже при той частоте, которую мы получаем от нашего генератора, — достичь той стадии, когда разряд не проходит между двумя электродами в узкой трубке, причем каждый электрод соединен с выводом катушки, но трудно достичь того момента, когда световой разряд не формируется вокруг каждого электрода.

Естественно, в связи с высокочастотными токами возникает мысль, о том, чтобы использовать их мощную электродинамическую индукцию для получения световых эффектов в запаянной стеклянной колбе. Подводящий провод — один из недостатков современных ламп накаливания, и если не будут сделаны другие шаги вперед, то хотя бы от этого недостатка надо избавиться. И потому я провел несколько опытов в разных направлениях, некоторые из которых описал в своих прошлых публикациях. Здесь хочу упомянуть одно или два направления, в которых я двигался.

Много ламп было создано, как показано на рисунках 32, 33.

На рисунке 32 широкая трубка  $T$  плотно соединена с меньшей по размеру W-образной трубкой  $U$  из фосфоресцентного стекла. В трубке  $T$  располагается обмотка  $C$  из алюминиевого провода, на концах которого имеются маленькие алюминиевые шарики  $t$  и  $t'$ , размещенные в трубке  $U$ . Трубка  $T$  установлена в гнезде, содержащем первичную обмотку, через которую обычно пропускались разряды лейденских банок, а разреженный газ в маленькой трубке  $U$  возбуждался до яркого свечения токами высокого напряжения, наведенными в обмотке  $C$ . Когда, для того чтобы индуцировать токи в обмотке  $C$ , использовались разряды лейденской банки, выяснилось, что необходимо плотно набить трубку  $T$  изолирующим порошком, так как между витками обмотки часто возникали разряды, особенно когда первичная обмотка толстая и промежутки, через который разряжались банки, большой — всё это доставило много хлопот.

На рисунке 33 показана лампа другой конструкции. На этот раз трубка  $T$  запаяна в колбе  $L$ . Трубка содержит обмотку  $C$ , которая проходит сквозь маленькие трубки  $t$  и  $t$ , которые припаяны к трубке  $T$ . Две тугоплавкие головки  $m$  и  $m$  укреплены на нитях накаливания, соединенных с концами проводов, проходящих через стеклянные трубочки  $t$  и

$t_f$ . В целом в лампах, изготовленных по этой схеме, колба  $L$  сообщалась с трубкой  $T$ . Для этой цели концы трубочек  $t$  и  $t_1$  были немного оплавлены горелкой, чтобы держать провод, но не мешать сообщению. Трубка  $T$  с маленькими трубками и проводами в них и тугоплавкие головки  $m$  и  $m_1$  были сначала приготовлены, а затем запаяны в колбу  $L$ , после чего внутрь была помещена обмотка  $C$  и к ее концам присоединены провода. Затем трубка была плотно набита изолирующим порошком, закрыта и на конце оставлено лишь небольшое отверстие, куда досыпали порошок, а потом и его закрыли. Обычно в лампах, изготовленных в соответствии с рисунком 33, на кончики  $s$  трубок  $t$  и  $t_f$  надевались алюминиевые трубочки  $a$  для защиты от нагрева. Головки  $m$  и  $m_1$  можно было довести до любой степени накала, пропуская по обмотке  $C$  разряды лейденских банок. В таких лампах с двумя головками происходит любопытный эффект образования теней каждой головки.

Еще одно направление, по которому я неумоимо продвигался, — возбудить при помощи электродинамической индукции ток или световой разряд в вакуумной трубке или колбе. Этот предмет получил такую тщательную разработку у профессора Дж. Дж. Томсона, что я вряд ли могу что-нибудь добавить, даже если бы сделал его темой сегодняшней лекции. И всё же, поскольку опыты постепенно привели меня к определенным результатам и взглядам, этой теме следует посвятить несколько слов.

Многим, конечно, приходило в голову, что если вакуумную трубку сделать длиннее, то эдс на единицу длины трубки, необходимой для прохождения через нее заряда, постоянно уменьшается; так что даже при низкой частоте световой разряд можно возбудить в такой трубке, замкнутой на себя. Такую трубку можно пустить вокруг зала или по потолку и тут же получится источник хорошего освещения. Но такой прибор нелегко изготовить и трудно им управлять. Не получится сделать трубку из коротких отрезков, так как при обычной частоте на покрытии будут значительные потери, и, кроме того, если применять покрытия, лучше подавать ток напрямую в трубку, соединив покрытия с трансформатором. Но если удастся справиться со всеми этими препятствиями, всё-таки при низких частотах преобразования света будут неэффективны, как я уже говорил. При использовании крайне высоких частот длину вторичной обмотки — иными словами, размер сосуда — можно уменьшить, и эффективность преобразования света возрастает, если только придумать методы продуктивного получения таких частот. Так мы приходим из теоретических и практических соображений к необходимости применения высоких частот, а это значит — высокой эдс и малого тока в первичной обмотке. Когда мы работаем с зарядами конденсатора — а они в настоящее время являются единственным известным средством получения крайне высоких частот, — мы получаем эдс в несколько тысяч вольт на один виток первичной обмотки. Мы не можем увеличить в несколько раз электродинамический индуктивный эффект, намотав больше витков первичной обмотки, так как приходим к выводу, что лучше всего работать с одним витком, хотя от этого правила иногда приходится отступать, и нам приходится довольствоваться тем, что мы можем получить от одного витка. Но прежде чем мы проведем много опытов с крайне высокими частотами, необходимыми для получения в лампе эдс в несколько тысяч вольт, мы поймем огромную важность электростатических эффектов, а они усиливаются соответственно электродинамическим по мере роста частоты.

Итак, если нам что-то и нужно, так это увеличение частоты, а это плохо отразится на электродинамических эффектах. С другой стороны, можно усилить электростатическое воздействие, добавив витков во вторичной обмотке или соединив самоиндукцию и емкость для увеличения потенциала. Следует также помнить, что, понизив до минимума силу тока и увеличив потенциал, можно гораздо проще передавать электрические импульсы высокой частоты по проводнику.

Эти и подобные мысли вселили в меня решимость посвятить больше внимания электростатическим явлениям и попытаться получить как можно более высокие и как можно более быстро меняющиеся потенциалы. Тогда я обнаружил, что могу возбудить вакуумную трубку на значительном расстоянии при помощи проводника, соединенного с правильно сконструированной катушкой, и, преобразовав колеблющийся ток от конденсатора в большой

потенциал, сформировать переменные электростатические поля, которые действовали на всём пространстве комнаты, зажигая трубку независимо от того, где ее держали. Я понял, что сделал шаг вперед и держался этого направления; но хочу сказать, что со всеми, влюбленными в науку и прогресс, делю одно желание — достичь полезного результата, действуя в любом направлении, куда ведет меня мысль или эксперимент. Я думаю, что выбрал правильное направление, так как не вижу, наблюдая за явлениями, которые проявляются по мере увеличения частоты, что еще может действовать между двумя цепями, по которым проходят импульсы с частотой, к примеру, несколько сотен миллионов колебаний в секунду, как не электростатические силы. Даже при ничтожно малых частотах энергия почти вся будет потенциальной, и я укрепился в убеждении, что какова бы ни была природа движения света, он происходит от огромного электростатического напряжения, вибрирующего с крайне высокой скоростью.

Из всех этих явлений с токами, или электрическими импульсами высокой частоты, самыми поразительными для аудитории являются, несомненно, те, которые происходят в электростатическом поле, действующем на значительном расстоянии, и начинающему лектору лучше всего начать и закончить выступление демонстрацией этих удивительных эффектов. В одной руке я держу трубку и перемещаю ее, а она загорается в любом месте; на всём пространстве действуют невидимые силы. Но беру другую трубку, и она может не загореться, так как вакуум очень высок. Я возбуждаю ее при помощи катушки с разрядником, и теперь она светится в электростатическом поле. Могу отложить ее на несколько недель или месяцев и всё же она не утратит способности возбуждаться. Какие изменения я произвел в трубке, возбуждая ее? Если атомам сообщается движение, то трудно понять, как оно может продолжаться так долго, не затухая от фрикционных потерь; и если создать напряжение в диэлектрике, как это происходит при простой электризации, то нетрудно увидеть, как оно бесконечно существует, но очень трудно понять, почему такое состояние способствует возбуждению, когда мы имеем дело с часто меняющимся потенциалом.

Так как я демонстрировал эти явления впервые, я обнаружил некоторые интересные эффекты. Например, я получил накал головки, нити или провода, заключенных в трубку. Для получения такого результата необходимо было экономить энергию, полученную от поля, и направить ее на небольшой предмет, который надо было накаливать. Поначалу задача казалась трудной, но накопленный опыт позволил мне быстро добиться результата. На рисунках 34 и 35 показаны две такие трубки, которые специально приготовлены для такого случая. На рисунке 34 короткая трубка  $T_p$  припаянная к еще одной длинной трубке  $T$ , имеет стеклянную ножку  $s$  с платиновым проводом в ней. Очень тонкая нить накаливания / соединена с этим проводом, а наружу выводится при помощи медного провода  $w$ . Трубка имеет внешнее и внутреннее покрытия  $C$  и  $C_i$  соответственно, и заполнена до уровня покрытий и немного выше изолирующим порошком. Эти два покрытия служат для проведения всего лишь двух опытов с трубкой, а именно: для получения желаемого эффекта при соединении с телом экспериментатора или другим предметом провода  $w$ , или с индуктивным действием сквозь стекло. Ножка  $s$  снабжена алюминиевой трубкой  $a$ , для чего, объяснялось ранее, и только небольшая часть нити выступает из этой трубки. Если держать трубку  $Ш$  в любом месте электростатического поля, то нить накаляется.

Более интересное устройство изображено на рисунке 35. Конструкция его такая же, как и прежде, но здесь вместо нити накаливания небольшой платиновый проводок  $p$  запаян в стеклянную ножку  $s$  и согнут над ней кольцом, а затем соединен с внутренним покрытием  $C$ . Небольшая снабжена иглой, на конце которой свободно закреплена крыльчатка  $v$  из тонкой слюды. Для того чтобы крыльчатка не упала, тонкая стеклянная ножка  $d$  надлежащим образом согнута и соединена с алюминиевой трубкой. Если стеклянную трубку держать в любом месте электростатического поля, то платиновый провод быстро накаляется и слюдяная крыльчатка начинает быстро вращаться.

Интенсивное свечение в лампе можно вызвать, просто соединив ее с пластиной внутри поля, и при этом пластине не обязательно по размеру быть больше абажура лампы. Фосфоресценция, вызываемая этими токами, несравненно более мощная, чем та, что вызывается обычным устройством. Небольшая фосфоресцентная лампа, если ее соединить с катушкой, излучает достаточно света, чтобы читать шрифт обычного размера на расстоянии пяти-шести шагов. Мне было интересно понаблюдать, как некоторые из фосфоресцентных ламп профессора Крукса будут вести себя с этими токами, и он оказал мне любезность, предоставив в мое распоряжение несколько таких ламп. Полученные эффекты замечательны, особенно при использовании сульфида кальция и сульфида цинка. От катушки с разрядником они светятся очень интенсивно, даже если их держать в руке, а другой касаться вывода катушки.

К каким бы результатам ни вели эти исследования, основной интерес заключается в производстве эффективного осветительного прибора. Ни в одной из отраслей электроиндустрии прогресс так не желателен сейчас, как в производстве света. Каждый думающий человек, когда он размышляет над варварскими методами, которые сейчас применяются, над прискорбными потерями, имеющими место в наших лучших системах производства света, должен спросить себя: а что же такое свет будущего? Это твердый элемент накаливания, как теперь, или светящийся газ, или светящееся тело, или что-то вроде горелки, но гораздо более эффективное?

Вряд ли удастся серьезно усовершенствовать газовую горелку, скорее всего не потому, что изобретательный человек ломал над этим голову несколько столетий без каких-либо радикальных шагов вперед, — хотя и этот аргумент не лишен оснований, — но потому, что в горелке вибрации более высокой частоты не могут быть получены, если не начать с низких вибраций. Ибо как еще образуется пламя, если не путем падения поднятого груза? Такой процесс нельзя поддерживать без обновления, а обновление повторяется переходом от низких к высоким колебаниям. Видимо, есть только один способ усовершенствовать горелку — постараться получить более высокий уровень накала. Большой накал означает более быструю вибрацию, и как следствие — больше света из того же материала и большая экономия. В этом направлении сделано несколько усовершенствований, но прогресс замедляется несколькими ограничениями. Оставив в стороне горелку, у нас остается три упомянутых способа, которые по природе своей электрические.

Допустим, что освещение будущего будет основано на накале твердого элемента. Тогда, не правда ли, лучше использовать маленькую головку вместо хрупкой нити? Из многих соображений следует, что головка способна давать большую экономию, если предположить, что трудности, связанные с эксплуатацией такой лампы, успешно преодолены. Но для работы такой лампы требуется высокий потенциал, а для его экономного получения нам требуются высокие частоты.

Такие рассуждения более подходят к теме производства света при помощи накаливания газа, или флюоресценции. В любом случае нам требуются высокий потенциал и высокая частота. Эти мысли посетили меня уже давно.

Кстати, при работе с высокими частотами, мы получаем много выгод, например, экономию при производстве света, возможность работать с одним проводом, возможность отказаться от подводящего провода и т. д.

Вопрос в том, насколько высокие частоты использовать? Обычные проводники быстро теряют способность передавать электрические импульсы, когда частота резко возрастает. Предположим, что производство импульсов огромной частоты доведено до совершенства, каждый тогда задастся вопросом: как передавать импульсы, если возникнет необходимость?

При передаче таких импульсов через проводники мы должны помнить, что имеем дело с давлением и потоком в обычном понимании этих терминов. Увеличьте давление до огромного значения и, соответственно, уменьшите поток, тогда такие импульсы — а они всего лишь варианты давления — без сомнения, можно передавать по проводу, даже если их частота — много сотен миллионов колебаний в секунду. Нет, конечно, и разговора о том,

чтобы передавать такие импульсы по проводу, находящемуся в газообразной среде, даже если он защищен толстым слоем самого лучшего изолятора, так как большая часть энергии будет потрачена на бомбардировку и, соответственно, нагрев. Конец провода, соединенный с источником, будет нагреваться, а другой конец получит ничтожную долю передаваемой энергии. Основная задача, следовательно, заключается в следующем: чтобы использовать такие импульсы, нужно найти средство для уменьшения рассеивания.

Первая мысль — использовать тончайший провод в толстой изоляции. Следующая мысль — применить электростатический экран. Оплетка провода может быть покрыта тонким проводящим слоем, замкнутым на землю. Но это не подойдет, так как тогда вся энергия через экран уйдет в землю и мы ничего не получим на другом конце провода. Если ставить заземление, то только через провод с огромным сопротивлением или через низкоемкостный конденсатор. Это, однако, не решает других проблем.

Если длина волны импульсов намного меньше, чем длина провода, тогда соответствующие короткие волны возбуждаются в покрытии и получается то же самое, как если бы оно было заземлено. Следовательно, надо, чтобы покрытие состояло из отрезков меньшей длины, чем длина волн. Такая конструкция не дает абсолютного экранирования, но всё же это в десятки тысяч раз лучше, чем никакого. Я полагаю, что покрытие лучше поделить на отрезки, даже если длина волны больше, чем покрытия.

Если провод укрыт абсолютным электростатическим экраном, это то же самое, как если бы все предметы были удалены от него на бесконечно большое расстояние. Емкость тогда бы уменьшилась до емкости провода, то есть очень малой величины. Тогда стало бы возможным посылать по этому проводу электрические вибрации очень высокой частоты на огромные расстояния, не оказывая большого влияния на характер вибраций. Абсолютный экран — это, конечно, невозможно, но я полагаю, что с тем экраном, который я только что описал, передача телефонных вызовов через Атлантику стала бы возможной. Исходя из моей идеи, провод, изолированный гуттаперчей, имеет третье проводящее покрытие, поделенное на участки. Поверх всего этого надо опять поместить слой гуттаперчи и другого изолятора, а затем армировать провод. Но такой провод не будет создан, пока информация, передаваемая без проводов, не будет пульсирующим сигналом пронизывать всю планету как живой организм. Удивительно то, что при нынешнем уровне знаний и накопленного опыта, не делаются попытки возбудить электростатическое и магнитное поля Земли для передачи, если уж нечего больше передавать, информации.

Моей целью сегодня было представить вам явления и новые свойства и выдвинуть идеи, которые, я надеюсь, послужат отправной точкой для новых открытий. Моим желанием было показать вам несколько новых занимательных опытов. Ваши аплодисменты, звучавшие часто и подолгу, убедили меня, что я своей цели достиг.

В заключение позвольте мне сердечно вас поблагодарить за вашу любезность и внимание, и заверить, что возможность обратиться к такой именитой аудитории и удовольствие представить свои идеи перед обществом таких опытных исследователей — а среди вас есть такие, в чьих трудах многие годы я находил свет озарения и истинное наслаждение, — никогда не будут мною забыты.

#### **4. О свете и других высокочастотных явлениях<sup>9</sup>**

##### **Введение Некоторые мысли о свете**

<sup>9</sup> Лекция прочитана перед сотрудниками Института Франклина в Филадельфии 24 февраля 1893 года и Национальной ассоциации электрического освещения в Сент-Луисе 1 марта 1893 года.

Когда мы смотрим на мир вокруг нас, на природу, нас впечатляют ее красота и великолепие. Каждый предмет, который мы воспринимаем, каким бы малым он ни был, есть уже мир сам по себе, как и вся Вселенная, материя и сила, которыми управляет закон, — мир, размышления о котором наполняют нас чувством восхищения и который побуждает нас мыслить и исследовать. Но во всем огромном мире, из всех предметов, доступных нашим органам чувств, самым удивительным и возбуждающим воображение является, несомненно, высокоразвитый организм, мыслящее существо. Если какое-то творение Природы и достойно восхищения, то это наверняка то самое непостижимое создание, что производит бесконечное множество движений в ответ на внешние раздражители. Понять его работу, глубже проникнуть в этот шедевр Природы — вот что всегда было делом жизни мыслителей, и после столетий титанически трудных исследований человечество пришло к более или менее правильному пониманию функций его организма и органов чувств. И вот, из всего совершенства и гармонии частей тела, частей, которые составляют материальную, осязаемую часть нашего существа, из всех органов глаз — особенно удивителен. Из всех органов чувств, или органов познания, он наиболее ценен, он — великие врата, через которые всё знание проникает в наш разум, он состоит в самых тесных отношениях с тем, что мы называем интеллектом. Эти отношения настолько интимны, что мы иногда говорим: глаза — это зеркало души.

Можно принять как факт, подразумеваемый теорией функции глаза, что при каждом внешнем воздействии, то есть при каждом воздействии образа на сетчатку, кончики глазных нервов, задействованные в передаче этого образа мозгу, должны находиться под напряжением, или вибрировать. Теперь уже не является неправдоподобным то, что когда силой мысли вызывается образ, кончики глазных нервов испытывают отчетливое, хотя и слабое рефлекторное воздействие, а следовательно, его испытывает и сетчатка. Будет ли человечество способно когда-нибудь анализировать состояние сетчатки, когда на нее оказано воздействие усилием мысли или рефлекторно, при помощи каких-либо оптических или иных устройств, обладающих такой чувствительностью, что с их помощью можно в любое время получить представление о состоянии сетчатки? Если бы это было возможно, тогда проблему чтения мыслей человека с точностью, равной чтению букв в книге, можно было бы решить легче, чем многие проблемы позитивной физики, в решение которых большинство ученых, если не все, безоговорочно верят. Гельмгольц доказал, что глазное дно само по себе способно светиться, и что он мог видеть, в полной темноте, движение собственной руки при свете его собственных глаз. Это один из самых замечательных опытов в истории науки и, возможно, немногие смогли его успешно повторить, так как скорее всего свечение глаз связано с необычно мощной мозговой деятельностью и большой силой воображения. Это флюоресценция мозговой активности, так сказать.

Еще одним фактом, имеющим особенное значение в связи с нашим предметом, и который замечен многими, так как он упоминается в поговорках и пословицах, хотя я и не припомню, чтобы этот факт был описан как положительный результат наблюдений, это то, что иногда, когда на ум приходит неожиданная идея или образ, мы видим перед глазами вспышку света, бывает и болезненную, даже при дневном свете.

Таким образом, выражение «Глаза — это зеркало души» имеет под собой основу, и мы видим, что оно несет в себе истину. Глубокое значение оно имеет для того, кто, подобно поэту или художнику, лишь следуя врожденному чувству любви к природе, находит радость в бесконечном процессе мышления и простом созерцании природных явлений, но еще более глубокое значение оно имеет для того, кто, ведомый духом научного эксперимента, пытается установить причины явлений. Именно для философа, естествоиспытателя, физика глаз является предметом наиболее полного восхищения.

Два факта должны неумолимо поражать разум физика, несмотря на его предположения, что глаз — это несовершенный оптический прибор, забывая при этом, что и само понятие о том, что совершенно, а что нет, он получает через этот самый прибор. Первое, глаз — это единственный орган, который непосредственно испытывает влияние той тонкой среды,

которая, как учит нас наука, пронизывает всё пространство; второе, это наиболее чувствительный из наших органов, несравненно более чувствительный к внешним воздействиям, чем все остальные.

Орган слуха должен подвергнуться воздействию массивных предметов, орган обоняния — улавливает передаваемые свободные материальные частицы, органы вкуса и осязания или силы, ощущают прямой контакт, или, по крайней мере, воздействие осязаемых предметов, и это верно даже для живых организмов, у которых некоторые из перечисленных органов развиты почти до совершенства. При всём при этом удивительно, что орган зрения один способен возбуждаться тем, что все остальные органы, вместе взятые, не в силах заметить, и что всё же играет важнейшую роль во всех природных явлениях, что передает энергию и поддерживает движение, и, что самое удивительное, жизнь, но обладает такими качествами, что даже разум самого опытного ученого не может не провести границу между ним и всем, что именуется материей. Одна лишь мысль о том, что глаз своей удивительной властью раздвигает горизонты нашего восприятия — обычно такие узкие — далеко за пределы нашего небольшого мира, и оно становится способным объять мириады иных миров, солнц и звезд в неисчерпаемых глубинах Вселенной, — приводит к предположению, что глаз — это орган высшего порядка. Его возможности находятся за пределами нашего понимания. Насколько мы знаем, природа еще не создавала ничего более удивительного. Мы можем получить слабое представление о его поистине колоссальных возможностях путем анализа и сравнения. Когда волны эфира накатываются на тело, они вызывают чувства тепла или холода, удовольствия или боли, а, может быть, они вызывают иные ощущения, которых мы не знаем, и эти ощущения могут быть любой степени, и количество этих степеней бесконечно, как бесконечно количество определенных ощущений. Но наше осязание не может нам раскрыть различных степеней этих ощущений, если только они не очень сильны. Теперь мы можем легко себе представить, как организм, например человеческий, в бесконечном процессе эволюции, или, выражаясь более философски, адаптации к природным условиям, при условии возможности пользоваться только чувством осязания, например, мог бы развить это чувство до такой степени, что смог бы различать мельчайшие различия нагрева предмета даже на некотором расстоянии с точностью до сотой, тысячной или миллионной доли градуса. И всё же, даже такая, очевидно невозможная степень совершенства не сравнится с работой глаза, который способен различить и мгновенно передать в мозг бесчисленные подробности предмета: форму, цвет или нечто иное. Такая способность глаза основывается на двух вещах, а именно: на его способности линейно отображать источник раздражения и на его чувствительности. Сказать, что глаз чувствителен — значит, не сказать ничего. В сравнении с ним остальные органы чудовищно грубы. Орган обоняния, ведущий пса по следу оленя, орган осязания, ведущий насекомое в его скитаниях, орган слуха, реагирующий на малейшие колебания воздуха, — всё это чувствительные органы несомненно, но что они по сравнению с человеческим глазом! Без сомнения, он реагирует на самые слабые отголоски и отзвуки среды; без сомнения, он доносит до нас эхо других миров, бесконечно далеких, но делает это так, что мы не всегда можем понять. Почему же мы не можем? Потому что мы живем в среде, наполненной воздухом, газами, испарениями и плотной массой твердых частиц, летающих в воздухе. Они играют важную роль в различных явлениях; они распыляют энергию колебаний до того, как они смогут достичь глаза; они — микробы разрушения, они попадают в наши легкие и другие органы, забивают каналы и незаметно, но неотвратимо, тормозят ток жизни. Если бы мы могли избавиться от взвешенных частиц на линии окуляра микроскопа, перед нами бы открылись невообразимые чудеса. Даже невооруженный взгляд, я полагаю, смог бы различить в чистой среде небольшие предметы на расстоянии, возможно, сотен, а то и тысяч миль.

Но есть нечто, что впечатляет нас гораздо больше, чем все эти удивительные способности, которые мы описали с точки зрения физика, рассматривая этот орган лишь как оптический прибор, — нечто, что завораживает нас больше, чем его чудесная способность прямо воспринимать колебания среды, без вмешательства грубой материи, и больше, чем его

непостижимая чувствительность и избирательность. Это его важность для жизненных процессов. Независимо от того, каковы взгляды человека на природу и жизнь, он должен поразиться, когда впервые его мысль постигнет важность глаза для физических процессов и умственной деятельности человеческого организма. Да и как может быть иначе, если глаз — это средство, при помощи которого человечество получило все имеющиеся у него знания, которое контролирует все наши эмоции и, более того, все наши поступки.

Знания можно получать только при помощи глаз. Какова основа всех философских систем прошлого и современности, фактически, всей философии человека? *Я существую, я мыслю, я мыслю, следовательно, я существую.* Но как бы я мыслил, и откуда бы мне было известно, что я существую, если бы у меня не было глаз? Ибо знание подразумевает сознание; сознание означает идеи, понятия; понятия подразумевают картинки или образы, а образы — зрение, а следовательно, и орган зрения. Но вот вопрос, а как быть со слепыми людьми? Да, слепой человек может создавать великолепные поэмы, формы и сцены настоящей жизни, из того мира, который он физически не видит. Слепой человек может трогать клавиши инструмента с безошибочной точностью, может спроектировать самое быстроходное судно, он может открывать и изобретать, считать и строить, может выполнять и более поразительные задачи, но все слепцы, которые творили такое, произошли от тех людей, у которых были зрячие глаза. Природа может достигать цели разными путями. Как в физическом мире, в безбрежном океане той среды, что пронизывает всё, так и в мире организмов, в жизни заданный импульс распространяется временами, может быть, со скоростью света, а иногда так медленно, что веками он кажется застывшим на месте, претерпевая процессы, неподвластные человеческому разуму, но во всех его формах, на всех стадиях энергия его сохраняется. Одинокий луч света далекой звезды, в незапамятные времена коснувшийся глаз тирана, возможно, изменил течение его жизни, изменил судьбы народов, может быть, изменил лик Земли, настолько сложны, настолько непостижимо запутаны природные процессы. Только тогда мы можем получить представление о величии Природы, когда понимаем, что в соответствии с законом сохранения энергии, где бы то ни было, силы находятся в совершенном равновесии, и поэтому энергия одной мысли может определить движение Вселенной. Совсем необязательно, чтобы отдельный индивидуум, или даже поколение, или несколько поколений имели орган зрения, то есть формировали идеи и понятия; но в какой-то момент эволюции глаз должен существовать, а иначе мысль, как мы ее понимаем, будет невозможна; иначе понятия, такие, как дух, разум, интеллект, называйте их как хотите, будут невозможны. Понятно, что в каком-то ином мире, у каких-то других существ глаз заменен другим органом, таким же или более совершенным, но эти существа не могут быть людьми.

Итак, что подталкивает всех нас к намеренным движениям разного рода? Снова глаз. Если я осознаю движение, я должен иметь идею или понятие, а значит — глаз. Если я не совсем осознаю движение, то это происходит потому, что образы расплывчаты и смазаны, наложены один на другой. Но когда я произвожу движение, импульс, который меня толкает, происходит изнутри или извне? Величайшие физики не считали для себя зазорным попытаться ответить на этот и подобные ему вопросы и иногда полностью отдавались восторгу чистой и ничем неограниченной мысли. Такие вопросы обычно не относят к сфере позитивной физики, но вскоре станут относить. Гельмгольц, возможно, думал о жизни больше, чем любой из современных ученых. Лорд Кельвин высказал мысль о том, что жизнь имеет электрическую природу, и что есть сила, которая является неотъемлемой частью организма, определяющая его движения. Так же, как я убежден в каждой физической истине, я убежден в том, что исходный импульс должен поступать извне. Ибо рассмотрим простейший организм, известный нам, — возможно, имеется нечто более простое — скопление всего лишь нескольких клеток. Если он может совершать намеренное движение, то он совершает бесчисленное количество движений, все они определены и точны. Но механизм, состоящий из конечного числа частей, которых и не очень много, не способен совершать бесчисленное количество определенных движений, поэтому импульсы,

руководящие его движениями, должны поступать из окружающей среды. Так, атом, мельчайший элемент в структуре Вселенной, постоянно мечется в пространстве, как игрушка в руках внешних сил, как лодка в бушующем море. Прекратись его движение — *он умрет*. Материя в покое, если бы такое могло существовать, была бы мертвой материей, лишенной смысла! Никогда еще мысль, более наполненная философским смыслом, доселе не звучала. Именно так выразился профессор Дьюар, описывая свои восхитительные опыты, где с жидким кислородом обращаются как с водой, а воздух при нормальном давлении сгущается и даже твердеет под воздействием крайнего холода. Эти опыты призваны проиллюстрировать, как он выражается, последние слабые проявления жизни, последние судороги материи, которая вот-вот умрет. Но человеческий глаз не засвидетельствует такую смерть. Материя бессмертна, ибо на всех просторах Вселенной она должна двигаться, колебаться, то есть жить.

Всё это я говорил, ступая по зыбкой почве метафизики, в надежде сделать вступление в предмет моей лекции перед уважаемой аудиторией не совсем скучным. Но теперь, возвращаясь к этому предмету — этому божественному органу — зрению, этому неотъемлемому инструменту мысли и интеллектуального восторга, который открывает нам чудеса Вселенной, при помощи которого мы получили все знания, которыми располагаем, и который стимулирует и контролирует всю нашу физическую и умственную деятельность. Что на него влияет? Свет! А что есть свет?

В последние годы все мы были свидетелями огромных успехов во всех областях науки. Прогресс настолько велик, что мы не можем не задаться вопросом, так ли всё это или это просто сон? Столетиями люди жили, мыслили, делали открытия, изобретали и верили в то, что они парят, тогда как они двигались со скоростью улитки. Также и мы можем ошибаться. Но принимая за истину наблюдаемые события, как нечто неоспоримое и научно подтвержденное, мы должны радоваться огромному прогрессу, но еще более грядущему, судя по тому, какие возможности открылись перед нами благодаря современным исследованиям. Это не открытия, изобретения или достижения в одном направлении. Это — продвижение во всех областях научной мысли и эксперимента. Я имею в виду обобщение естественных сил и явлений, проявляющиеся очертания некоей широкой идеи на научном небосклоне. Именно к этой идее, которая давно завладела прогрессивными умами, я намерен привлечь ваше внимание, и которую я проиллюстрирую опытами в качестве первого шага для ответа на вопрос: «Что есть свет?», и для современного понимания этого слова.

В мою задачу сегодня не входит рассуждать о свете в общем, цель моей сегодняшней лекции — представить вашему вниманию определенную группу световых явлений и ряд феноменов, наблюдавшихся при изучении этих явлений. Но для того чтобы быть последовательным в своих высказываниях, надо отметить, что в соответствии с той идеей, ныне принятой большинством научного сообщества как положительный результат теоретических и практических изысканий, что различные формы проявления энергии, которые обычно именуется «электрические» или более точно — «электромагнитные», есть проявления энергии того же свойства, что и лучистое тепло или свет. Следовательно, явления света и тепла, а также некоторые другие могут быть названы электрическими явлениями. Так наука об электричестве стала матерью всех наук, и ее изучение стало наиважнейшим. В тот день, когда мы поймем, что такое «электричество», станем свидетелями события еще более великого и более важного, чем все события в истории человечества. Придет время, когда удобства, а, может быть, и само существование человека, станет напрямую зависеть от этого удивительного фактора. Для нашего существования нам требуются тепло, свет и механическая энергия. Как нам получить всё это? Мы получаем всё это из топлива. Мы получаем всё это, расходуя материалы. Что будет делать человек, когда исчезнут леса, когда иссякнут угольные залежи? Исходя из наших сегодняшних знаний останется только одно — передавать энергию на огромные расстояния. Люди отправятся к водопадам, к местам приливов, которые являются самой малой частью бесконечно огромных запасов природной энергии. Там они обуздают энергию и направят ее в свои поселения, чтобы согреть свои

дома, дать свет и заставить упорно трудиться своих послушных рабов — машины. Но как они передадут энергию, если не при помощи электричества?! Вот и посудите, правда ли, что тогда удобства, нет, само существование человечества будет зависеть от электричества? Я понимаю, что это не мнение инженера-практика, но это и не мнение мечтателя, так как совершенно точно, что передача энергии, которая сейчас всего лишь стимул для предпринимательства, однажды станет насущной необходимостью.

Для студента, начинающего изучать световые явления, более важно тщательно познакомиться с современными взглядами, чем штудировать целые книги о свете как таковом, которые не имеют ничего общего с этими взглядами. Так что если бы мне пришлось демонстрировать мои опыты перед студентами, ищущими информацию, — а ради нескольких таковых, которые здесь присутствуют, позволю себе это предположить, — моей главной задачей стало бы внедрить эти взгляды в их разум посредством нескольких экспериментов.

Для этого, возможно, было бы достаточно произвести один очень простой и широко известный опыт. Я мог бы взять знакомое устройство, лейденскую банку, зарядить ее от фрикционной машины, а затем разрядить. Объясняя вам ее стабильное состояние во время зарядки и переходное состояние во время разряда, и обратив ваше внимание на силы, которые вступают в игру и на те явления, которые они вызывают к жизни, я мог бы полностью описать эту современную идею. Без сомнения, на мыслителя этот простой опыт произвел бы такое же впечатление, как самая красочная демонстрация. Но это должна быть и экспериментальная демонстрация, такая, что кроме целей обучения преследует и цели развлечения, а в этом случае простой опыт, вроде описанного, вряд ли бы достиг целей, которые имеет в виду лектор. Следовательно, мне должно выбрать другой путь показа, может быть, более броский, но, возможно, не менее поучительный. Вместо фрикционной машины и лейденской банки я буду пользоваться в течение этих опытов индукционной катушкой, обладающей определенными свойствами, детально описанными мной во время лекции, прочитанной перед аудиторией Лондонского электротехнического института в феврале 1892 года. Эта катушка способна вырабатывать токи огромного напряжения, колеблющиеся с огромной скоростью. С помощью этого устройства я попытаюсь показать вам три особых класса эффектов, или явлений, и намереваюсь в ходе этих опытов не только проиллюстрировать их, но и сделать так, чтобы эти опыты научили нас какой-либо новой истине или показали нам какой-либо новый аспект этой захватывающей науки. Но прежде чем мы приступим, было бы полезно описать используемые устройства, а также методику получения высоких потенциалов и высокочастотных токов, которые работают во время этих опытов.

## **Об устройствах и методах преобразования тока**

Эти высокочастотные токи получают особым способом. Применяемая методика была предложена мною около двух лет назад во время лекции в Американском институте электроинженеров. Несколько способов, практикуемых в лабораторных условиях, получения таких токов из постоянного или низкочастотного переменного тока показаны на рисунке 1, который будет позже подробно описан. В целом необходимо заряжать конденсаторы от источника постоянного или переменного тока, желательного высокого напряжения, и разряжать их пробивным разрядом, соблюдая при этом необходимые условия колебания тока. Ввиду всеобщего интереса, проявляемого к токам высокой частоты и эффектам, которые они порождают, мне кажется желательным немного задержаться на этом методе преобразования. Для того чтобы дать вам ясную картину происходящего, я предположу, что применение источника постоянного тока, часто очень удобно. Желательно, чтобы генератор давал такое высокое напряжение для возможности произвести разряд между контактами на небольшом расстоянии в воздухе. Если этого не происходит, следует прибегнуть к помощи вспомогательных устройств, некоторые из которых будут описаны позже. Когда

конденсаторы заряжаются до определенного потенциала, воздух, или изолирующее пространство, пробивается и происходит разряд. Тогда происходит резкий бросок тока, то есть расходуется большое количество накопленной электрической энергии. Затем конденсаторы заряжаются, и такой же процесс повторяется более или менее быстро. Для производства таких резких бросков тока необходимо соблюдать определенные условия. Если скорость разряда конденсаторов соответствует скорости зарядки, то в таком случае ясно, что конденсаторы в процессе не участвуют. Если скорость разряда меньше скорости зарядки, то и тогда конденсаторы не могут играть важной роли. Но если, напротив, скорость разряда выше скорости зарядки, тогда достигается последовательность резких бросков тока. Очевидно, если скорость, с которой энергия рассеивается во время разряда, намного выше скорости подачи энергии на конденсаторы, внезапные разряды будут немногочисленными, между ними будут большие интервалы. Это всегда происходит, когда конденсатор большой емкости заряжается сравнительно слабым устройством. Если скорости заряда и рассеивания не различаются сильно, тогда разряды будут происходить более быстро и часто, и тем быстрее и чаще, чем меньше разница в скорости, до тех пор, пока скорость и частота разрядов не достигнут ограничений, присущих каждому отдельному случаю и зависящих от ряда причин. Таким образом, от источника постоянного тока мы можем получить последовательность разрядов желаемой скорости. Конечно, чем выше напряжение, выдаваемое генератором, тем меньше должна быть емкость конденсаторов и, в основном, по этой причине лучше использовать генератор высокого напряжения. Кроме того, такой генератор позволяет получить более высокую скорость колебаний.

Броски тока могут быть одного направления, но в описанных условиях обычно формируемые колебания накладываются на основные. Когда условия опыта определены таким образом, что наложенных колебаний нет, импульсы тока следуют в одном направлении, и мы имеем средство преобразования постоянного тока высокого напряжения в постоянный ток низкого напряжения, что, как я полагаю, может найти прикладное применение.

Этот способ преобразования крайне интересен и я был сильно впечатлен его красотой, когда впервые применил его. Он идеален во многих отношениях, и не требует применения никаких механических устройств, позволяет получать токи нужной частоты от обычной схемы постоянного или переменного тока. Частоту базовых разрядов в зависимости от относительной скорости подачи энергии и рассеивания можно широко изменять путем несложной регулировки этих показателей, а частоту наложенных колебаний — путем определения емкости, самоиндукции и сопротивления цепи. Потенциал же схемы можно поднять до нужной величины настолько, насколько может выдержать изоляция, путем соотношения показателей емкости и самоиндукции во вторичной обмотке, которая может состоять из нескольких витков.

### *Рис. 2*

Поскольку условия проведения опыта часто таковы, что прерывистость или колебания сразу не устанавливаются, особенно при использовании источника постоянного тока, полезно связать прерыватель с дугой, как я применял некоторое время назад дутьё или магнит, если такие приспособления есть под рукой. При преобразовании постоянного тока особенно эффективен магнит. Если первичным источником является генератор переменного тока, то желательно, как я указывал ранее, чтобы частота была низкой, а сила тока, формирующего дугу, высокой.

Вариант такого разрядника, который оказался удобным в использовании и применялся в нескольких опытах, в частности, для преобразования постоянного тока, показан на рисунке 2. *NS* — это полюса очень сильного магнита, возбуждаемого катушкой *c*. Полюсные наконечники имеют отверстия для регулировки и закрепляются в нужном положении винтами *ss*, Штоки разрядника *dd*<sub>1</sub>, заостренные на концах, для того чтобы приблизиться к

зубцам полюсов, проходят через медные муфты  $bb_1$  и крепятся винтами  $s_2s_2$ . Пружины  $rr_1$  шайбы  $cc$ , надеты на штоки, причем шайбы служат для установки концов штоков на определенном приемлемом расстоянии при помощи винтов  $s_3s_3$ , а пружины — для разведения концов. Когда необходимо получить дугу, надо ударить легонько по одной из резиновых рукояток  $hh_1$  тогда концы штоков соприкасаются, но сразу разводятся пружинами  $rr_1$ . Такая конструкция хорошо зарекомендовала себя, когда эдс была недостаточна для пробоя между контактами, она также позволяет избежать короткого замыкания генератора металлическими концами штоков. Скорость прерывания тока магнитом зависит от напряжения магнитного поля и разности потенциалов на концах дуги. Прерывания обычно столь часты, что вызывают музыкальный сигнал. Несколько лет назад было замечено: когда мощная катушка индуктивности разряжается между полюсами сильного магнита, во время разряда раздается звук сродни пистолетному выстрелу. Было сделано туманное замечание относительно того, что искра усиливалась наличием магнитного поля. Теперь стало ясно, что ток пробоя, текущий некоторое время, прерывается много раз, что и порождает звук. Это явление особенно заметно, когда цепь возбуждения большого магнита или динамо-машины разрывается мощным магнитным полем.

Когда сила тока разряда относительно высока, желательно, чтобы на концах разрядных штоков были укреплены очень жесткие кусочки углерода, и дуга бы играла между ними. Это предохраняет разрядные штоки и, кроме того, имеет то преимущество, что пространство между ними имеет более высокую температуру, поскольку тепло не так быстро рассеивается через углерод, в результате чего для поддержания той же последовательности разрядов требуется меньшая эдс.

Разрядник другой формы, также с успехом применяемый в отдельных случаях, показан на рисунке 3. В данном случае стержни разрядника  $dd_1$  проходят через отверстия в деревянном коробе  $B$ , который на внутренней поверхности имеет толстый слой слюды, что обозначено на рисунке жирными линиями. Отверстия снабжены слюдяными гильзами  $mm_1$  некоей толщины, которые, по возможности, не должны касаться стержней  $dd$ . Короб снабжен крышкой  $c$ , окружность которой несколько больше самого короба. Искровой промежуток подогревается лампой  $l$ , установленной внутри короба. Пластина  $p$  над лампой позволяет потоку воздуха проходить только через воздуховод лампы  $e$ , а подача воздуха происходит через отверстия  $oo$  над днищем короба, причем воздух движется в направлении, указанном стрелками. Во время работы разрядника крышка короба закрыта, так что свет дуги не виден снаружи. Желательно исключить свечение, насколько это возможно, так как оно мешает проведению некоторых экспериментов. Разрядник такой конструкции очень прост и эффективен, если с ним правильно обращаться. Когда воздух нагревается до определенной температуры, он теряет свои свойства изолятора; становится слабым диэлектриком, и последствия этого таковы, что дуга устанавливается на большем расстоянии. Дуга, естественно, должна быть в достаточной степени изолятором, чтобы разряд проходил резко. Дуга, сформированная при таких условиях, довольно длинная, может быть достаточно чувствительной, и слабого тока воздуха через воздуховод  $c$  достаточно, чтобы произвести быстрые прерывания. Настройка производится путем регулирования температуры и скорости потока воздуха. Вместо использования лампы целей эксперимента можно достичь, добываясь потока теплого воздуха другими способами. Очень простой метод, который уже применялся, — поместить дугу в длинную вертикальную трубку, сверху и снизу ограниченную пластинами для регулировки температуры и скорости потока воздуха. Следует предпринять меры для устранения звука.

Ослабить диэлектрические свойства воздуха можно путем его разрежения, применяя и магнит. Для этой цели берется большая трубка с мощными углеродными или металлическими электродами, между которыми возникает разряд, причем трубка помещается в мощном магнитном поле. Воздух из трубки откачивается до такой степени, что разряд проходит легко, но давление в ней должно быть более 75 мм, когда происходит обычный

нитевидный разряд. В разряднике другого типа, совмещающем в себе все описанные особенности, разряд возникает между двумя подвижными полюсными наконечниками, причем пространство между ними нагревается до определенной температуры.

Следует отметить, что при использовании таких или подобных разрядных устройств пробойного типа ток проходит через первичную обмотку катушки, при этом нежелательно, чтобы число прерываний тока в секунду было больше, чем естественная частота колебаний тока в цепи питающей динамо-машины, а она обычно мала. Следует также обратить внимание аудитории на то, что хотя устройства, упомянутые в связи с пробойным разрядом, и полезны при определенных условиях, они всё же могут быть источниками проблем, так как создают прерывания и другие неполадки, с которыми следует бороться.

Вынужден признать, к сожалению, что этот прекрасный способ преобразования имеет один недостаток, который не является, впрочем, жизненно важным, и его я постепенно преодолеваю. Лучше всего мне обратить на него ваше внимание и указать перспективное направление движения, сравнив электрический процесс с его механическим аналогом. Этот процесс можно проиллюстрировать следующим образом. Представьте себе бак, в днище которого имеется широкое отверстие, которое закрыто пружинной задвижкой так, что она открывается внезапно, когда жидкость, поступающая в бак, достигает определенного уровня. Пусть жидкость поступает в бак через трубу, подающую ее с определенной скоростью. Когда уровень жидкости в баке достигает критической отметки, пружина подается и днище открывается. Через широкое отверстие жидкость моментально выливается и пружина, встав на место, снова запирает отверстие. Бак снова наполняется, и через некоторое время процесс повторяется. Ясно, если жидкость поступает в бак быстрее, чем она успевает слиться сквозь отверстие в днище, отверстие будет всегда открытым, но бак будет переполнен. Если скорость наполнения и скорость слива будут одинаковы, то задвижка будет частично открыта, и в целом колебания уровня жидкости и задвижки не будут наблюдаться, хотя их и можно определенным способом инициировать. Но если бак будет наполняться медленнее, чем освобождаться, то колебания всегда будут присутствовать. И опять же, каждый раз, когда днище открывается и закрывается, пружина и уровень жидкости, если эластичность пружины и инерция движущихся частей выбраны правильно, будут совершать независимые колебания. В данном примере жидкость можно сравнить с электричеством или электрической энергией, бак с конденсатором, пружину — с диэлектриком, а трубу — с проводом, подающим электричество к конденсатору. Для того чтобы аналогия была более полной, следует предположить, что задвижка, каждый раз когда резко открывается, сильно бьется о неупругий ограничитель, и в результате этого удара происходит некоторая потеря энергии, и, кроме того, энергия частично рассеивается, в результате фрикционных потерь. В приведенном примере жидкость находится под постоянным давлением. Если давление жидкости ритмично меняется, то это следует уподобить переменному току. Тогда процесс становится непростым для понимания, но механический и электрический процессы в принципе идентичны.

Желательно, для экономичного поддержания колебаний, насколько это возможно, исключить потери от трения и удара. Что касается трения, что в варианте электрическом соответствует потерям от сопротивления в цепи, то от него нельзя избавиться полностью, но их можно свести к минимуму, правильно выбрав размер цепи и применив тонкие проводники в форме ленты.

Но потери, вызванные первым пробоем диэлектрика, в механическом варианте это соответствует сильному удару о неэластичный ограничитель, преодолеть гораздо важнее. В момент пробоя воздух в зазоре имеет определенное, очень высокое сопротивление, величина которого сильно снижается, когда ток достигает какого-то значения и воздух в зазоре нагревается. Потери энергии можно существенно снизить, если поддерживать температуру пространства зазора на высоком уровне, но тогда не будет прерывания разряда. Когда мы умеренно нагреваем зазор при помощи лампы или иным способом, экономия в отношении дуги ощутимо возрастает. Но магнит или другое прерывающее устройство не снижает потерь в дуге. Точно так же поток воздуха только увеличивает рассеивание энергии. Воздух, да и

вообще газ, в таких условиях ведет себя любопытно. Когда два тела, заряженные до очень высокого потенциала, пробойно разряжаются сквозь воздух, последний может рассеять любое количество энергии. Эта энергия, очевидно, уносится физическими носителями при столкновениях и соответствующих молекулярных потерях. Молекулярный обмен в пространстве происходит с непостижимой скоростью. Когда между двумя электродами происходит мощный разряд, они могут оставаться совсем прохладными, и всё же потери в воздухе могут достигать любой величины. На практике часто случается, что при большой разнице потенциалов на электродах несколько лошадиных сил рассеиваются в дуге разряда и при этом даже не наблюдается значительного повышения температуры электродов. Таким образом, все фрикционные потери происходят в воздухе. Если молекулярный обмен в воздухе предотвращен, как например тогда, когда воздух заперт в герметичном сосуде, газ внутри такого сосуда быстро достигает высокой температуры даже при несильном разряде. Трудно подсчитать, какое количество энергии рассеивается звуковыми волнами, неважно, слышны они или нет, при мощном разряде. Когда ток разряда высок, электроды могут быстро нагреться, но это не есть надежный показатель того, какое количество энергии потеряно в дуге, так как потери в самой дуге могут быть сравнительно малы. Воздух, или вообще газ, при нормальном давлении не являются наилучшей средой для пробойного разряда. Воздух или иной газ под большим давлением, конечно, гораздо более приемлемая среда для зазора. Я проводил долгие опыты в этом направлении, к сожалению, не приведшие к блестящим результатам с точки зрения преодоления этих трудностей и получения воздуха под большим давлением. Но даже если среда в зазоре твердая или жидкая, имеют место те же потери, хотя они и меньше в целом, ибо как только устанавливается дуга, твердое или жидкое вещество испаряется. И в самом деле, неизвестно такое тело, которое бы не распалось под действием дуги, и в научной среде остается открытым вопрос, возможен ли вообще дуговой разряд в воздушной среде, если от электродов не отделяются частицы материала. Когда сила тока в дуге невелика, а сама дуга длинная, я полагаю, что при распаде электродов расходуется достаточно значительное количество энергии, а электроды — частично по этой причине — могут оставаться довольно прохладными.

Идеальная среда для искрового промежутка должна просто пробиваться, а идеальный электрод должен быть изготовлен из материала, который не способен распадаться. При небольшой силе тока, текущего через промежуток, лучше всего использовать алюминий, но не при сильном токе. Пробойный разряд в воздухе, или иной обычной среде, не имеет природы трещины, его скорее можно сравнить с тем процессом, когда бесчисленное количество пуль проходит сквозь среду, оказывающую сильное сопротивление полету пуль, а это приводит к значительным потерям энергии. Среда, которая трескается при возникновении электростатического напряжения, — а так скорее всего и происходит в абсолютном вакууме, то есть в чистом эфире, — дает очень малые потери в искровом промежутке, настолько малые, что ими можно пренебречь, по крайней мере теоретически, так как трещина происходит вследствие крайне незначительной деформации. Когда я очень осторожно откачивал воздух из вытянутой трубки с двумя алюминиевыми электродами, мне удалось получить такой вакуум, что при прохождении вторичного разряда катушки он имел форму тонких искровых потоков. Любопытно, что разряд полностью игнорировал электроды и начинался далеко за пределами алюминиевых пластин, служивших таковыми. Эта необычайно высокая степень вакуума может существовать очень короткое время. Возвращаясь к идеальной среде, представьте себе, для примера, кусок стекла или подобный предмет, зажатый в тиски, который сжимает его всё сильнее и сильнее. В определенный момент малейшее нарастание давления вызовет трещину в стекле. Потеря энергии при расколе стекла может быть ничтожной, и хотя сила и велика, деформация будет незначительной. Теперь представьте себе, что стекло обладает свойством полностью восстанавливать целостность при малейшем уменьшении давления. Вот так и должен вести себя диэлектрик в искровом промежутке. Но поскольку в промежутке всегда будут иметь место потери, среда, которая должна быть сплошной, будет производить обмен в промежутке

с огромной скоростью. В предыдущем примере, когда стекло идеально закрыто, это значит, что диэлектрик в зоне разряда обладает отличными изолирующими свойствами; если стекло трескается, это означает, что среда в промежутке — хороший проводник. Сопротивление диэлектрика должно сильно меняться при малейших изменениях значения эдс в промежутке. Это условие достижимо, но очень несовершенным способом: нагревая воздух в искровом промежутке до определенной критической температуры, зависящей от эдс в промежутке, или путем нарушения изолирующих свойств воздуха. Но, по сути дела, разряд в воздухе никогда не происходит пробойно, в строгом понимании этого термина, так как перед внезапным броском тока всегда присутствует слабый, предваряющий ток, который сначала постепенно, а потом резко нарастает. Вот почему скорость обмена гораздо выше, например, когда пробивается стекло, чем когда разряд проходит сквозь слой воздуха с той же диэлектрической прочностью. Следовательно, в качестве среды для искрового промежутка твердое вещество или жидкость были бы гораздо предпочтительнее. Довольно трудно себе представить твердое тело, моментально заращающее трещину. Но жидкость под большим давлением ведет себя как твердое тело и к тому же имеет способность восстанавливать целостность. Поэтому у меня сложилось мнение, что жидкий изолятор может быть более приемлемым в качестве диэлектрика, чем воздух. Исходя из этой идеи, были поставлены опыты с разрядниками различных типов, в которых применялись такие изоляторы разнообразной формы. Полагаю, что достаточно будет сказать несколько слов об одном из них. Он показан на рисунках 4а и 4б.

Полый металлический шкив  $P$  (рисунок 4а) был укреплен на валу  $a$ , который вращался со значительной скоростью при помощи соответствующего механизма. Внутри шкива, но не соприкасаясь с ним, был установлен тонкий диск  $h$  (показанный толстым для ясности рисунка) из твердой резины с впрессованными металлическими сегментами  $ss$ , имеющими металлические выступы  $ee$ , к которым привинчены провода  $tt$ , покрытые тонким слоем резины  $t_1t_1$ . Резиновый диск  $h$  с металлическими сегментами  $ss$  был обработан на токарном станке и вся его поверхность тщательно отполирована для того, чтобы уменьшить трение при вращении в жидкости. В полый шкив было залито масло так, чтобы заполнить все пространство вплоть до отверстия, оставленного во фланце / на передней части шкива, которое тщательно завинтили. Выводы  $tt$  соединили с противоположными слоями батареи конденсаторов так, чтобы разряд происходил в жидкости. При вращении шкива жидкость прижималась к ободу и создавалось значительное давление. Таким простым способом искровой промежуток заполнялся средой, которая вела себя практически как твердое тело и имела свойство мгновенно восстанавливаться после разрыва и, кроме того, циркулировала в искровом промежутке с огромной скоростью. При помощи таких разрядников с жидким прерывателем были получены очень мощные явления, причем эти разрядники были созданы в нескольких вариантах. Было обнаружено, как и ожидалось, что при данной длине провода можно получить более длинную искру, если применять для прерывания воздух. В целом скорость, а следовательно, и давление жидкости, были ограничены трением жидкости в описанном разряднике, но скорости, получаемой на практике, было более чем достаточно для производства разрядов, приемлемых для обычных цепей. В таких случаях металлический шкив  $P$  изнутри имел зубцы и тогда возникало несколько пробоев, количество которых можно было высчитать, исходя из скорости вращения шкива. Эксперименты проводились с использованием жидкостей с разной изолирующей способностью с целью снижения потерь в дуге. Если изолирующую жидкость немного подогреть, потери в дуге снижаются.

Во время опытов с такими разрядами был отмечен интересный момент. Например, было обнаружено, что в то время, как условия опыта были подобраны таким образом, чтобы получать искру наибольшей длины, ток, полученный таким способом, не лучшим образом подходил для получения световых эффектов. Опыт, несомненно, показывает, что в таких случаях предпочтительнее иметь гармоническое колебание потенциала. Неважно — накаляется твердое тело до состояния свечения или энергия передается конденсатором сквозь

стекло, — можно с уверенностью сказать, что гармонично повышающийся и понижающийся потенциал оказывает менее разрушительное действие, и что вакуум поддерживается гораздо дольше. Это можно легко объяснить, если бы было установлено, что процесс, имеющий место в вакуумном сосуде, имеет электролитическую природу.

Блок-схема на рисунке 1, к которой мы уже обращались, демонстрирует наиболее вероятные случаи. От источника подается либо постоянный, либо переменный ток. В лабораторных условиях удобнее всего применять устройство  $G$ , показанное на рисунке, способное давать оба типа тока. В таком случае также предпочтительно использовать многоконтурную машину, так как во многих опытах предпочтительнее и удобнее иметь разнофазные токи. На схеме  $D$  означает цепь постоянного, а  $A$  — переменного тока. Каждая часть имеет по три групповые цепи, каждая из групп имеет линейный выключатель  $ssssss$ . Сперва рассмотрим преобразование постоянного тока; вариант  $Ia$  самый простой. Если эдс генератора достаточна для пробоя сквозь небольшой промежуток, заполненный воздухом, по крайней мере, если последний нагрет или его изолирующие свойства ослаблены иным способом, нетрудно поддерживать колебания довольно экономично, осторожно подстраивая емкость, самоиндукцию и сопротивление в цепи  $L$ , имеющей устройства  $Pm$ . В данном случае магнит  $NS$  может удачно сочетаться с воздушным промежутком. Разрядник  $dd$  с магнитом можно поместить любым способом, как показано сплошной или пунктирной линией. Контур  $Ia$  со всеми клеммами и устройствами должен быть таких размеров, чтобы успешно поддерживать колебания. Но обычно эдс в контуре  $Ia$  устанавливается на уровне 100 В или около, этого недостаточно для пробоя через искровой промежуток, заполненный воздухом. Для решения этой проблемы и повышения эдс в промежутке можно использовать много разных средств. Самое простое, вероятно, включить последовательно с цепью  $L$  большую катушку самоиндукции. Когда дуга устанавливается, как в разряднике на рисунке 2, магнит разрушает ее в самый момент формирования. Тогда через промежуток резко устремляется дополнительный ток пробоя, имеющий высокую эдс, и для тока динамомашины вновь устанавливается цепь низкого сопротивления, что приводит к резкому броску тока от машины при ослаблении или затухании дополнительного тока пробоя. Этот процесс очень быстро повторяется, и таким способом мне удавалось поддерживать колебания при напряжении в промежутке всего лишь 50 В. Но преобразование тока по такой схеме не рекомендуется по причине большой силы тока в промежутке и сильного нагрева электродов; кроме того, получаемая частота очень низка вследствие высокой самоиндукции, обязательно возникающей в цепи. Желательно, во-первых, иметь как можно более высокую эдс для повышения экономии при преобразовании, а во-вторых, высокую частоту. Разность потенциалов при электрических колебаниях, конечно, соответствует силе растяжения пружины при механических колебаниях. Для получения очень быстрых колебаний в цепи с высокой инерцией требуется большая сила растяжения или разность потенциалов. Соответственно, если эдс высока, конденсатор, включенный в цепь, должен иметь небольшую емкость, имеются и другие преимущества. В целях повышения эдс до значения в несколько раз выше того, что мы имеем в обычных бытовых сетях, применяется вращающийся трансформатор  $d$ , как показано на рисунке 1а, либо генератор  $G$  питает отдельную машину, выдающую высокое напряжение. Последний вариант, вообще-то, более предпочтителен, поскольку он более гибкий. Схема подключения к обмотке высокого напряжения похожа на ту, что показана на рисунке 1а за исключением того, что регулируемый конденсатор  $C$  включен в цепь высокого напряжения. Обычно в таких экспериментах применяется катушка самоиндукции, включенная в цепь последовательно. При высоком напряжении тока магнит, работающий в разряднике, имеет небольшую ценность, поскольку нетрудно подобрать такие габариты контура, чтобы поддерживать колебания. Применение постоянной эдс при высокочастотном преобразовании дает некоторые преимущества по сравнению с переменной эдс, так как легче регулировать цепь и контролировать ее работу. Но, к сожалению, существует ограничение по напряжению. Часто выходит из строя обмотка вследствие сильного искрения между секторами якоря или

преобразователя, когда устанавливаются сильные колебания. Кроме того, такие трансформаторы дороги. Практика показала, что лучше всего использовать схему *IIa*. Здесь вращающийся преобразователь  $\delta$  используется для преобразования низковольтного постоянного тока в низкочастотный переменный ток, желательно также низкого напряжения. Напряжение затем повышается стационарным трансформатором  $T$ . Вторичная обмотка этого трансформатора соединена с регулируемым конденсатором  $C$ , который разряжается через промежуток  $dd$ , размещенный любым из указанных способов, через первичную обмотку  $P$  разрядной катушки, причем ток высокого напряжения снимается со вторичной обмотки  $s_f$  этой катушки, как указывалось ранее. Это, без сомнения, наиболее дешевый и удобный способ преобразования постоянного тока.

Три групповые цепи контура  $A$  представляют собой наиболее частые случаи практического применения преобразователей переменного тока. На рисунке *lb* конденсатор  $C$ , обычно большой емкости, включен в цепь  $L$ , содержащую устройства  $//$ ,  $mm$ . Устройства  $mm$  должны иметь высокую самоиндукцию, для того чтобы более или менее уравнивать частоту контура с частотой динамо. В данном случае разрядник  $dd$  должен выдавать в секунду количество разрывов, вдвое превышающее частоту динамо. Следует помнить, что преобразование и получение тока высокого напряжения происходит и тогда, когда разрядник  $dd$ , показанный на схеме, не применяется. Но эффекты, производимые токами, которые резко возрастают, как при пробойном разряде, совершенно отличаются от тех, которые мы имеем, когда сила тока повышается и понижается гармонично. Так, например, в каком-либо случае разрядник  $dd$  может давать число разрывов и соединений, вдвое превышающее частоту динамо, или, иными словами, может наблюдаться то же число базовых колебаний, которое бы имелось при отсутствии искрового промежутка, и даже могут отсутствовать наложенные колебания; и всё же разность потенциалов в разных точках контура, сопротивление и другие явления не будут иметь ничего общего в обоих случаях. Так, при работе с разрядными токами в расчет надо принимать не частоту, как могут думать некоторые исследователи, а скорость изменения за единицу времени. При низких частотах, в определенной мере, можно наблюдать те же явления, что и при высоких, при условии, что скорость изменения достаточно высока. Так, если ток низкой частоты преобразовать до напряжения, скажем, 75 000 В, и высоковольтный ток пропустить через ряд нитей накаливания, важность наличия разреженного газа вокруг нити станет очевидной; или, если низкочастотный ток силой в несколько тысяч ампер пропустить через металлический брусок, можно наблюдать поразительные явления, вызванные сопротивлением, так же, как и в случае с током высокой частоты. Но очевидно, что при низкой частоте невозможно получить такую скорость изменения за единицу времени, как при высокой частоте, а поэтому и эффекты, производимые высокочастотными токами, более рельефны. На всё вышесказанное было необходимо обратить ваше внимание, так как многие из приведенных явлений неосознанно ассоциировались с высокой частотой. Частота сама по себе на самом деле ничего не значит, за исключением того случая, когда речь идет о спокойном гармоническом колебании.

В контуре  $III$  amp; показана конструкция, похожая на контур  $16$ , с той лишь разницей, что токи, разряжающиеся через промежуток  $dd$ , используются для наведения токов во вторичной обмотке  $s$  трансформатора  $T$ . В данном случае вторичная обмотка должна быть соединена с регулируемым конденсатором для настройки ее на первичную обмотку.

Схема *lib* демонстрирует образец преобразования переменного тока высокой частоты, применяется наиболее часто и признана самой удобной. Об этой схеме я говорил в предыдущих лекциях и не стоит на ней задерживаться.

Некоторые из результатов были получены с использованием высокочастотного генератора. Описание этих машин можно найти в моей лекции, прочитанной в Американском институте инженеров, и периодических изданиях того времени, в частности, в журнале «Electrical Engineer» от 18 марта 1891 года.

Теперь я перейду к описанию экспериментов.

## О явлениях, производимых электростатической силой

Первая группа явлений, которые я хочу вам продемонстрировать, — это явления, производимые электростатической силой. Это та самая сила, которая управляет движением атомов, заставляет их сталкиваться и отдавать энергию, которая дает нам тепло и свет, необходимые для жизни, и заставляет их соединяться бесчисленным множеством способов, согласно изобретательным замыслам Природы, и образовывать те удивительные формы, которые мы наблюдаем вокруг; фактически, если наши взгляды на мир верны, это для нас самая важная в природе сила, которую надо изучать. Поскольку термин «электростатическая» подразумевает некое электрическое постоянство, следует заметить, что в этих опытах сила не постоянна, она меняется со скоростью, которую можно назвать умеренной, примерно миллион раз в секунду или около того. Это позволяет мне получать эффекты, невозможные при условии постоянной силы.

Когда два тела изолированы и наэлектризованы, мы говорим, что между ними действует электростатическая сила. Эта сила проявляется в притяжении, отталкивании и напряжении внутри тел и пространстве или окружающей их среде. Напряжение в воздухе или окружающей среде может быть настолько велико, что эта среда может не выдержать, и мы наблюдаем искры или пучки света или так называемые стримеры. Эти потоки образуются в изобилии, когда сила, действующая в воздухе, быстро изменяется. Я продемонстрирую действие электростатической силы в новом опыте, где я задействую индукционную катушку, о которой уже рассказывал. Катушка помещается в ванночке с маслом, находящейся под столом. Два конца провода вторичной обмотки пропущены через две толстые резиновые изолирующие трубки, концы которых выступают над столом. Необходимо хорошо изолировать концы обмотки толстым слоем твердой резины, так как даже сухое дерево не может служить достаточным изолятором, когда работают токи такого высокого напряжения. К одному из выводов катушки я присоединил большой шар из листовой меди, который, в свою очередь, соединен с еще большей медной пластиной, что, как вы увидите, позволит мне произвести опыт при надлежащих условиях. Теперь я включаю катушку и подношу к свободному выводу зажатый в руке металлический предмет, чтобы избежать ожога. Когда я подношу руку на расстояние 8-10 дюймов, с конца провода вторичной обмотки срывается неистовый поток искр, который проходит сквозь резиновую изоляцию. Искрение прекращается, когда металлический предмет в моей руке касается провода. Мою руку при этом пронизывает мощный ток, колеблющийся с частотой в несколько миллионов раз в секунду. Вокруг меня чувствуется действие электростатической силы, а молекулы воздуха и частицы пыли, на которые она воздействует, отчаянно бьют по моему телу. Частицы настолько возбуждены, что если выключить свет, то вы сможете заметить потоки слабого света на некоторых частях моего тела. Когда образуется такой стример, или поток, он дает ощущение покалывания. Если бы потенциал был достаточно высок, а частота довольно низка, кожа, скорее всего, не выдержала бы и лопнула под воздействием огромного напряжения, а кровь устремилась бы наружу тонкими струями, настолько тонкими, что их не различить глазом, подобно маслу, если его поместить на положительный полюс машины Хольца. Прорыв кожи, хотя это и кажется невозможным, на первый взгляд, скорее всего, имел бы место, поскольку ткани под кожей гораздо лучшие проводники. По крайней мере, это кажется правдоподобным, исходя из некоторых наблюдений.

Я могу сделать так, чтобы эти потоки стали видны всем, прикоснувшись металлическим предметом одного из выводов, а другую руку поднеся к металлическому шару, который соединен с другим выводом катушки. По мере приближения руки воздух между ней и шаром, а также вокруг, возбуждается более интенсивно, и вы видите, как потоки света устремляются с моих пальцев и со всей ладони (рисунок 5). Если бы я поднес руку ближе, возникло бы мощное искрение, что могло бы привести к травме. Стримеры не

причиняют боли, за исключением того, что на кончиках пальцев чувствуется жжение. Не стоит путать эти потоки с теми, что образуются от электрофорного генератора, так как во многом те и другие ведут себя по-разному. Я присоединил шар и пластину к одному из выводов для того, чтобы избежать образования видимых потоков на этом выводе, а также чтобы предотвратить искрение на большом расстоянии. Кроме того, с такой конструкцией катушка работает лучше.

Световые потоки, которые вы наблюдали, когда они срывались с моей руки, образуются вследствие огромного потенциала, примерно в 200 000 В, колеблющегося с неравномерными интервалами около миллиона раз в секунду. Вибраций такой амплитуды, но в четыре раза быстрее, для поддержания которых требуется потенциал в 3 000 000 В, было бы достаточно, чтобы мое тело было охвачено пламенем. Но это пламя не сожгло бы меня; как раз наоборот, по всей вероятности, я даже не был бы ранен. И всё же сотой части этой энергии, направленной иначе, вполне достаточно, чтобы убить человека.

Количество энергии, которое таким способом можно передать в тело человека, зависит от частоты и потенциала тока, и установив их на очень высокой отметке, телу можно передать громадное количество энергии, не причинив никакого неудобства, за исключением, возможно, руки, которую пронизывает настоящий ток проводника. Причиной, по которой тело не чувствует боли и ему не причиняется вреда, является то, что везде, если представить себе, что по телу течет ток, он направлен под прямым углом к поверхности; следовательно, тело экспериментатора имеет большое сечение, и плотность крайне мала, за исключением руки, в которой плотность может быть значительной. Но если только небольшую долю этой энергии передать таким образом, что ток, пронизывающий тело, уподобится низкочастотному току, можно получить смертельный удар. Постоянный или низкочастотный переменный ток смертелен, я полагаю, потому, что его распределение в организме неоднородно, он должен делиться на небольшие потоки огромной плотности, при этом некоторые органы смертельно поражаются. В том, что такой процесс имеет место, я нисколько не сомневаюсь, хотя этому нет никаких свидетельств, или экспериментальных подтверждений. Вероятнее всего ранит и убьет постоянный ток, но наиболее болезнен переменный ток низкой частоты.

Мое выражение этих взглядов, которые есть результат долгих экспериментов и наблюдений как постоянного, так и переменного тока, вызвано интересом, проявленным к этому предмету, а также очевидно ошибочными идеями, которые предлагаются на обсуждение в профильных журналах.

Я могу проиллюстрировать действие электростатической силы еще одним поразительным опытом, но прежде я бы хотел обратить ваше внимание на несколько фактов. Я уже говорил о том, что когда среда между двумя противоположно заряженными телами испытывает чрезмерное напряжение, она пробивается и, выражаясь популярным языком, два противоположных электрических заряда соединяются и нейтрализуют друг друга. Этот пробой среды в целом происходит, когда сила, действующая между телами, постоянна или меняется с умеренной скоростью. Если бы скорость этого изменения была достаточно высокой, то такого разрушительного пробоя не произошло бы, неважно, как велика эта сила, ибо в таком случае вся энергия тратилась бы на излучение, конвекцию и механическую и химическую работу. Таким образом, длина искры или наибольшее расстояние, при котором между двумя наэлектризованными телами возникнет искра, тем меньше, чем больше амплитуда изменений или временные промежутки таковых. Но это правило верно только в общем, при сравнении очевидно разных скоростей.

На примере покажу вам различие эффектов, получаемых от быстро меняющейся и постоянной или умеренно меняющейся силы. Здесь у меня две круглые медные пластины *pp* (рисунки 6а и 6б), установленных на изолирующих подставках на столе, и соединенных с вторичной обмоткой катушки, подобной той, что мы применяли в последний раз. Я ставлю пластины на расстоянии 10–12 дюймов друг от друга и включаю катушку. Вы видите, что всё пространство между пластинами, около двух кубических футов, заполнено однородным

светом (рисунок 6а). Этот свет образуют потоки, которые вы наблюдали в предыдущем опыте, но которые сейчас гораздо интенсивнее. Я уже говорил о важности этих потоков для использования в коммерческих устройствах, но еще более они важны для постановки чисто научных экспериментов. Часто они слишком слабы, чтобы их заметить, но они всегда есть, и они потребляют энергию и изменяют действие устройств. При такой интенсивности, как сейчас, они в большом количестве производят озон и, как отметил профессор Крукс, азотистую кислоту. Химическая реакция настолько стремительна, что если катушку, такую, как наша, оставить работать достаточно долго, то атмосфера в комнате станет невыносимой, настолько сильно будет воздействие на глаза и горло. Но если потоки производить в умеренном количестве, они прекрасно освежают воздух и производят, несомненно, благоприятный эффект.

Во время этого эксперимента сила, работающая между пластинами, меняет интенсивность и направление с большой скоростью. Теперь я замедлю скорость изменений за единицу времени. Этого я добиваюсь, понижая частоту разрядов через первичную обмотку катушки, а также уменьшая скорость вибраций во вторичной обмотке. Первое удобно сделать, уменьшив эдс в промежутке в первичном контуре, а второе — приблизив пластины друг к другу на расстояние 3–4 дюйма. При включении катушки вы не наблюдаете ни стримеров, ни света между пластинами, и всё же пространство между ними находится под огромным напряжением. Я еще увеличу напряжение, подняв эдс в первичном контуре, и вскоре вы увидите, что воздух пробит и всё помещение озарено дождем ярких и шумных искр (рисунок 6б). Эти искры можно получить и от постоянной силы; много лет это явление хорошо известно, хотя и получалось от другого устройства. Описывая эти два феномена, такие разные на вид, я намеренно употреблял понятие «силы», действующей между пластинами. Если я скажу, что между пластинами действовала «переменная эдс», то это вполне будет соответствовать современным взглядам на предмет. Этот термин вполне верен и применим во всех случаях, когда есть свидетельства того, что хотя бы возможна взаимозависимость электрических состояний пластин или электрического действия окружающей среды. Но если пластины раздвинуть бесконечно далеко, или на определенное большое расстояние, то вероятность и необходимость взаимозависимости исчезнут. Я предпочитаю термин «электростатическая сила» и считаю, что такая сила действует вокруг каждой пластины или наэлектризованного изолированного тела в целом. При использовании этого термина возникает неудобство, так как он подразумевает статическое электрическое состояние; но правильная терминология со временем расставит всё по местам.

Теперь я вернусь к эксперименту, на который уже ссылался и при помощи которого я намереваюсь продемонстрировать один поразительный эффект, производимый меняющейся электростатической силой. К концу провода / (рисунок 7), соединенного с выводом вторичной обмотки катушки индуктивности, я присоединяю вакуумную лампу *Б*. Внутри лампы находится тонкая углеродная нить *f*, соединенная с платиновым проводом *т*, запаянным в стекло и выходящим наружу, где он соединен с проводом /. Воздух можно откачать до любой степени при помощи обычных устройств. Совсем недавно вы наблюд ал и пробой воздуха между двумя заряженными медными пластинами. Вы знаете, что стеклянная пластина, или пластина из другого изолирующего материала, пробивается подобным же образом. Следовательно, если бы я обернул лампу листом металла или поместил металлическую пластину, соединенную с другим выводом катушки, рядом с лампой, вы были бы готовы к тому, что сейчас стекло будет пробито при условии достаточного напряжения. Даже если бы покрытие не было соединено с другим выводом катушки, но присоединилось к изолированной пластине, если вы следили за происходившим ранее, вы бы ожидали, что стекло треснет.

Но вы будете удивлены, когда заметите, что под действием переменной электростатической силы стекло пробивается, когда все остальные предметы удаляются от лампы. На самом деле, все окружающие предметы можно удалить от лампы на бесконечно

огромное расстояние, при этом ни капли не повлияв на результат опыта. Когда включается катушка, стекло неизменно трескается у основания или в другом узком месте, и вакуум быстро исчезает. Такой разрушительный пробой не происходит при постоянной силе, даже если она во много раз сильнее. Разрушение происходит вследствие возбуждения молекул газа внутри лампы и снаружи. Это возбуждение, которое гораздо сильнее в узком месте, приводит к нагреву и трещине. Этого разлома, однако, не случится, если среда, наполняющая лампу, и среда снаружи будут совершенно однородны. Пробой происходит гораздо быстрее, если верхняя часть лампы вытягивается до толщины волокна. В лампах, работающих от таких катушек, следует избегать таких узких, заостренных каналов.

Когда проводник помещен в воздух или подобную изолирующую среду, состоящую или содержащую мелкие, свободно движущиеся частицы, способные электризоваться, и когда электризация тела подвергается быстрому изменению, — что соответствует тому, что электростатическая сила, действующая вокруг тела меняет интенсивность, — мелкие частицы притягиваются и отталкиваются и их сильные удары могут вызвать механическое движение тела. На явления такого рода стоит обратить внимание, так как они не наблюдались ранее, когда применялась обычная аппаратура. Если очень легкий шарик из проводника подвесить на крайне тонком проводе и зарядить до любого постоянного потенциала, пусть и очень высокого, шарик останется в покое. Даже если потенциал будет быстро меняться, при условии, что небольшие частицы материи, молекулы и атомы, равномерно распределены, это не приведет к движению шарика. Но если одну сторону шарика покрыть толстым слоем изоляции, удары частиц заставят его двигаться по неровной траектории (рисунок 8а). Таким же образом крыльчатка, изготовленная из тонкого металла и частично покрытая слоем изоляции, как описывалось ранее, соединенная с выводом катушки, начинает вращаться.

Все эти явления, которые вы наблюдали, а также те, которые будут продемонстрированы позже, имеют место благодаря присутствию такой среды, как воздух, и были бы невозможны в непрерывной среде. Действие воздуха еще лучше можно проиллюстрировать следующим опытом. Я беру стеклянную трубку  $t$  (рисунок 9) диаметром, примерно, 1 дюйм, в нижнем конце которой находится запаянный в стекло платиновый провод, к которому присоединена тонкая нить накаливания  $f$ . Я соединяю провод с выводом катушки и включаю ее. Платиновый провод теперь электризуется попеременно положительно и отрицательно, и сам провод и воздух в трубке быстро нагреваются от ударов частиц, которые могут быть настолько сильными, что нить быстро накаляется.

Но если налить в трубку масло и как только оно покроет нить, всё действие моментально прекращается, и признаков нагрева нет. Причина тому — масло, практически непрерывная среда. Смещение в такой среде при таких частотах, судя по всему, несравнимо меньше, чем в воздухе, поэтому работа, происходящая в ней, незначительна. Но масло поведет себя совсем не так при частоте во много раз выше, поскольку даже если смещение и меньше, а частота намного выше, работа, производимая в масле, будет соответственно больше.

Электростатические притяжения и отталкивания тел измеримых габаритов из всех проявлений этой силы — первые отмеченные так называемые электрические явления. Но хотя мы знакомы с ними уже несколько столетий, точная природа механизма этих явлений нам до сих пор неизвестна, и не была удовлетворительным образом объяснена. Что же это за механизм? Мы не можем не удивляться, когда видим два магнита, притягивающие и отталкивающие друг друга с силой в несколько сотен фунтов, а между тем между ними ничего нет. В наших промышленных динамо-машинах установлены магниты, способные удерживать в воздухе предметы весом в несколько тонн. Но что такое даже эти силы, действующие между магнитами, по сравнению с гигантскими силами притяжения и отталкивания, производимыми электростатической силой, интенсивность которой не имеет

предела. Во время разрядов молнии предметы часто заряжаются до невероятного потенциала, такого, что их отбрасывает в сторону с непостижимой силой, разрывает на части или разносит на куски. И всё же даже эти эффекты не сравнятся с притяжениями и отталкиваниями, которые существуют между молекулами и атомами и которых достаточно, чтобы направлять их движение со скоростью несколько километров в секунду, так что под их яростными ударами предметы сильно раскаляются и испаряются. Особенно интересно для мыслителя, занятого исследованием природы этих сил, отметить, что в то время как действие между молекулами и атомами происходит, кажется, при любых условиях, притяжение и отталкивание крупных тел подразумевает наличие среды, обладающей изолирующими свойствами. Так, если воздух, разреженный или нагретый, стал более или менее проводником, то это взаимодействие между двумя заряженными телами практически прекращается, в то время как взаимодействие между атомами продолжает проявляться.

Тому примером может служить эксперимент, который вскрыл и другие интересные особенности. Некоторое время назад я показывал, что нить накаливания или провод, помещенные в лампу и соединенные с выводом вторичной обмотки катушки высокого напряжения, начинают вращаться, причем верхний конец нити описывает круг. Эта вибрация была очень энергичной, когда воздух в колбе был под обычным давлением и становилась менее энергичной, когда его сильно сжимали. Она прекращалась, когда воздух откачивали до такой степени, что он становился хорошим проводником. В это время я обнаружил, что колебаний не происходило, когда в колбе был высокий вакуум. Но я предположил, что вибрация, которую я приписывал электростатическому действию между стенками колбы и нитью, должно иметь место и в высоком вакууме. Для проверки этого предположения в более благоприятных условиях была сконструирована лампа (рисунок 10). Она состояла из колбы *B*, в основание которой был запаян платиновый провод, несущий нить накаливания *f*. В нижнюю часть колбы была впаяна трубка *l*, окружающая нить. Воздух максимально откачан.

Эта лампа подтвердила мое предположение, так как нить начала вращаться при подаче тока и раскалилась. Была отмечена еще одна интересная особенность, имеющая отношение к предыдущим высказываниям, а именно: когда нить была раскаленной некоторое время, узкая трубка и пространство внутри нее нагрелись и газ внутри стал проводником, электростатическое притяжение между стеклом и нитью прекратилось или сильно ослабло, и нить остановилась. После остановки она светилась более интенсивно. Это, видимо, произошло потому, что нить заняла положение в центре трубки, где молекулярная бомбардировка наиболее сильна, а частично вследствие того, что отдельные удары были более сильными, и что энергия совсем не преобразовывалась в механическое движение. Поэтому, согласно общепринятым взглядам, в данном эксперименте накаливание следует отнести к ударам частиц, молекул и атомов в нагретом пространстве, а эти частицы, следовательно, должны быть независимыми носителями зарядов, помещенных в изолирующую среду; и всё же притяжение между стеклом и нитью отсутствует, так как пространство в трубке, в целом, — проводник.

В этой связи интересно отметить, хотя притяжение между двумя заряженными телами может прекратиться вследствие уменьшения изолирующих свойств среды, в которую их поместили, отталкивание между этими телами всё же может наблюдаться. Это можно логично объяснить. Когда два тела помещают на некоем расстоянии друг от друга в слабо проводящую среду, такую, как теплый или разреженный воздух, и резко электризуют, передавая им противоположные заряды, эти заряды более или менее компенсируют друг друга, протекая сквозь воздух. Но если телам переданы одинаковые заряды, то для такой утечки нет возможности, поэтому отталкивание, наблюдаемое в таких случаях, сильнее, чем притяжение. Отталкивание в газообразной среде, однако, как показал профессор Крукс, усиливается молекулярной бомбардировкой.

## **Ток или электродинамические явления**

До сих пор мои выступления были посвящены эффектам, вызванным меняющейся электростатической силой в изолирующей среде, такой, как воздух. Когда такая сила действует в крупном проводнике, она вызывает в нем или на его поверхности электрические деформации и порождает электрический ток, а он приводит к иного рода явлениям, некоторые из которых я сейчас попытаюсь продемонстрировать. При представлении этой второй группы явлений, я обращусь к тем из них, которые можно показать, не пользуясь обратным контуром, в надежде заинтересовать вас новизной.

Сложилась давняя традиция, по причине недостатка опыта работы с колеблющимися токами, по которой считалось, что электрический ток — это нечто, циркулирующее в замкнутом проводящем контуре. Поразительным открытием стал тот факт, что ток может течь в контуре, даже если он разомкнут, и еще более удивительное, что иногда даже легче создать электрический ток в таких условиях, чем в замкнутой цепи. Но эта старая идея постепенно отстывает, даже среди практиков, и вскоре будет совсем забыта.

Если я соединю металлическую пластину  $P$  (рисунок 11) с одним из выводов  $T$  катушки индуктивности, даже если пластина хорошо изолирована, по проводу течет ток, когда катушка включается. Во-первых, я хотел бы привести доказательства того, что по соединительному проводу течет ток. Самым очевидным доказательством будет, если мы включим в цепь между пластиной и выводом катушки тонкий провод  $w$  из платины или нейзильбера и доведем его до накала или расплавим. Для этого требуется довольно большая пластина, либо ток высокого потенциала и частоты. Можно сделать и по-другому: взять катушку  $C$  из тонкого изолированного провода (рисунок 11) и включить ее последовательно между пластиной и выводом. Когда я соединяю концы этой катушки с пластиной  $P$ , а другой с выводом  $T$  катушки индуктивности и включаю ее, через катушку  $C$  течет ток и его существование можно продемонстрировать разными способами. Например, я вставляю в катушку железный сердечник  $z$ . Так как ток высокой частоты, хоть и небольшой силы, вскоре сердечник ощутимо нагревается, так как наблюдается запаздывание фазы, и при такой высокой частоте потери тока значительны. Можно взять сердечник определенного размера, составной или нет, неважно, но обычный железный провод толщиной  $1/16$  или  $1/8$  дюйма вполне сгодится. Во время работы катушки ток пронизывает включенную в цепь вторую катушку и нескольких мгновений достаточно для того, чтобы размягчить воск  $5$  и сделать так, чтобы картонная прокладка  $p$  выпала. Но при помощи той аппаратуры, что есть у меня здесь, можно провести более интересную демонстрацию. У меня имеется вторичная обмотка  $s$  из грубого провода (рисунок 12), намотанная на катушку, подобную первой. В предыдущем опыте сила тока в катушке  $C$  (рисунок 11), была мала, но вследствие большого числа витков тем не менее достигался эффект сильного нагрева. Если бы я пропустил такой ток через проводник, чтобы продемонстрировать его нагрев, желаемого эффекта можно было бы и не достигнуть. Но с такой катушкой, имеющей подобную вторичную обмотку, я могу преобразовывать слабенький ток высокого напряжения, который проходит через первичную обмотку  $P$ , в сильный вторичный ток низкого напряжения, и этот ток сделает то, что я от него хочу. В стеклянную трубку  $t$  (рисунок 12) я поместил витой платиновый провод  $w$  для того, чтобы защитить его. С обоих концов трубки в нее запаяны выводы толстого провода, к которым присоединены концы платинового провода. Я соединяю выводы вторичной обмотки с этими выводами и включаю первичную обмотку  $p$  между изолированной пластиной  $P$  и выводом  $T_f$  катушки индуктивности, как и прежде. Когда катушка включается, платиновый провод моментально накаляется и может расплавиться, даже если он толстый.

Вместо платинового провода теперь беру обычную 50-вольтовую лампу в 16 свечей. Когда я включаю катушку, нить накаливания лампы моментально нагревается. Однако нет необходимости использовать изолированную пластину, так как лампа  $l$  (рисунок 13) накаляется, даже если пластина  $P$  отсоединена. Вторичную обмотку можно соединить с первичной, как показано пунктиром на рисунке 13, для того чтобы исключить электростатическую индукцию или другим образом изменить работу устройства.

*Рис. 13*

Здесь можно обратить внимание на несколько интересных моментов касательно лампы. Во-первых, я отсоединяю один из выводов лампы от вторичной обмотки 5. Во время работы катушки индуктивности заметно свечение, наполняющее всю лампу. Это свечение возникает благодаря электростатической индукции. Оно усиливается, если лампу взять в руку, добавив таким образом емкость человеческого тела ко вторичной цепи. Вторичная обмотка по своему действию приравнивается к металлическому кожуху, помещенному рядом с первичной обмоткой. Если бы вторичная обмотка, или ее эквивалент — кожух, размещались симметрично по отношению к первичной, то электростатическая индукция была бы равна нулю при обычных условиях, то есть, когда используется первичная обратная цепь, так как обе половины нейтрализуют действие друг друга. Вторичная обмотка фактически расположена симметрично по отношению к первичной, но действие обеих половин последней, когда только один из ее выводов соединен с катушкой индуктивности, неравномерно; поэтому имеет место электростатическая индукция, а отсюда свечение в лампе. Я могу уравновесить действие обеих половин первичной обмотки, присоединив другой, свободный вывод ее к изолированной пластине, как в предыдущем опыте. При соединении пластины свечение пропадает, если присоединить пластину поменьше, то свечение пропадает не полностью и способствует яркости накала нити, когда вторичная обмотка замкнута, нагревая воздух в колбе.

Для демонстрации еще одной интересной особенности я использовал две катушки, настроенные особым способом. Сначала я соединяю оба вывода лампы со вторичной обмоткой, когда один конец обмотки соединен с выводом  $T$  катушки индуктивности, а другой — с изолированной пластиной  $P$ , как и ранее. Когда подается ток, лампа светится ярко, как показано на рисунке 146, где  $C$  — это обмотка из тонкого провода,  $as$ - обмотка из грубого провода, намотанная на нее. Если отсоединить изолированную пластину  $P$ , и один из концов провода  $a$  остается изолированным, нить гаснет или светится не так ярко (рисунок 14а). Присоединяя пластину  $P$  и повышая частоту тока, я гашу нить, или могу сделать так, чтобы она была едва красной (рисунок 156). Отсоединю пластину еще раз. Можно предположить, что при отсоединении пластины сила тока в первичной обмотке уменьшится и, следовательно, эдс во вторичной обмотке  $s$  упадет, уменьшив накал нити. Так, вероятно, и результата можно добиться, настроив катушки, равно как и изменив частоту и потенциал тока. Но, возможно, еще более интересно то, что яркость лампы возрастает, когда пластина отсоединена (рисунок 15а). В данном случае вся энергия, которую получает первичная обмотка, передается в лампу, как заряд батареи океанскому кабелю, но большая ее часть восстанавливается вторичной обмоткой и служит накалу лампы. Ток, пронизывающий первичную обмотку, сильнее всего на конце  $b$ , соединенном с выводом  $T_1$  катушки индуктивности и сила его уменьшается по мере приближения к концу  $a$ . Но динамическая индукция во вторичной обмотке 5 сейчас сильнее, чем раньше, когда пластина была соединена с первичной обмоткой. Такие результаты могут породиться несколькими причинами. Например, при присоединении пластины  $P$  катушка  $C$  может отреагировать, уменьшив потенциал на выводе  $T_1$  катушки индуктивности, а следовательно, и ослабив ток в первичной обмотке катушки  $C$ . *Шли*, отсоединив пластину, мы можем уменьшить емкость первичной обмотки таким образом, что сила тока падает, хотя потенциал на выводе  $T_1$  катушки индуктивности может оставаться неизменным или даже вырасти. Либо такой результат мог быть достигнут благодаря изменению фазы тока в первичной и вторичной обмотках и соответствующей реакции. Но основополагающим фактором всё же является соотношение между самоиндукцией и емкостью катушки  $C$  и пластины  $P$  и частотой тока. Повышенная яркость нити на рисунке 15а, однако, частично объясняется нагревом разреженного газа в лампе, вызванном электростатической индукцией, как указывалось ранее, которая увеличивается при отсоединении пластины.

Я могу представить вашему вниманию еще один интересный момент. Когда пластина отсоединена от вторичной обмотки и конец ее свободен, мы можем поднести к нему небольшой предмет и заметим слабое искрение, что указывает на то, что в данном случае электростатическая индукция мала. Но если вторичная обмотка замкнута на себя или через лампу, нить горит ярко, и вторичная обмотка дает обильное искрение. Электростатическая индукция в данном случае гораздо сильнее, так как замкнутая вторичная обмотка подразумевает более сильный ток через первичную обмотку, а именно через ту ее часть, что соединена с катушкой индуктивности. Если теперь взять лампу в руку, то емкость вторичной обмотки в соотношении с первичной дополнится емкостью тела экспериментатора и яркость нити увеличится, причем накал увеличится частично вследствие более сильного тока в нити, а частично вследствие молекулярной бомбардировки разреженного газа в колбе.

Предыдущие опыты готовят нас к следующим интересным результатам, полученным в ходе дальнейших изысканий. Поскольку я могу добиться появления тока в изолированном проводе, просто соединив один его конец с источником электрической энергии, и с помощью этого тока могу индуцировать другой ток, намагнитить железный сердечник, или, выражаясь короче, проводить все действия так, будто использую обратную цепь, очевидно, могу и завести мотор при помощи только одного провода. В прошлый раз я описал вариант простого мотора, состоящего из одной обмотки, железного сердечника и диска. На рисунке 16 показана модифицированная модель мотора переменного тока, работающего от одного питающего провода, а также несколько вариантов цепей для управления определенным классом моторов, чье действие основано на разнофазных токах. В связи с настоящим положением дел в этой области представляется возможным лишь вкратце описать их. Схема на рисунке 16 II изображает первичную обмотку  $P$ , соединенную с питающей линией  $L$ , соединенную с высоковольтным трансформатором  $T_1$ . С первичной обмоткой индуктивно соединена вторичная обмотка  $s$  из проволоки, соединенная параллельно с обмоткой  $C$ . Токи, индуцированные во вторичной обмотке, электризуют железный сердечник  $i$ , который предпочтительно, но не обязательно, имеет составную конструкцию, и вращают металлический диск  $d$ . Такой мотор  $M_2$  как показан на рисунке 16 II, называется «двигателем магнитного запаздывания», но такое наименование может быть оспорено теми, кто приписывает вращение диска действию вихревых токов, циркулирующих по коротким цепям, когда сердечник  $i$  окончательно разделен. Для того чтобы мотор эффективно работал по указанной схеме, надо, чтобы токи не имели слишком высокой частоты, не более четырех или пяти тысяч, хотя вращение достигается даже при десяти тысячах в секунду или более.

На рисунке 16 I показан мотор  $M_1$  с двумя цепями питания  $A$  и  $B$ . Цепь  $A$  соединена с питающей линией  $L$ , последовательно с ней включена первичная обмотка  $P$ , свободный конец которой может быть соединен с изолированной пластиной  $P_1$ , возможность такого соединения показана пунктиром. Другая цепь мотора  $B$  соединена со вторичной обмоткой  $s$ , индуктивно соединенной с первичной обмоткой  $P$ . Когда на вывод трансформатора  $T$  подается переменный ток, токи пронизывают открытую линию  $L$ , а также цепь  $A$  и первичную обмотку  $P$ . Токи в последней индуцируют вторичные токи в цепи  $S$ , которые проходят через электризующую обмотку  $B$  мотора. Токи во вторичной обмотке  $S$  и в первичной обмотке  $P$  различаются по фазе на 90 градусов или около того, и способны вращать ротор, индуктивно соединенный с цепями  $A$  и  $B$ .

На рисунке 16 III показан подобный мотор  $M_3$  с цепями возбуждения  $A_1$  и  $B_1$ . Первичная обмотка  $P$  соединена одним концом с питающим проводом  $L$  и имеет вторичную обмотку  $S$ , которую желательно намотать так, чтобы получить умеренную эдс, и к которой присоединены обе возбуждающие цепи мотора: одна напрямую к концам вторичной обмотки, а вторая — через конденсатор, действие которого позволяет добиться сдвига по фазе токов в цепях  $A_1$  и  $B_1$ .

Рисунок 16 IV — еще одна схема. Здесь две первичные обмотки  $P$  и  $P_1$  соединены с питающим проводом, одна через конденсатор  $C$  небольшой емкости, а вторая — напрямую. Первичные обмотки имеют вторичные  $S_1$  и  $S_2$ , последовательно соединенные с возбуждающими цепями  $A_2$  и  $B$ , и мотором  $M_3$ , причем конденсатор  $C$  вновь служит для создания необходимого сдвига по фазе токов в цепях мотора. Поскольку такие фазовые моторы уже широко известны в данной отрасли, здесь они были показаны схематически. Эксплуатация мотора подобным образом не представляет никакой трудности; и хотя такие эксперименты до сегодняшнего дня представляли исключительно научный интерес, в скором времени они будут ставиться с вполне практическими целями.

Мне кажется, будет не лишним, если я приведу несколько своих мыслей касательно работы электрических устройств от одного провода. Представляется очевидным, что при использовании высокочастотных токов заземление — по крайней мере, когда эдс токов высока, — лучше, чем обратная цепь. С этим можно поспорить, когда используются низкочастотные и постоянные токи по причине их разрушительного химического воздействия, а также помех, которые они создают для окружающих электроприборов; но в случае с высокочастотными токами эти факторы практически отсутствуют. И всё же, даже заземление становится излишним, когда эдс достаточно высока, так как вскоре будет достигнут рубеж, когда ток можно будет более экономично передавать по разомкнутой, а не замкнутой цепи.

Какой бы отдаленной ни казалась возможность промышленного использования такого способа передачи тому, кто не опытен в экспериментах такого рода, она не покажется таковой тому, кто посвятил некоторое время исследованиям в данном направлении. И в самом деле, я не понимаю, почему такая схема может показаться непрактичной. Не вижу также, зачем обязательно надо применять токи высокой частоты, ибо если достичь потенциала в 30 000 В, передача через один провод может осуществляться и при низкой частоте, мною проводились опыты в этом направлении.

Когда частота очень высока, в лабораторных условиях оказалось довольно легко регулировать эффекты так, как показано на рисунке 17. Здесь мы имеем две первичные обмотки  $P$  и  $P_1$ , каждая из которых одним концом соединена с проводом заземления  $L$ , а другим — с пластинами конденсатора  $C$  и  $C_1$  соответственно. Рядом с ними помещаются другие пластины конденсатора  $C_2$  и  $C_3$ , причем первая соединена с проводом  $L$ , а вторая с большой изолированной пластиной  $P_2$ . На первичные обмотки намотаны вторичные из проволоки  $S$  и  $S_1$  соединенные с устройствами  $d$  и  $l$  соответственно. При изменении расстояния между пластинами  $C$  и  $C_1$  и  $C_2$  и  $C_3$  меняется сила

#### *Рис. 18*

тока на обмотках  $S$  и  $S_2$ . Интересна большая чувствительность устройства, при малейшем изменении расстояния пластин конденсатора сила тока в обмотках значительно меняется. Чувствительность можно довести до крайнего значения, так настроив частоту, что сама первичная обмотка, когда ничего не соединено с ее свободным концом, удовлетворяет, совместно с замкнутой вторичной, условиям резонанса. При таких условиях даже небольшое изменение емкости свободного вывода приводит к большим изменениям. Например, мне удалось так настроить устройство, что простое приближение человека к катушкам производит значительное изменение яркости накала ламп, соединенных со вторичной обмоткой. Такие наблюдения и опыты в настоящее время, конечно, имеют чисто научный интерес, но вскоре они смогут иметь и практическую пользу.

Очень высокие частоты, конечно, непрактичны для использования в моторах, так как требуют применения железного сердечника. Но можно использовать броски низкой частоты и так добиться преимущества применения высокочастотных токов, когда железный сердечник не перестанет чувствовать изменения и это не повлечет значительных затрат энергии в нем. Я обнаружил, что вполне практично при помощи таких низкочастотных

бросковых разрядов эксплуатировать моторы переменного тока. Группа таких моторов была разработана мной несколько лет назад, они содержат замкнутые вторичные цепи и вращаются довольно резво, когда разряды направлены через возбуждающие катушки. Одной из причин, почему такой мотор хорошо работает при таких разрядах, является сдвиг по фазе между первичными и вторичными контурами в 90 градусов, чего не бывает при гармонических колебаниях низкочастотных токов. Мне будет небезынтересно продемонстрировать опыт с простым мотором такого типа, поскольку, по всеобщему убеждению, разряды не годятся для этих целей. Мотор показан на рисунке 18. Он состоит из железного сердечника  $i$ , имеющего пазы, в которые жестко вставлены медные шайбы  $CC$ . На небольшом расстоянии от сердечника расположен свободно вращающийся диск  $D$ . Сердечник имеет первичную возбуждающую обмотку  $C_1$  концы которой  $a$  и  $b$  соединены с выводами вторичной обмотки  $S$  обычного трансформатора, где первичная обмотка  $P$  соединена с генератором  $G$  переменного тока низкой или умеренно низкой частоты. Выводы вторичной обмотки  $S$  соединены с конденсатором  $C$ , который разряжается через искровой промежуток  $dd$ , который в свою очередь можно включить последовательно или параллельно с обмоткой  $C_1$ . Если настройки произведены верно, диск  $D$  вращается со значительным усилием и сердечник  $i$  не сильно нагревается. Если ток получается от генератора высокой частоты, напротив, сердечник вскоре сильно нагревается, а диск не развивает достаточного усилия. Для правильного проведения опыта следует удостовериться в том, что диск  $D$  не вращается до тех пор, пока не произойдет разряд в промежутке  $dd$ . Желательно применять большой железный сердечник и конденсатор большой емкости, для того чтобы ослабить наложенные колебания или вовсе избавиться от них. Я обнаружил, что при соблюдении определенных элементарных правил очень практичным является использование последовательных или параллельных моторов постоянного тока, где применяются такие разряды, и это можно делать, используя или не используя обратный провод.

## Явления сопротивления

Среди явлений, вызванных электрическим током, возможно, наиболее интересными являются те, что порождены сопротивлением проводника токами, меняющимися с высокой скоростью. В моей первой лекции, прочитанной в Американском институте инженеров, я описал несколько поразительных явлений такого характера. Так, я показал, что, когда такие токи или разряды пропускаются через толстый металлический брусок, на его поверхности могут возникнуть точки на расстоянии лишь нескольких дюймов друг от друга, между которыми имеется достаточная разница потенциалов, необходимая для поддержания яркого накала обычной нити лампы. Я также описывал любопытное поведение разреженного газа, окружающего проводник, вследствие таких внезапных бросков тока. Эти явления с той поры были изучены более тщательно, и несколько опытов было бы полезно привести сейчас.

На рисунке 19а  $B$  и  $B_f$  — толстые медные бруски, нижние концы которых соединены с пластинами конденсатора  $C_1$  и  $C_2$  соответственно, пластины конденсатора в свою очередь соединены с выводами вторичной обмотки  $S$  трансформатора высокого напряжения, первичная обмотка которого  $P$  запитана от низковольтной динамо-машины  $G$  или обычной сети. Конденсатор, как обычно, разряжается через промежуток  $dd$ . Установив быстрые колебания, мне удалось провести следующий любопытный эксперимент. Бруски  $B$  и  $B_f$  сверху соединялись низковольтной лампой немного ниже помещалась на клеммах  $CC$  еще одна 50-вольтовая лампа  $L_2$ ; а еще ниже — 100-вольтовая лампа  $L_1$ ; и, наконец, на некотором расстоянии ниже вакуумная трубка  $T$ . После тщательной выверки положения всех устройств стало возможным поддерживать в них соответствующий уровень свечения. И всё же они все были параллельно соединены многочисленными дугами с медными брусками и требовали

разного напряжения. Этот эксперимент требует, конечно, тщательной настройки, но после этого его вполне легко поставить.

На рисунках 19б и 19в показаны два других опыта, не требующие столь тщательной настройки параметров. На рисунке 19б показаны две лампы  $I_1$  и  $I_2$ , первая — на 100 вольт, а вторая — на 50, размещенные на определенном расстоянии одна над другой, причем 100-вольтовая лампа располагается ниже. Когда в искровом промежутке формируется дуга и через бруски  $BB_1$  подаются броски тока, 50-вольтовая лампа, как правило, горит с максимальной яркостью, или, по крайней мере, этого нетрудно добиться, в то время как 100-вольтовая остается темной (рисунок 19б). Теперь можно соединить бруски  $BB_1$  толстым поперечным бруском  $B_2$  сверху и становится возможным поддерживать полный накал в 100-вольтовой лампе, а 50-вольтовая остается темной (рисунок 19в). Результаты не стоит приписывать полностью частоте, но скорее скорости изменения колебаний, которая может быть высокой даже при низкой частоте. Таким образом, можно получить много интересных результатов, в особенности для тех, кто привык работать только с постоянным током, и эти результаты дают ценные ключи к разгадке многих секретов электрического тока.

В предыдущих опытах я имел возможность показать некоторые световые явления и теперь было бы правильным исследовать их детально; но чтобы сделать эти исследования наиболее полными, я полагаю необходимым вначале высказаться относительно электрического резонанса, поскольку это явление всегда наблюдается во время таких опытов.

## Об электрическом резонансе

Эффекты, порождаемые резонансом, всё чаще замечаются инженерами и приобретают всё большую важность при работе с любой аппаратурой переменного тока. Следовательно, надо сделать несколько замечаний по поводу этих эффектов. Ясно, если нам удастся практически использовать эффекты электрического резонанса при эксплуатации электроприборов, обратный провод, само собой, станет бесполезным, так как электрические колебания можно передавать при помощи одного провода так же хорошо, как и при помощи двух. Значит, сначала надо ответить на вопрос: «А можно ли производить такие эффекты?» Теория и эксперименты показывают, что в природе это невозможно, так как по мере возрастания колебаний потери в колеблющемся теле и окружающей его среде быстро растут и обязательно останавливают колебания, которые иначе могли бы вырасти бесконечно. Это большая удача, что резонанс в чистом виде получить нельзя, ибо, если бы это было возможно, трудно было бы предугадать, какие опасности поджидали бы бедного экспериментатора. Но до определенной степени резонанс получить возможно, причем степень его проявлений ограничена несовершенством проводника, недостаточной эластичностью среды, или, говоря в общем, фрикционными потерями. Чем меньше эти потери, тем более впечатляют его проявления. То же самое происходит и при механических колебаниях. Толстый металлический брусок может колебаться под воздействием падающих на него с определенным интервалом капель воды; а в случае со стеклом, которое еще более эластично, проявления резонанса еще более значительны, ведь стеклянный бокал можно разбить, если пропеть в него ноту определенного тона. Электрический резонанс получается тем сильнее, чем меньше сопротивление участка цепи и чем лучше изолирующие свойства диэлектрика. При разрядах лейденской банки через толстый многожильный провод с тонкими жилами эти требования удовлетворены наилучшим образом, и резонанс проявляется наиболее выпукло. Так не происходит, однако, в динамо-машинах, цепях трансформатора или в целом в коммерческих устройствах, где наличие сердечника затрудняет проявление резонанса или делает его вовсе невозможным. Что же касается лейденских банок, при помощи которых эффекты резонанса часто демонстрируются, я бы сказал, что они часто приписываются действию резонанса, а не являются его следствием, ибо в этом случае очень легко допустить ошибку. Это убедительно можно проиллюстрировать следующим опытом. Возьмем, к примеру, две изолированные металлические пластины или два шара  $A$  и  $B$ ,

расположим на определенном небольшом расстоянии друг от друга и зарядим их при помощи фрикционной машины или электрофорного генератора до такого потенциала, что даже небольшое его изменение вызывает пробой воздушной подушки или изоляции между телами. Этого легко добиться путем предварительных попыток. Теперь, если еще одну пластину, — закрепленную на изолирующей рукоятке и соединенную с одним из выводов вторичной обмотки катушки индуктивности высокого напряжения, которую питает генератор (желательно высокочастотный), — поднести к одному из заряженных тел  $A$  или  $B$ , причем ближе к одному из них, между ними обязательно произойдет разряд; по крайней мере, он произойдет, если потенциал пластины достаточно высок. Это явление легко объясняется тем фактом, что поднесенная пластина индуктивно воздействует на заряженные предметы  $A$  и  $B$ , вызывая искру между ними. Когда возникает эта искра, заряды, которые были ранее переданы предметам, должны теряться, так как между ними устанавливается связь через сформированную дугу. Итак, эта дуга образуется вне зависимости от того, есть резонанс или нет. Но даже если искра не образуется, всё же между предметами имеет место эдс, когда пластину подносят; следовательно, приближение пластины, даже если фактически и не вызовет, то, во всяком случае, будет иметь тенденцию к пробое промежутка вследствие индуктивного воздействия. Вместо пластин или шаров  $A$  и  $B$  мы можем с таким же успехом взять пластины лейденской банки, а вместо машины — желательно, чтобы это был высокочастотный генератор, так как он лучше подходит для проведения опыта или для его обоснования, — мы можем взять еще одну лейденскую банку или несколько. Когда такие банки разряжаются через цепь низкого сопротивления, ее пронизывают токи очень высокой частоты. Теперь внешнюю пластину можно соединить с одной из пластин второй банки, и когда ее подносят ближе к первой банке, заряженной перед этим до высокого потенциала при помощи электрофорного генератора, результат получается тот же, что и ранее, и первая банка разряжается через узкий промежуток, когда на вторую банку оказывается воздействие. Но обе банки и не требуется приближать на расстояние, более близкое, чем самая низкая басовая нота по отношению к пisku комара, так как в промежутке уже возникнут небольшие искры или, по крайней мере, воздух в промежутке будет значительно напряжен вследствие возникшей благодаря индукции эдс в тот момент, когда одна из банок начинает разряжаться. Может быть допущена и другая ошибка подобного свойства. Если цепи двух банок установлены параллельно и близко друг от друга, и экспериментатор разряжает одну из них при помощи второй, а после добавления к одной из цепей витого провода опыт не удастся, вывод о том, что цепи не настроены, будет далек от истины. Так как эти контуры работают, как конденсатор, а добавление витков провода эквивалентно замыканию его в месте включения витков небольшим конденсатором, а он в свою очередь, не дает произойти пробое, уменьшая эдс, действующую в искровом промежутке. Можно привести и многие другие замечания, но, дабы не углубляться в обсуждение, далекое от нашего предмета, с вашего позволения, не прозвучат; эти же сделаны лишь для того, чтобы предостеречь ничего не подозревающего исследователя от того, чтобы у него не сформировалось неверное мнение о его способностях, когда он увидит, что каждый его опыт удачен; эти замечания ни в коем случае не претендуют на новизну в глазах опытных экспериментаторов.

Для получения надежных результатов при наблюдении резонанса желательно, да и необходимо, применять генератор, подающий гармонические колебания, так как при разрядном токе результатам наблюдений не всегда можно доверять, поскольку многие явления, которые зависят от скорости изменений, можно получать при различных частотах. Даже при использовании такого генератора можно допустить ошибку. Когда контур соединен с генератором, мы имеем бесконечно большое число значений емкости и самоиндукции, которые в различных соотношениях отвечают условиям резонанса. Как и в механике может быть бесконечное множество камертонов, которые отзываются на ноту определенного тона, или нагруженных пружин, имеющих определенную амплитуду колебаний. Но резонанса можно определенно добиться в том случае, когда движение происходит с наибольшей свободой. Итак, в механике, когда речь идет о колебаниях в обычной среде, то есть в воздухе,

большой разницы нет, имеет ли один камертон размер больше, чем другой, поскольку потери в воздухе незначительны. Можно, конечно, поместить камертон в вакуумный сосуд и, таким образом сведя к минимуму потери от трения о воздух, добиться наибольшего резонанса. И всё же разница будет невелика. Но она будет огромной, если камертон поместить в ртуть. При электрических колебаниях очень важно обеспечить наибольшую свободу движения. Количественный показатель резонанса, в остальном при одинаковых условиях, зависит от количества электричества, приведенного в действие, или от силы тока, движущегося в цепи. Но цепь сопротивляется прохождению тока по причине ее импеданса и, следовательно, для получения наилучшего результата надо свести сопротивление к минимуму. Невозможно избавиться от него совсем, но частично возможно. Когда же частота импульсов очень высока, протекание тока практически определяется самоиндукцией. Самоиндукцию можно преодолеть, связав ее с емкостью. Если соотношение между ними таково, что они гасят друг друга, то есть имеют такие значения, что они удовлетворяют условиям резонанса, и через внешнюю цепь протекает наибольшее количество электричества, мы имеем наилучший результат. Проще всего и надежнее, когда конденсатор включен в цепь последовательно с индуктивностью. Конечно, ясно, что в таких сочетаниях, при определенной частоте, и учитывая только базовые колебания, мы будем иметь наилучшие значения, когда конденсатор включен с катушкой самоиндукции параллельно, и таких значений будет больше, чем при последовательном включении. Но выбор определяется требованиями практики. В последнем случае при проведении опыта можно взять небольшую катушку и большую емкость или большую катушку и маленькую емкость, но последнее более предпочтительно, так как неудобно настраивать большую емкость мелкими шагами. Если взять катушку с очень большой самоиндукцией, то критическая емкость падает до очень малого значения, и емкости самой катушки может быть достаточно. Нетрудно, при помощи некоторых приспособлений, намотать катушку, которая понизит импеданс до омического сопротивления и для каждой катушки, естественно, существует частота, при которой через нее протекает максимальный ток. Соблюдение соотношения между самоиндукцией, емкостью и частотой становится особенно важным при эксплуатации устройств переменного тока, таких, как трансформаторы или моторы, поскольку при опытной настройке частей аппаратуры применение дорогостоящего конденсатора становится необязательным. Так, при обычных условиях через обмотку мотора переменного тока можно пропускать ток нужной силы с низкой эдс и полностью избавиться от ложных токов, и чем больше мотор, тем проще это практически сделать, но для этого надо использовать токи высокого потенциала и частоты.

На рисунке 20 I показана схема, которая применялась при исследовании явления резонанса с помощью высокочастотного генератора.  $C_f$  — это мно-говитковая катушка, которая поделена на небольшие участки для удобства настройки. Окончательная настройка производилась при помощи нескольких тонких железных проводов (хотя это и не всегда желательно) или при помощи замкнутой вторичной обмотки. Катушка  $C$  одним концом замкнута на провод  $L$ , ведущий к генератору  $G$ , а другим — на одну из пластин конденсатора  $CC$ , причем пластина его соединена с еще большей пластиной  $P$ . Таким способом и емкость, и индуктивность настраивались на частоту динамо-машины.

Что касается повышения потенциала через резонансное действие, конечно теоретически, то он может подняться до любого значения, поскольку зависит от индуктивности и сопротивления, а эти величины могут иметь какое угодно значение. Но на практике величина ограничена, и, кроме того, есть и другие факторы. Можно начать, скажем, с 1 000 вольт и увеличить величину эдс в 50 раз, но нельзя начать с 100 000 вольт и поднять эту цифру в 10 раз, так как потери в окружающей среде высоки, особенно при высокой частоте. Должно быть возможно, например, начать с двух вольт в контуре высокой или низкой частоты динамо-машины и поднять эдс в несколько сотен раз. Так, катушки надлежащих габаритов можно соединить одним концом с питающим проводом машины с низкой эдс, и хотя контур машины не будет замкнут в обычном понимании этого термина, она

может сгореть, если мы получим нужный резонанс. Мне не удавалось получить и не удавалось наблюдать при токах, полученных от динамо-машины, такого скачка потенциала. Возможно или даже вероятно, что при токах, полученных от машин, содержащих железный сердечник, возмущающее действие последнего и есть причина, что теоретически существующие возможности не реализуются на практике. Но если так, то я отношу это единственно к запаздыванию фаз и к потерям от токов Фуко в сердечнике. Обычно приходилось работать на повышение, когда эдс была низка, и применялась обычная катушка, но иногда было удобно использовать схему, показанную на рисунке 20 П. В данном случае катушка  $C$  разбита на очень много участков, некоторые из них служат первичной обмоткой. Таким образом, и первичная и вторичная обмотки поддаются настройке. Один конец катушки соединен с проводом  $L$ , идущим к генератору переменного тока, а другой провод  $L$  соединен со средней частью катушки. Такая катушка, с настраиваемой первичной и вторичной обмотками, также может быть удобна во время опытов с разрядами. Когда достигается настоящий резонанс, пик волны должен, конечно, находиться на свободном конце катушки, или, например, на выводе люминесцентной лампы  $B$ . Это легко подтвердить, измерив потенциал на конце провода  $w$  возле катушки.

В связи с проявлениями резонанса и проблемой передачи энергии по одному } проводу, о которой говорилось ранее, я бы хотел сказать несколько слов о предмете, который постоянно занимает меня и который касается благополучия всех людей. Я имею в виду передачу четких сигналов, а может быть и энергии, на любое расстояние без помощи проводов. С каждым днем я убеждаюсь в реальности такого плана; и хотя я полностью отдаю себе отчет в том, что абсолютное большинство ученых не поверят, что такого результата можно добиться на практике в короткий срок, всё же думаю, что объем работ в этой области свидетельствует о том, что необходимо поощрять исследования и эксперименты в этом направлении. Мое убеждение настолько укрепилось, что я больше не рассматриваю такой способ передачи энергии или разумных сигналов лишь как теоретически возможный, но как серьезную инженерную задачу, которая должна быть однажды решена. Идея передачи информации без проводов есть результат последних исследований в области электричества. Некоторые энтузиасты выражают убежденность в том, что передача телефонного сигнала на любое расстояние при помощи индукции по воздуху возможна. Мое воображение не простирается так далеко, но я твердо верю, что практически возможно при помощи мощных машин возбуждать электростатическое поле Земли и так передавать информацию или, может быть, энергию. На самом деле, что же может помешать воплощению такого плана? Теперь мы знаем, что электрические колебания можно передавать по одному проводу. Почему же не попытаться использовать для этого Землю? Не стоит пугаться расстояний. Для усталого путника, считающего верстовые столбы, Земля может показаться очень большой, но для счастливейшего из людей, для астронома, который смотрит на звезды и по их состоянию вычисляет размеры земного шара, он может показаться очень небольшим. Таким же он должен казаться и электрику, ибо, когда он думает о скорости электрического сигнала, с которой он пронизывает Землю, все его представления о расстоянии должны испариться.

Во-первых, очень важно было бы узнать, какова емкость Земли? И какой заряд она содержит при электризации? Хотя у нас нет положительных свидетельств тому, что рядом в пространстве есть другие тела, заряженные противоположным образом, вполне возможно, что Земля именно такое тело, ибо каков бы ни был процесс, результатом которого явилось отделение Земли — а именно таковы сегодня общепринятые взгляды на ее происхождение, — она должна была сохранить заряд, как это происходит во всех процессах механического деления. Если это заряженное тело, изолированное в пространстве, то его емкость должна быть крайне мала, менее одной тысячной фарады. Но верхние слои атмосферы — проводники, такой же может являться и среда за пределами атмосферы, а она может иметь противоположный заряд. Тогда емкость может быть несравнимо выше. В любом случае очень важно понять, какое количество электричества содержит Земля. Трудно сказать, получим ли мы когда-нибудь такие знания, но надеюсь, что получим, и именно при помощи

электрического резонанса. Если мы когда-либо сможем установить, каков период колебаний Земли при возбуждении ее заряда по отношению к противоположно заряженному контуру, мы получим факт, скорее всего наиболее важный для благополучия всего человечества. Я предлагаю искать этот период при помощи электрического осциллятора, или источника переменного тока. Один из выводов, например, будет соединен с землей, или городским водопроводом, а другой с изолированным предметом больших размеров. Возможно, что верхние слои атмосферы или открытый космос, имеют противоположный заряд и вместе с Землей образуют конденсатор огромной емкости. В таком случае период колебаний может быть очень небольшим, и динамо-машина переменного тока могла бы отвечать целям эксперимента. Затем я бы преобразовал ток так, чтобы получить максимально возможный потенциал и соединил концы вторичной обмотки высокого напряжения с землей и изолированным телом. Варьируя частоту тока и тщательно выдерживая потенциал изолированного тела, а также наблюдая за возмущениями в различных соседних точках земной поверхности, можно обнаружить резонанс. Если, как и полагают большинство ученых, период достаточно мал, то динамо-машина не подойдет и придется построить соответствующий электрический осциллятор, и, возможно, такие быстрые колебания получить невозможно. Но возможно это или нет, имеет Земля заряд или нет, и каков бы ни был период ее колебаний, абсолютно точно возможно — и тому мы имеем свидетельства — произвести некие электрические возмущения, достаточно мощные для того, чтобы их зарегистрировали в любой точке земной поверхности при помощи соответствующих приборов.

Предположим, что источник переменного тока соединен, как на рисунке 21, одним из своих выводов с землей (удобнее всего заземлить конец на водопровод), а другим — с предметом большой площади  $P$ . Когда устанавливаются электрические колебания, электричество будет двигаться в обоих направлениях через предмет  $P$ , а переменные токи будут проходить через землю, расходясь или сходясь в точке  $C$ , где сделано заземление. Таким образом будут возмущаться соседние точки на земной поверхности, расположенные в круге с неким радиусом. Но возмущение будет ослабевать по мере удаления, и расстояние, на котором этот эффект всё еще можно будет зарегистрировать, будет зависеть от количества электричества, приведенного в действие. Поскольку предмет  $P$  изолирован, для того чтобы привести в движение значительное количество электричества, потенциал источника должен быть крайне высоким, так как площадь поверхности предмета  $P$  ограничена. Параметры устройства можно настроить так, что источник  $S$  будет порождать такое же движение электричества, как если бы его цепь была замкнута. Так, конечно, практически возможно наложить электрические колебания определенного низкого периода на Землю при помощи надлежащей аппаратуры. На каком расстоянии эти колебания можно принять, можно только предполагать. По другому поводу мне пришлось поразмышлять над тем, как Земля может реагировать на электрические возмущения. Нет никакого сомнения в том, что во время такого эксперимента электрическая плотность у поверхности может быть очень мала, учитывая размеры Земли, и воздух не будет выступать как возмущающий фактор, а также не будет больших потерь энергии в воздухе, как могло быть, если бы плотность была высокой. Тогда теоретически не потребуется огромного количества энергии для производства возмущений, которые можно прочесть на очень большом расстоянии, если не по всему земному шару. Итак, совершенно очевидно, что в любой точке в пределах определенного круга, центром которого служит источник  $S$ , можно при помощи резонанса заставить работать прибор индуктивности и емкости. Но можно сделать не только это, но включить еще один источник  $5$  (рисунок 21), подобный источнику  $S$ , или любое количество источников, работающих синхронно с первым, и таким образом усилить вибрацию и распространить ее на большой площади, или получить электрический ток из источника или к источнику  $S$ , если его фаза будет противоположной фазе источника  $5$ ". Не сомневаюсь, можно эксплуатировать электрические приборы по всему городу через заземление или систему водоснабжения при помощи резонанса от одного электроосциллятора, установленного в центральной точке. Но

практическое решение этой задачи будет несравнимо менее важным для человека, чем передача информации или энергии на любое расстояние через Землю или окружающую ее среду. Если это вообще возможно, то расстояние не имеет значения. Для начала надо построить надлежащие приборы, с помощью которых попытаться решить задачу, и я довольно долго над этим размышлял. Я твердо уверен в том, что это можно сделать, и мы доживем до того момента, когда это будет сделано.

## **О световых явлениях, полученных при помощи высокочастотных токов высокого напряжения**

### **И ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ ПО ЭТОМУ ВОПРОСУ**

Возвращаясь теперь к световым явлениям, которые были основным предметом исследований, хотелось бы заметить, что все эти явления можно разделить на четыре класса: 1. Накал твердого вещества. 2. Фосфоресценция. 3. Накаливание или фосфоресценция разреженного газа. 4. Свечение газа при обычном давлении. Первый вопрос таков: как получают эти световые эффекты? Для того чтобы ответить на этот вопрос, удовлетворяя всем современным требованиям и учитывая приобретенный мной опыт, а также для того, чтобы сделать демонстрацию интересной, я расскажу о некоей особенности, которой придаю огромное значение, поскольку она обещает, кроме всего прочего, пролить больше света на природу явлений, произведенных высокочастотными электрическими токами. Как-то я уже указывал на важность присутствия разреженного газа, или атомарной среды в целом, вокруг проводника, через который протекает переменный ток высокой частоты, когда речь идет о нагреве проводника протекающим током. Мои опыты, описанные ранее, показали, что чем выше частота и разность потенциалов тока, тем более важным становится газ, в который помещен проводник, для его нагрева. Однако разность потенциалов, как я тогда указывал, элемент более важный, чем частота. Когда оба эти параметра достаточно высоки, нагрев может происходить целиком за счет присутствия разреженного газа. Следующие эксперименты продемонстрируют важность разреженного газа, газа при обычном или ином давлении для накаливания или иных световых эффектов, производимых токами этого типа.

Я беру две одинаковые 50-вольтовые лампы по 16 свечей, которые одинаковы во всем, за исключением того, что одна лампа была вскрыта сверху, и ее заполнил воздух, а вторая находится в обычном состоянии вакуума, как обычные коммерческие лампы. Когда я присоединяю вакуумную лампу к выводу индукционной катушки, которую я уже использовал в опытах, проиллюстрированных на рисунке 15а, и включаю ток, нить, как вы уже не раз убеждались, сильно накаляется. Когда я присоединяю вторую лампу, наполненную воздухом, нить всё же светится, но не так ярко. Этот эксперимент только частично демонстрирует истинность предыдущих высказываний. Важность того, что нить помещена в разреженный газ, наглядно показана, но не так отчетливо, как хотелось бы. Причина тому — вторичная обмотка этой катушки рассчитана на низкое напряжение и имеет всего лишь 150 витков, следовательно, разность потенциалов на выводах лампы мала. Если бы я взял другую катушку с большим количеством витков, результат был бы виден более рельефно, так как он частично зависит от напряжения, как указывалось ранее. Но так как он таким же образом зависит и от частоты, то правильнее было бы сказать, что он зависит от периода изменения разности потенциалов.

Чем больше это изменение, тем важнее становится газ как фактор нагрева. Я могу воспроизвести и гораздо большую скорость изменений, но по-иному, и этот способ, к слову сказать, имеет то преимущество, что после него вряд ли возникнут возражения, которые

могли появиться после демонстрации предыдущего эксперимента, даже если обе лампы включить последовательно или параллельно, а именно: исходя из реакции между первичной и вторичной обмотками, сделанные выводы ненадежны. Такого результата я добиваюсь, заряжая батарею конденсаторов от обычного трансформатора, запитанного от подстанции переменного тока, и разряжаю их прямо через контур с небольшой самоиндукцией, как показано на рисунках 19а, 19б и 19в.

На рисунках 22а, 22б и 22в тяжелые медные бруски  $BB_1$  соединены с противоположными пластинами батареи конденсаторов, или, в целом, таким образом, что внезапные разряды высокой частоты пронизывают их. Сначала я присоединяю к брускам при помощи клемм  $CC$  обычную 50-вольтовую лампу. Когда через лампу проходят разряды, нить накаливается, хотя сила тока очень мала и при обычных условиях ее бы не хватило для свечения лампы. Теперь вместо нее я присоединяю другую лампу, такую же, как и первая, но ее герметичность нарушена и она заполнена воздухом при обычном давлении. Когда нить пронизывают разряды, она не накаляется. Но этот результат все же можно отнести к действию одного из факторов. Тогда я включаю обе лампы параллельно, как показано на рисунке 22а. При пропускании разрядов через нити накаливания наблюдаем, что нить в вакуумной лампе / ярко горит, в то время как нить негерметичной лампы  $L$  ; остается темной. Но не следует полагать, будто эта лампа потребляет только малую часть энергии, напротив, она может потреблять значительную ее часть и стать даже очень горячей, горячее, чем другая нить, которая горит ярко. Во время данного эксперимента разность потенциалов на выводах ламп меняет знак, теоретически, три или четыре миллиона раз в секунду. Концы нитей заряжаются соответственно, и газ в колбах сильно возбуждается, а большая часть энергии, подаваемой на нити, переходит в тепло. В негерметичной лампе, где количество молекул газа в несколько миллионов раз больше, чем в вакуумной, бомбардировка, наиболее сильная на концах нити в горловине колбы, забирает большую часть энергии, не производя видимого эффекта. Причиной тому — большое число молекул, когда бомбардировка количественно более значительна, но удары не такие сильные вследствие невозможности разгона. В вакуумной колбе, напротив, скорости частиц огромны и удары их сильны, а следовательно, производят соответствующий эффект. Кроме того, конвекционная теплоотдача в первой лампе больше. В обеих лампах сила тока, пронизывающего нити, очень мала, несравнимо меньше, чем им понадобилось бы при обычных условиях в низкочастотном контуре. Разность потенциалов, однако, на концах нитей очень велика и может равняться 20 000 вольт или более, если бы нити были прямыми и концы их расходились далеко. В обычной лампе обычно проскакивает искра между концами нити или внешнего платинового провода задолго до того, как будет достигнуто такое напряжение.

Могут возникнуть предположения, что во время опыта вакуумная лампа могла потреблять ток большей силы и полученный результат можно отнести не только к действию газа в лампах. Такие соображения поутихнут, если я соединю с тем же успехом лампы последовательно. Сделав это, пропускаем заряды через нити и вновь отмечаем, что нить в негерметичной лампе / остается темной, в то время как в вакуумной / светится даже сильнее, чем при нормальных условиях (рисунок 22б). В соответствии с общепринятыми взглядами, сила тока в нитях сейчас должна была бы быть одинаковой, если бы не изменилась под воздействием газа в колбах.

На этом этапе лекции мне бы хотелось коснуться еще одной интересной особенности, которая демонстрирует эффект скорости изменения потенциала тока. Теперь я оставлю лампы соединенными последовательно с брусками  $BB_1$ , как и в предыдущем опыте (рисунок 22б), но значительно понижу частоту тока, которая в предыдущем опыте была очень высокой. Этого я могу добиться, включив последовательно в цепь разряда катушку индуктивности или нарастив емкость конденсаторов. Когда я теперь пропускаю низкочастотные заряды через нити, вакуумная лампа светится, как и прежде, но заметно, что негерметичная лампа тоже светится, хотя и не так ярко, как первая. Уменьшив силу тока в лампах, я могу заставить нить в негерметичной лампе быть тускло красной, и, хотя нить в вакуумной лампе светится ярко

(рисунок 22в), степень накала уже гораздо меньше, чем на рисунке 22б, когда ток был гораздо большей частоты.

Поведение газа в этих опытах характеризуется двояко, когда определяет степень накала нити, то есть при конвекции и бомбардировке. Чем выше частота и потенциал тока, тем важнее становится бомбардировка. Конвекция, наоборот, должна быть тем меньше, чем выше частота. При постоянном токе, бомбардировки практически нет, и следовательно, конвекция сильно влияет на накал нити и дает результат, подобный наблюдавшемуся. Так, если две одинаковые лампы, вакуумная и негерметичная, соединены последовательно или параллельно и питаются постоянным током, то нить негерметичной лампы потребует значительно большей силы тока для накаливания. Это происходит целиком и полностью вследствие конвекции, и результат тем отчетливее, чем тоньше нить. Профессор Эртон и м-р Килгор недавно опубликовали количественные результаты исследований термальной эмиссионной способности при излучении и конвекции, в которых эффект тонкого провода явно прослеживался. Этот эффект можно продемонстрировать, взяв несколько маленьких коротких стеклянных трубок, в каждой из которых вдоль ее оси располагается тончайший платиновый провод. Если из всех трубок откачать воздух, то несколько из них можно соединить параллельно и подключить к источнику постоянного тока, при этом все нити можно накалить с помощью меньшей силы тока, чем потребовалось бы для накаливания одной нити в негерметичной трубке. Если бы вакуум в трубках можно было довести до такой степени, что конвекция равнялась бы нулю, то относительное количество теплоты, выделенное при конвекции и излучении, можно было без труда определить, прибегнув к количественным измерениям тепловых характеристик. Если применить источник электрических импульсов высокой частоты и потенциала, можно включить еще большее количество трубок, и нити в них будут накаливаться при помощи тока такой силы, что ее было бы недостаточно для ощутимого нагрева провода такого же размера, помещенного в воздух при обычном давлении, и при этом передаваемой энергии хватило бы всем трубкам.

Хочу привести результат, которого добился благодаря наблюдениям во время этих опытов, и который очень интересен. Я заметил, что небольшие различия в плотности воздуха приводили к серьезной разнице в степени накала нитей, и подумал: так как в трубке, через которую проходит световой разряд, плотность газа неоднородна, то очень тонкий провод, помещенный внутрь, может накаляться в местах меньшей плотности газа и в то же время оставаться темным в местах большей плотности, где конвекция сильнее, а бомбардировка менее интенсивна. В соответствии с этой мыслью была приготовлена трубка (, как показано на рисунке 23, через центр которой проходил очень тонкий платиновый провод  $w$ . Из трубки был частично откачан воздух, и было обнаружено, что когда ее соединяли с выводом высокочастотной катушки, платиновый провод и в самом деле накалялся участками, как показано на рисунке 23. Позже было изготовлено несколько таких трубок с одним или несколькими проводами, и каждая из них показывала одинаковый результат. Этот эффект был особенно заметен, когда появлялся полосчатый разряд, но также имел место, когда полосы не были заметны, что говорило о том, что плотность газа в трубке неоднородна. Полосы обычно располагались так, что места наибольшего разрежения соответствовали участкам наибольшего или большей яркости свечения провода  $w$ . Но через несколько мгновений становилось заметным, что яркие участки провода покрыты плотными полосами разряда, как показано буквами // на рисунке 23, хотя это явление и было трудноразличимо. Это логично объяснялось, если предположить, что конвекция не сильно различалась на плотных и разреженных участках, а бомбардировка была сильнее на плотных участках полосчатого разряда. В лампах, на самом деле, можно часто наблюдать такую картину, когда тонкий провод накаляется сильнее, если газ не сильно разрежен. Так случается, когда потенциал катушки недостаточен для вакуума, но такой результат можно объяснить разными причинами. Во всяком случае, это любопытное явление накаливания исчезает, когда трубка, или, скорее, провод в трубке равномерно нагревается.

Независимо от корректировки, которую вносит конвекция, есть два основных фактора, которые определяют накал провода или нити при переменном токе, — ток проводимости и бомбардировка. В случае с постоянным током нам приходится иметь дело только с первым из этих факторов, и нагрев при этом минимален, поскольку при постоянном токе сопротивление наименьшее. Когда ток переменный, сопротивление возрастает и усиливается нагрев. Так, если скорость колебания тока очень высока, то сопротивление может вырасти до такого значения, что нить можно накаливать при помощи ничтожно малой силы тока, и мы можем взять короткий и толстый кусочек углерода или иного материала и накаливать его при помощи силы тока, несравнимо меньшей, чем та, что требуется для той же степени накала нити от постоянного или низкочастотного тока. Этот эффект очень важен, так как показывает, как быстро меняются наши взгляды на этот предмет, и как быстро расширяется область наших знаний. Рассмотрим только один аспект проблемы осветительных приборов. Мы знаем, что для достижения практического успеха, как принято считать, нить должна быть тонкой и иметь высокое сопротивление. Но теперь мы знаем, что сопротивление нити постоянному току ничего не значит; нить может с таким же успехом быть толстой и короткой; ибо если ее поместить в разреженный газ, она накалится при токе малой силы. Всё это зависит от частоты и потенциала тока. Из всего сказанного можно сделать вывод, что для освещения нужно использовать высокую частоту, ибо это позволит применить короткую и толстую нить и ток меньшей силы.

Если нить поместить в однородную среду, весь нагрев будет происходить за счет тока проводимости, но если это будет вакуумный сосуд, то условия будут абсолютно другими. Здесь начинает работать газ и нагрев от тока проводимости, как показывают многие эксперименты, может быть незначительным по сравнению с эффектом от бомбардировки. Это несомненно так, когда контур не замкнут, а потенциал, конечно, высок. Предположим, что тонкая нить помещена в вакуумный сосуд и один ее конец соединен с катушкой высокого напряжения, а другой — с большой изолированной пластиной. Хотя цепь не замкнута, нить, как я уже показывал, сильно накаляется. Если частота и потенциал сравнительно малы, то нить накаляется от проходящего через нее тока. Если частоту и потенциал, последнее важнее, повысить, то пластина может быть небольшой, или ее может не быть совсем; и всё же нить накалена, так как весь накал происходит от бомбардировки. Практически совместить эффекты тока проводимости и бомбардировки можно так, как показано на рисунке 24, где обычная лампа имеет тонкую нить, один конец которой соединен с абажуром, играющим роль пластины, а второй — с источником тока высокого напряжения. Не следует думать, будто для нагревания проводника переменным током важен только разреженный газ, газ при обычном давлении тоже может играть важную роль, если разность потенциалов и частота крайне высоки. По этому поводу я уже заявлял, что когда проводник плавится под ударом молнии, ток, протекающий через него, может быть крайне мал, его может быть даже недостаточно, чтобы нагреть провод, если тот помещен в однородную среду.

Из всего вышесказанного становится ясно: когда проводник высокого сопротивления присоединяют к выводам источника тока высокой частоты и потенциала, может происходить значительное рассеивание энергии, более всего на концах провода, вследствие действия газа, окружающего проводник. Благодаря этому сила тока на участке, что находится посередине провода, может быть значительно меньше, чем сила тока на участке, который ближе к концу. Более того, ток течет в основном через внешние участки провода, но этот эффект не следует путать с поверхностным эффектом, как его обычно трактуют, ибо последний имеет место, или должен иметь место в непрерывной несжимаемой среде. Если много ламп накаливания последовательно соединить с источником такого тока, то лампы по краям цепи могут гореть ярко, а те, что посередине, останутся темными. Это в основном происходит вследствие бомбардировки, как уже говорилось ранее. Но даже при постоянном токе, если потенциал очень велик, лампы по краям цепи будут гореть ярче тех, что посередине. В таком случае нет ритмичной бомбардировки, и эффект достигается благодаря утечке. Эта утечка, или

рассеивание, когда напряжение очень высокое, значительно во время использования ламп накаливания, а особенно, во время работы дуги, ибо дуга — это то же пламя. А в целом, конечно, рассеивание не так значительно при постоянном токе по сравнению с переменным.

Я разработал и поставил эксперимент, который достаточно интересно демонстрирует боковую диффузию. Если очень длинную трубку присоединить к выводу высокочастотной катушки, то яркость наиболее высока возле вывода и постепенно падает по направлению к дальнему концу. Это особенно заметно, если трубка узкая.

Небольшая трубка диаметром примерно полдюйма и длиной двенадцать дюймов (рисунок 25) имеет тонкий вытянутый полностью стеклянный конец длиной около трех дюймов. Трубка помещается в медном гнезде  $T$ , которое можно прикрепить к выводу  $T_1$  индукционной катушки. Разряд, проходящий через трубку, сначала освещает нижнюю часть, сечение которой довольно велико; но он не может пройти сквозь стекло наверху. Но постепенно разреженный газ в трубке нагревается и становится проводником и разряд пронизывает стекло. Он распространяется настолько медленно, что может пройти полминуты, пока он дойдет до верхнего кончика, и становится похожим на тонкое светящееся волокно. Путем настройки потенциала можно заставить свет двигаться вверх с любой скоростью. Однако когда волокна стекла нагреты, разряд распространяется по всей длине мгновенно. Интересно то, что чем выше частота тока, или, иными словами, чем относительно выше боковая диффузия, тем с меньшей скоростью свет может распространяться сквозь волокно. Этот опыт лучше всего ставить с хорошо откачанной и новой трубкой. Если трубку уже несколько раз использовали, опыт часто не удается. Возможно, тому виной постепенное медленное ухудшение вакуума. Это медленное распространение заряда сквозь узкую стеклянную трубку в точности повторяет распространение тепла в бруске, нагретом с одного конца. Чем скорее тепло уносится в сторону, тем больше времени понадобится, чтобы нагреть противоположный конец бруска. Когда ток от низкочастотной катушки проходит сквозь волокно, боковая диффузия мала и разряд мгновенно распространяется по всей длине без исключения.

После всех этих опытов и наблюдений, которые показывают важность прерывистости или атомарной структуры среды, и которые должны объяснить, частично, по крайней мере, природу четырех типов световых эффектов, получаемых при помощи тока такого типа, я могу продемонстрировать вам эти эффекты. Для интереса я могу сделать это таким способом, который для многих из вас будет новым. Вы уже видели, что мы можем передать телу колебания при помощи одного провода или любого проводника. Так как тело человека — проводник, я могу передать колебания своему телу.

Сначала, как и в предыдущих опытах, я соединяю свое тело с одним из выводов высоковольтного трансформатора и беру в руку вакуумную лампу, в которой помещается небольшая углеродная головка, размещенная на конце платинового провода, идущего наружу, и головка накаляется, как только трансформатор включают (рисунок 26). Сверху на лампу я могу положить абажур из проводника для усиления действия, но это необязательно, необязательно также, чтобы головка накаливания была соединена с рукой посредством провода, идущего наружу сквозь стекло, так как достаточное количество энергии для накаливания головки можно передать сквозь стекло при помощи индукции. Затем я беру лампу с сильным вакуумом, в которой находится фосфоресцирующее тело, поверх которого размещается небольшая алюминиевая пластина на платиновом проводе, ведущем наружу, и ток, проходящий сквозь мое тело возбуждает сильное свечение в лампе (рисунок 27). Теперь я вновь беру в руку простую вакуумную трубку, и вновь точно так же газ внутри трубки начинает светиться (рисунок 28). И наконец, я беру в руку провод, неважно, оголенный или изолированный: электрические вибрации настолько сильны, что покрывают провод светящейся пленкой (рисунок 29).

Несколько слов надо сказать о каждом из этих явлений. Во-первых, о накаливании головки и вообще твердого вещества приведу несколько фактов, равно относящихся ко всем этим явлениям. Ранее указывалось, что когда тонкий проводник, такой, как нить накаливания например, одним концом соединяют с выводом трансформатора высокого напряжения, нить накаляется частично вследствие тока проводимости, а частично вследствие бомбардировки. Чем толще и короче нить, тем большую важность приобретает последний фактор, и в конце концов, если нить превращается в головку, то весь нагрев происходит вследствие бомбардировки. Так и в последнем опыте головка накаляется от ритмических ударов свободно движущихся частиц в колбе. Этими частицами могут быть молекулы остатков газа, частицы пыли или куски электрода; чем бы они ни были, совершенно точно, что нагрев головки в первую очередь связан с давлением таких свободно движущихся частиц, или атомной структурой в трубке. Нагрев тем больше, чем больше количество ударов в секунду, и чем выше энергия каждого удара. И всё же головка также накалится, если ее соединить с источником постоянного потенциала. В таком случае электричество будет уноситься от головки свободно движущимися вокруг частицами, и количества электричества, таким образом унесенного, будет достаточно для накала головки, так как оно сначала проходит через последнюю. Но в данном случае бомбардировка не имеет особого значения. По этой причине требуется подавать на головку значительное количество энергии, для того чтобы поддерживать ее накал при постоянном потенциале. Чем выше частота электрических импульсов, тем экономичнее можно поддерживать накал головки. Одной из основных причин этого является то, что если импульсы имеют очень высокую частоту, то вокруг электрода происходит меньший обмен свободно движущихся зарядов и это означает, что внутри лампы нагретое вещество лучше сконцентрировано вокруг головки. Если сделать двойную лампу, как показано на рисунке 30, состоящую из большой колбы  $B$  и маленькой  $b$ , каждая из которых имеет нить  $f$  на платиновом проводе  $w$  и  $w_1$ , то обнаружится, что если бы нити  $ff$  были идентичны, то меньше энергии понадобилось бы для поддержания нити в колбе  $B$  в определенной степени накала, чем такой же нити в колбе  $b$ . Причиной тому лучшая концентрация частиц. В этом случае можно также добиться меньшего износа нити в колбе  $B$ , если определенное время поддерживать ту же степень накала. Это обязательное следствие того, что газ в маленькой колбе сильно нагревается и становится хорошим проводником, и на головку оказывается меньшее воздействие, так как бомбардировка становится менее интенсивной по мере возрастания проводимости газа. В такой конструкции, конечно, маленькая колба становится очень горячей, и когда она достигает определенной степени нагрева, усиливаются конвекция и излучение снаружи. По другому поводу я показывал лампы, в которых этот недостаток был в значительной степени преодолен. Примером тому может служить конструкция, когда очень маленькая лампа, содержащая тугоплавкий электрод в виде головки, помещалась в большую колбу, и воздух из промежутка откачивался. Внешняя большая колба в таких конструкциях оставалась практически прохладной. Если большая колба оставалась соединенной с насосом и вакуум между стенками благодаря этому постоянно поддерживался, колба оставалась совсем холодной, а головка в маленькой лампе была раскалена. Но после герметизации, когда головка какое-то время была раскалена, большая колба тоже нагревалась. Из этого я могу сделать вывод о том (как отмечает профессор Дьюар), что данное явление происходит вследствие нашего быстрого движения сквозь космос, или, говоря в общем, вследствие движения среды относительно нас, ибо постоянное состояние нельзя поддерживать, если среда не обновляется постоянно. Вакуум нельзя, судя по всему, поддерживать вокруг горячего тела.

В конструкциях маленькая лампа внутри, по крайней мере на первых порах, препятствовала бомбардировке внешней колбы. Мне пришла мысль проверить, как поведет себя в таких условиях металлическое сито, и я приготовил для этого несколько ламп, которые показаны на рисунке 31. В колбе  $B$  была расположена тонкая нить  $f$  (или головка) на платиновом проводе, проходящем сквозь стеклянную ножку и ведущем наружу. Нить / была

окружена ситом  $s$ . Экспериментально было обнаружено, что в таких колбах сито с крупными ячейками ни в коей мере не препятствовало бомбардировке колбы  $B$ .

Когда был достигнут высокий вакуум, тень от сита была ясно видна на колбе и она скоро нагрелась. В некоторых лампах сито  $s$  было соединено с платиновым проводом, запаянным в стекло. Когда этот провод соединяли с другим выводом катушки индуктивности (эдс в таких случаях была небольшой), или с изолированной пластиной, бомбардировка колбы  $B$  уменьшалась. Но если взять сито с мелкими ячейками, то бомбардировка колбы тоже уменьшается, но даже если вакуум очень высокий, и потенциал трансформатора большой, колба  $B$  бомбардируется и нагревается очень быстро; хотя не видно решетки от сита из-за того, что ячейки очень мелкие.

Если же вокруг нити размещается стеклянная трубка или иное непрерывное тело, то бомбардировка полностью прекращается на некоторое время и колба  $b$  остается абсолютно холодной. Конечно, когда стеклянная трубка достаточно нагревается, бомбардировка внешней колбы моментально становится заметной. Эксперименты с этими колбами показали, что скорости бомбардирующих молекул и частиц должны быть значительными (хотя и не сравнимы со скоростью света), в ином случае было бы трудно понять, как они могут пронизывать тонкую металлическую решетку без всяких последствий, если только не обнаружится, что на такие маленькие частицы влияние может оказываться напрямую с определенного расстояния. Что касается скорости бомбардирующих атомов, то лорд Кельвин недавно высказал предположение, что она может составлять примерно один километр в секунду в обычной лампе Крукса. Поскольку потенциал, получаемый от катушки с разрядником, значительно выше, чем тот, что получается от обычной катушки, скорости должны быть, конечно, гораздо выше, когда лампа питается от такой катушки. Предположим, что скорость движения частицы в вакууме пять километров в секунду и она постоянно по всей траектории, как и должно быть в вакуумном сосуде, тогда, если скорость изменения заряда электрода равна пяти миллионам в секунду, то частица может удалиться от электрода не более чем на миллиметр, если на этом расстоянии на нее оказывается прямое воздействие, тогда молекулярный или атомный обмен будет очень медленным, и колба почти не будет подвергаться бомбардировке. По крайней мере, это должно быть так, если только воздействие электрода на атомы остаточного газа подобно воздействию заряженного тела на предметы, которые мы можем воспринимать. Горячее тело, помещенное в вакуумный сосуд, также приводит к бомбардировке, но просто горячее тело не колеблется в определенном ритме, так как молекулы его производят разные вибрации.

Если из колбы, содержащей головку или нить накаливания, откачать воздух, насколько это возможно при помощи самых лучших приспособлений, то часто можно наблюдать, что разряд не может поначалу пройти, но по прошествии некоторого времени, видимо, вследствие каких-либо изменений внутри колбы, разряд проходит и головка или нить накаляется. На самом деле, чем выше степень откачки воздуха, тем легче добиться накала. По-видимому, нет иных причин для накаливания в таких случаях, за исключением бомбардировки или подобного воздействия остатков газа или частиц вещества. Но если мы создали очень высокий вакуум, могут ли они иметь большое значение? Предположим, что мы получили совершенный вакуум, тогда очень интересно ответить на вопрос: Та среда, которая пронизывает всё пространство, она непрерывна или состоит из частиц? Если состоит из частиц, тогда нагрев проводника или нити в вакуумном сосуде может происходить вследствие бомбардировки эфиром, и тогда вообще нагрев проводника, через который пропущен ток высокой частоты и потенциала, должен подвергаться изменениям этой среды; тогда поверхностный эффект, очевидный рост омического сопротивления и т. д., по крайней мере частично, поддаются иному объяснению.

Разумеется, учитывая многие явления, связанные с высокочастотными токами, конечно, говорят о том, что весь космос скорее наполнен свободными атомами, а не лишен их. Будь так, он был бы темным и холодным, заполнен однородной субстанцией, в которой не может быть ни тепла, ни света. Как в этом случае передается энергия: независимыми носителями

или вибрацией однородной субстанции? Этот важный вопрос до сих пор остается без ответа. Но многие из тех эффектов, что демонстрировались здесь сегодня, в особенности световые, накаливание и свечение, подразумевают наличие свободных атомов, без которых эти эффекты были бы невозможны.

Что касается накаливания тугоплавкой головки (или нити) в вакуумном сосуде, что и было темой нашего исследования, то основные выводы, которые могут служить инструкцией для создания таких ламп, можно сформулировать следующим образом: 1. Головка должна быть как можно меньше, сферической формы, полированная или гладкая, изготовлена из тугоплавкого материала, который выдерживает испарение. 2. Опора должна быть очень тонкой и защищена слоем алюминия и слюды, как я уже указывал ранее. 3. Воздух следует откачивать, насколько это возможно. 4. Частота должна быть практически самая высокая. 5. Ток должен колебаться гармонически, без внезапных прерываний. 6. Тепло следует концентрировать вокруг головки, помещая внутрь лампы небольшую колбу, или иным способом. 7. Из пространства между внешней и внутренней колбами воздух должен быть откачан.

Большинство соображений, высказанных по поводу накаливания твердого тела, применимы и к фосфоресценции. И в самом деле, в вакуумном сосуде фосфоресцентность, как правило, в первую очередь вызывается потоком атомов, испускаемых электродом и ударяющихся о фосфоресцентное тело. Даже в тех случаях, когда нет свидетельств такой бомбардировки, я полагаю, что фосфоресценция вызывается сильными ударами атомов, которые не обязательно испускаются электродом, но находятся под его индуктивным воздействием через среду или через другие атомы. То, что эти механические удары играют важную роль в возбуждении свечения в лампе, можно продемонстрировать в следующем эксперименте. Если взять лампу, как показано на рисунке 10, и максимально откачать из нее воздух настолько, что разряд не сможет пройти, то нить  $f$  будет индуктивно воздействовать на трубку  $t$  и заставит ее вибрировать. Если трубка  $o$  будет достаточно толстой, примерно дюйм шириной, то нить может колебаться настолько сильно, что каждый раз, когда она будет прикасаться к стеклу, она будет вызывать фосфоресценцию. Но свечение прекращается, когда нить успокаивается. Вибрацию можно прекратить и опять начать путем изменения частоты тока. Итак, нить имеет свой период колебаний, и если частота тока такова, что происходит резонанс, то она снова начинает колебаться, даже если потенциал невелик. Я часто становился свидетелем того, как нить в лампе разрушалась от такого механического резонанса. Нить колеблется обычно так быстро, что это невозможно увидеть, и экспериментатор поначалу может быть озадачен. Когда опыт, подобный приведенному, тщательно организован, потенциал тока должен быть крайне мал, и на основании этого я делаю вывод о том, что свечение происходит вследствие механического удара нити о стекло, так же, как это происходит, когда ножом бьют по большому куску сахара. Механический удар от отраженных атомов легко заметить, когда лампу с помещенной в ней головкой накаливания берут в руку, а потом внезапно включают ток. Я полагаю, что лампа разобьется на куски, если возникнет необходимость соблюсти условия, при которых возникает резонанс.

В предыдущем эксперименте, конечно, вопрос остается открытым, действительно ли стеклянная трубка сохраняет тот или иной заряд после контакта с нитью. Теперь если нить снова касается стекла в том же самом месте, когда она заряжена противоположно, заряды компенсируют друг друга под воздействием света. Но такое объяснение не имеет значения. Без сомнения, первоначальные заряды атомов или стекла играют какую-то роль в возбуждении фосфоресценции. Так, например, если фосфоресцентную лампу сначала соединить с одним выводом высокочастотной катушки и отметить степень свечения ее, а затем лампе передать мощный заряд от машины Хольца, причем желательно соединить ее с положительным выводом машины, обнаружится, если лампу вновь соединить с выводом высокочастотной катушки, свечение будет гораздо более интенсивным. Во время другого опыта я изучал возможность проявления фосфоресцентности в лампах, когда она вызвана накаливанием бесконечно тонкого поверхностного слоя светящегося тела. Удары атомов

достаточно сильны, чтобы своим воздействием вызвать накал, поскольку они своими ударами накаляют тело значительных размеров. Если такие эффекты имеют место, то наилучшее приспособление для получения фосфоресценции в лампе, которое нам пока известно, — это катушка с разрядником, выдающая огромный потенциал при небольшом количестве базовых разрядов, скажем 25–30 в секунду, достаточных, чтобы глаз их не воспринимал. Это факт, что такая катушка вызывает свечение почти при любых условиях и при любой степени вакуумирования, и я был свидетелем случаев, когда эффекты фосфоресценции проявлялись даже при атмосферном давлении, когда потенциал был крайне высок. Но если фосфоресценция достигается за счет компенсации зарядов атомов (что бы это в конечном итоге ни значило), тогда, чем выше частота импульсов переменных зарядов, тем экономичнее производство света. Уже давно и хорошо известно, что все фосфоресцентные тела — плохие проводники электричества и тепла, и что все тела перестают светиться, когда достигают определенной температуры. Проводники, напротив, этим качеством не обладают. И из этого правила есть лишь несколько исключений. Углерод — одно из них. Беккерель заметил, что углерод светится при определенной повышенной температуре, предшествующей его переходу в тускло-красное состояние. Это можно наблюдать в лампах, имеющих достаточно большой углеродный электрод (скажем, шарик диаметром 6 мм). После включения тока, через несколько секунд, электрод покрывает снежно-белая пленка, как раз перед тем, как он станет темно-красным. Замечено, что подобные явления происходят и с другими проводниками, но многие ученые скорее всего не отнесут их к истинным проявлениям фосфоресценции. Правда ли, что настоящее накаливание имеет отношение к фосфоресценции, возбуждаемой ударами атомов или механическими ударами, предстоит еще решить, но фактом является то, что при любых условиях, когда есть тенденция к локализации и усилению нагрева в точке столкновения, эти условия наиболее благоприятны для возникновения фосфоресценции. Итак, если электрод очень мал, можно сказать, что плотность очень высока; если потенциал очень высок, а газ сильно разрежен, все эти условия подразумевают высокую скорость бомбардирующих атомов, или частиц вещества, а следовательно, интенсивные удары, — и фосфоресценция очень интенсивна. Если в колбу поместить большой и маленький электроды и соединить их с индукционной катушкой, то маленький электрод начнет светиться, в то время как большой может и не светиться, так как чем меньше электрическая плотность, тем меньше скорость атомов. Лампу с большим электродом внутри, соединенным с катушкой, можно взять рукой и электрод может не засветиться; но если вместо этого лампы коснуться заостренным проводом, свечение моментально заполнит всю лампу, вследствие высокой плотности в месте контакта. Видимо, при низких частотах газы с большим атомным весом вызывают большую фосфоресценцию, чем газы с меньшим атомным весом, как, например, водород. При высоких частотах, наблюдений недостаточно, чтобы сделать надежный вывод. Кислород, как известно, дает очень сильные эффекты, но это частью можно объяснить химической реакцией. Кажется, что лампа, заполненная остатками водорода, возбуждается наиболее легко. Электроды, разрушающиеся наиболее легко, дают наибольшее свечение в лампах, но это состояние недолговечно вследствие нарушения вакуума и осаждения частиц электрода на светящихся поверхностях. Некоторые жидкости, как, например, масло, дают блестящий эффект фосфоресценции (или флюоресцентное<sup>TM</sup>?), но он длится всего несколько секунд. Так, если на стенках колбы есть следы масла и включается ток, то свечение продолжается всего несколько мгновений, до тех пор, пока масло не улетучится. Из всех опробованных веществ, кажется, только сульфид цинка наиболее поддается фосфоресценции. Некоторые образцы этого материала, полученные благодаря любезности профессора Анри из Парижа, испытывались в данных лампах. Одним из недостатков этого сульфида является то, что он теряет свойство излучать свет после того, как его нагреют до температуры, которую никак нельзя назвать высокой. Следовательно, его можно использовать только при очень низкой интенсивности. Следует отметить то немаловажное его свойство, что при интенсивной

бомбардировке из алюминиевого электрода, он приобретает черный цвет, но что характерно, возвращается в исходное состояние при остывании.

Самый важный вывод, к которому я пришел, проводя данные исследования, это то, что в любом случае для возбуждения флуоресценции с минимальными затратами энергии, требуется соблюдать определенные условия. А именно: всегда, независимо от частоты тока и степени вакуума в лампе, есть определенный потенциал (если лампа соединена с одним выводом) или разность потенциалов (если лампа соединена с двумя потенциалами), которые дают наиболее экономичный результат. Если потенциал повышен, много энергии тратится, а света больше не становится, и напротив, если потенциал понизить, производство света всё равно не так экономично. Точные характеристики, при которых получается наилучший результат, видимо, зависят от разнородных причин, и их должны еще исследовать экспериментаторы, но совершенно точно их следует придерживаться для получения наилучших результатов.

Переходя теперь к наиболее интересным из этих явлений, накаливанию, или свечению, газов при пониженном или атмосферном давлении, должен сказать, что нам надо искать ключ к разгадке этих явлений в тех же первоначальных причинах, то есть, в ударах, или столкновениях, атомов. Когда молекулы или атомы, ударяясь о твердое тело, возбуждают его свечение, или накаливание, при столкновениях друг с другом они порождают те же явления. Но это недостаточное объяснение и оно содержит только механизм действия. Свет порождается колебаниями, которые происходят с почти непостижимой скоростью. Если при помощи энергии, содержащейся в форме известных излучений в замкнутом пространстве, мы станем вычислять силу, необходимую для возбуждения таких быстрых колебаний, мы обнаружим, что хотя плотность эфира несравнимо мала, и меньше плотности всех известных нам веществ, например водорода, всё же сила превосходит наше понимание. Что же это за сила, что в механическом эквиваленте превосходит значение нескольких тысяч тонн на квадратный дюйм? Это электростатическая сила в свете современных воззрений. Невозможно понять, как тело измеримых размеров можно зарядить до такого потенциала, что этой силы будет достаточно для производства таких вибраций. Задолго до того, как телу будет передан такой заряд, его просто разорвет на атомы. Солнце излучает свет и тепло, то же самое делает обычное пламя или нить накаливания, но ни в том, ни в другом нельзя объяснить действие этой силы, если связать ее с телом, как с целым. Мы можем объяснить ее только в одном случае, если свяжем ее с атомом. Атом настолько мал, что если бы он заряжался после контакта с заряженным телом, и можно было предположить, что заряд следует тем же законам, что и в случае с заряженным телом, измеримых размеров, то он должен бы был сохранять количество электричества, которое бы полностью объясняло наличие этих сил и скорость вибраций. Но атом в таком состоянии ведет себя иначе — он всегда берет тот же самый «заряд».

Скорее всего резонансные колебания играют особо важную роль в проявлениях энергии в природе. Везде в пространстве вся материя колеблется, и в ней представлены все скорости колебания — от самых низких музыкальных нот, до самого высокого тона химических излучений, следовательно, и атом, или скопление атомов, независимо от периода, должны найти колебания, с которыми они в резонансе. Когда мы думаем об огромной скорости световых колебаний, мы понимаем, что невозможно воспроизвести такие колебания напрямую, используя аппаратуру измеримых размеров, и мы вынуждены использовать единственное оставшееся у нас средство получить световые волны экономно и при помощи электричества, то есть воздействовать на молекулы или атомы газа, заставить их соударяться и вибрировать. Тогда мы должны задать себе вопрос: Как можем мы воздействовать на молекулы и атомы?

Ясно, что на них можно воздействовать при помощи электростатической силы, как следует из всех этих опытов. Меняя электростатическую силу, мы можем возбудить атомы, заставить их соударяться, что сопровождается выделением тепла и света. Вне всякого

сомнения, никто еще не продемонстрировал, как можно на них воздействовать иначе. Если через закрытую вакуумную трубку пропустить световой разряд, то последуют ли атомы в своей организации какой-либо другой силе, кроме электростатической, которая действует напрямую, от атома к атому? Совсем недавно я исследовал взаимодействие двух контуров с крайней степенью вибрации. Когда батарея из нескольких банок ( $ccc_1c_1$ , рисунок 32) разряжается через первичную обмотку  $P$  низкого сопротивления (соединения такие, как показаны на рисунках 19а, 19б, 19в, а частота колебаний составляет несколько миллионов, в точках на первичной обмотке, отстоящих друг от друга всего на несколько дюймов, возникает огромная разность потенциалов. Эта разность может составлять 10 000 вольт на дюйм, если не более, принимая максимальное значение эдс. На вторичную обмотку  $S_1$  следовательно, действует электростатическая индукция, которая в крайних случаях гораздо важнее, чем электродинамическая. Для таких резких импульсов первичная обмотка, как и вторичная, плохие проводники, следовательно, огромная разность потенциалов может порождаться электростатической индукцией между соседними точками вторичной обмотки. Затем между проводами могут проскакивать искры и в темноте станут видимы потоки, если не допустить через промежуток  $dd$  разряда. Теперь, если мы заменим вторичную обмотку  $S$  герметичной вакуумной трубкой, то разности потенциалов в трубке, созданной электростатической индукцией, сполна хватит, чтобы возбудить некоторые ее участки; но так как точки определенной разности потенциалов в первичной обмотке не фиксированы, а постоянно меняют положение, в трубке появляется светящаяся полоса, которая очевидно не касается стекла, хотя и должна была бы, если бы точки минимума и максимума потенциала имели фиксированное положение на первичной обмотке. Я не исключаю возможности того, что эта трубка возбуждается исключительно благодаря электродинамической индукции, поскольку этого взгляда придерживаются очень опытные физики; но, по моему мнению, еще нет положительных доказательств того, что атомы газа в закрытой трубке могли расположиться в такие цепочки под действием электродвижущего импульса, порожденного электродинамической индукцией в трубке. Мне еще не удавалось пока получить полосы в трубке, какой бы длинной она ни была, и какой бы вакуум в ней ни был создан, то есть полосы под прямым углом к предполагаемому направлению разряда или оси трубки; но отчетливо наблюдал в большой колбе, где широкая светящаяся полоса появлялась после разряда батареи через провод, опутывающий лампу, слабый световой круг между двумя полосами, одна из которых была интенсивнее другой. Более того, мой опыт говорит мне, что такой газовый разряд в закрытой трубке не может вибрировать, то есть вибрировать как единое целое. Я убежден, что ни один разряд, проходящий в газе, не может вибрировать. Атомы газа ведут себя очень любопытно по отношению к внезапным электрическим импульсам. Видимо, газ не обладает ощутимой инерцией по отношению к таким импульсам, ибо на самом деле, чем выше частота импульсов, тем свободнее заряд проходит сквозь газ. Если газ не обладает инерцией, то он не может вибрировать, так как некоторая инерция необходима для свободных колебаний. Из этого я делаю вывод о том, что если между двумя тучами случится разряд молнии, то не возникнет никакой осцилляции, учитывая емкость облаков. Но если разряд молнии ударит в землю, вибрация возникает всегда — в земле, а не в облаке. При разряде сквозь газ каждый атом газа колеблется с собственной скоростью, но нет колебания проводящей газообразной среды как целого. Это очень важное соображение при решении великой проблемы экономичного производства света, ибо оно учит нас тому, что этого результата можно добиться, если использовать импульсы высокой частоты и обязательно высокого потенциала. Факт, что кислород дает более интенсивное свечение в трубке. Не потому ли, что атомы кислорода обладают некоторой инерцией, и колебания не затухают мгновенно? Но тогда азот должен вести себя так же, а хлор и испарения некоторых веществ должны быть еще лучше, чем кислород, если только в игру не вступают магнитные свойства последнего. А может, процесс в трубке имеет электролитическую природу? В пользу этого свидетельствуют многие наблюдения, а самое важное то, что электрод всегда испускает частицы вещества, и вакуум в трубке нельзя поддерживать постоянно. Если такой

процесс имеет место на самом деле, тогда опять мы должны прибегнуть к высоким частотам, ибо с их помощью электролитическое воздействие можно свести к минимуму, а то и вовсе от него избавиться. Нельзя отрицать тот факт, что при использовании высоких частот, если только импульсы гармоничны, как те, что получаются от генератора переменного тока, износ меньше и вакуум более долговечен. При работе пробойной катушки потенциал резко меняется и вакуум быстрее нарушается, так как электроды быстрее изнашиваются. Было замечено, что в некоторых больших трубках, которые содержали тяжелые углеродные бруски  $BB_{\Gamma}$  соединенные с проводами  $ww$  (как показано на рисунке 33), применявшиеся во время опытов с пробойными катушками вместо обычного искрового промежутка, частицы углерода под действием мощного магнитного поля, в которое была помещена трубка, располагались в виде прямых тонких линий в центре трубки, как показано на рисунке. Появление этих линий относили к отклонению или искривлению разряда под воздействием магнитного поля, но почему их скопление возникло именно там, где поле было наиболее сильным, было непонятно. Интересно заметить, что наличие сильного магнитного поля увеличивает износ электродов, возможно, потому, что оно производит быстрые прерывания, когда между электродами возникает более высокая эдс.

Многое еще можно сказать о световых эффектах, которые дают газы при низком или обычном давлении. После просмотра всех опытов мы не можем сказать, что природа этих прекрасных явлений достаточно изучена. Но исследования в этом направлении ведутся с особенным рвением. Каждая отрасль науки по-своему захватывает, но исследования в области электричества, видимо, обладают особой притягательной силой, ибо каждый опыт, каждое наблюдение в этой области находят в нас неповторимый отклик. И всё же мне кажется, что из всех чудес, которые мы наблюдаем, вакуумная трубка, возбужденная электрическим импульсом от удаленного источника, вспыхивающая в темноте и освещающая помещение, самое прекрасное явление, которое доступно нашему взору. Еще более интересное для меня — понизить частоту базовых разрядов в искровом промежутке, и, размахивая трубкой, получать разные формы линий. Так, для развлечения, я беру прямую длинную трубку, или квадратную, или квадрат, соединенный с длинной прямой, и поворачивая их быстро, имитирую вращение колеса и спиц, обмотку Грамма, барабан, обмотку мотора переменного тока и т. д. (рисунок 34). Если смотреть издали, эффект слабый, и красота его теряется, но вблизи, и если трубка в руке, — вряд ли кто-то устоит перед этим завораживающим зрелищем.

Представляя сегодня эти незначительные достижения, я не пытался расположить их так, как это следует делать в процессе чисто научного поиска, когда каждый итог есть логическое следствие предыдущего, и когда его может предугадать внимательный читатель или слушатель. Я предпочел направить свои усилия на выдвигание новинок и идей, которые могли бы предложить нечто остальным, и это может служить извинением отсутствию гармонии в моем выступлении. Объяснения явлений давались добросовестно, в духе студента, готового понять, что допустимы требования и более полных объяснений. Не будет большого вреда, если студент воспримет неверные взгляды, но когда ошибаются великие умы, мир дорого платит за их ошибки.

## **5.Высокочастотные генераторы для электротерапевтических и иных целей<sup>10</sup>**

Некоторые теоретические возможности токов очень высокой частоты, а также наблюдения, которые я сделал мимоходом, когда экспериментировал с переменным током,

<sup>10</sup> Лекция прочитана на Восьмом ежегодном собрании Американской электротерапевтической ассоциации в Буффало 13–15 сентября 1898 года

равно как и благотворное влияние трудов Герца и смелых взглядов Оливера Лоджа, подвигли меня в 1889 году начать систематическое исследование высокочастотных явлений, и результаты, которых я вскоре достиг, оправдали мои усилия по оборудованию лаборатории некоторыми особо эффективными устройствами и оказались весьма продуктивными: разработаны генераторы переменного тока особой конструкции, усовершенствованы преобразователи обычного тока в ток высокой частоты, и оба эти достижения были в свое время описаны и теперь, я полагаю, всем известны.

Одной из особенностей токов высокой частоты, замеченной на ранних стадиях экспериментов, довольно необычной и представляющей интерес для врачей, является то, что они очевидно безвредны, и это позволяет пропускать через тело человека довольно значительное количество электрической энергии, не причиняя ему боли или большого неудобства. Эта особенность, к которой, совместно с другими неожиданными свойствами этих токов, я имел честь привлечь внимание научной общественности сначала в статье, помещенной в техническом журнале в феврале 1891 года, а затем в последующих выступлениях в научных обществах, очевидно доказала, что эти токи будут очень полезны, для целей электротерапии в особенности.

Что касается воздействия электричества было разумным предположить, что влияние на физиологию, каким бы оно ни было сложным, можно разделить на три аспекта. Во-первых, статический, то есть, тот, что в основном зависит от величины электрического потенциала; во-вторых, динамический, который в целом зависит от качества движения электричества или силы тока, проходящего сквозь тело; и, в-третьих, эффекты, имеющие ярко выраженную волновую или колебательную природу, то есть импульсы, в которых электрическая энергия попеременно, с большей или меньшей частотой, меняет форму со статической на динамическую.

Обычно на практике эти аспекты сосуществуют, но при правильном выборе аппаратуры и соблюдении условий опыта экспериментатор может заставить один из них доминировать. Так, он может пропускать сквозь тело, или часть его, токи сравнительно большой величины при малом электрическом напряжении, либо он может подвергнуть тело большому электрическому напряжению, в то время, как ток будет крайне мал, или может, по желанию, подвергнуть пациента воздействию электрических волн, передаваемых на значительное расстояние.

В то время как на усмотрение врача оставался вопрос об исследовании специфического воздействия тока на организм и определения надлежащих методов лечения, различные варианты воздействия тока на пациента были очевидны для электрика. Поскольку невозможно переусердствовать в точности описания этого предмета, я полагаю полезным привести наглядные примеры некоторых способов построения цепей, которые, впрочем, очевидны для большинства.

Первый и самый простой метод применения тока — соединить тело пациента с выводами генератора, будь то динамо-машина или индукционная катушка. Рисунок 1 иллюстрирует данный случай. Генератор  $G$  может быть таким, что способен производить от пяти до десяти тысяч полных колебаний в секунду, эта цифра практически достижима. Электродвижущая сила, измеряемая при помощи прибора тепловой системы, может составлять от пятидесяти до ста вольт. Для того чтобы сквозь ткани проходил сильный ток, выводы  $TT$ , контактирующие с телом пациента, должны быть, конечно, большой площади и покрыты материей, пропитанной раствором электролита, безопасного для кожи, либо контакт осуществляется погружением. Регулирование силы тока производится через ванночку  $A$ , снабженную двумя металлическими выводами  $TT$ , имеющими значительную площадь, один из которых должен быть подвижным. Ванночка наполняется водой, а к ней добавляется раствор электролита до тех пор, пока не будет достигнут нужный уровень проводимости.

При необходимости использования тока небольшой силы и высокого напряжения, можно прибегнуть к помощи вторичной обмотки, как показано на рисунке 2. С самого начала

я нашел удобным отойти от обычного метода намотки, когда имеется большое количество малых витков. По многим причинам врач сочтет более удобным взять большой обод  $H$ , диаметром не менее, скажем, трех футов, желательно и более, и намотать на него несколько витков толстого кабеля  $P$ . Вторичную обмотку  $S$  легко изготовить, взяв два деревянных обода  $hh$  и соединив их плотным картоном. Одного слоя обычного обмоточного провода, не слишком тонкого, будет вполне достаточно, а количество витков, необходимое именно для такого типа катушки, легко установить после некоторых опытных включений. Две пластины большой площади, образующие регулируемый конденсатор, можно использовать для синхронизации первичного и вторичного контуров, но в целом необходимости в этом нет. Таким образом, получаем недорогую катушку, которая противостоит пробоем. Дополнительные ее преимущества, однако, обнаруживаются при идеальной регулировке, каковая достигается простым изменением расстояния между первичной и вторичной обмотками, для чего возможность такого изменения надо сразу предусмотреть и, кроме того, в случае появления гармоник, которые более ярко выражены в катушках с таким толстым проводом, находящихся на некотором расстоянии от первичной обмотки.

Вышеописанные конструкции можно также использовать при работе с переменными или пульсирующими токами низкой частоты, но некоторые особенности токов высокой частоты позволяют применять последние таким способом, который абсолютно не подходит для первых.

Одной из наиболее важных особенностей токов высокой частоты, или, выражаясь обще, быстро меняющихся токов, является то, что они с трудом проходят по толстым проводникам с большой самоиндукцией. Препятствие, которое представляет собой самоиндукция для прохождения этих токов, настолько велико, что оказалось практически возможным, как обнаружено во время ранних опытов и о чем уже говорилось, поддерживать разность потенциалов в несколько тысяч вольт между точками — на расстоянии не более нескольких дюймов друг от друга — на толстом медном бруске, имеющем ничтожно малое сопротивление. Такое наблюдение, естественно, привело к созданию конструкции, показанной на рисунке 3. Источником высокочастотных импульсов в данном случае служит уже известный нам трансформатор, питающийся от генератора  $G$ , подающего обычный постоянный или переменный ток. Трансформатор включает в себя первичную обмотку  $P$ , вторичную обмотку  $S$ , два конденсатора  $CC$ , соединенных последовательно, петлю или виток очень толстого провода  $L$  и прерыватель  $B$ . С петли  $L$  ток отводится двумя контактами  $cc'$ , один из которых или оба могут перемещаться вдоль провода  $L$ . Путем изменения расстояния между этими клеммами, можно получить на выводах или рукоятках  $TT$  разность потенциалов от нескольких вольт до многих тысяч. Такой метод работы с током полностью безопасен и крайне удобен, но он требует стабильной работы прерывателя  $B$ , задействованного при заряде и разряде конденсатора.

Еще одно не менее замечательное свойство высокочастотных импульсов было обнаружено в устройстве, при помощи которого они передаются через конденсаторы, причем для прохождения большого объема тока требуется умеренная эдс и очень небольшая емкость. Такое наблюдение дало возможность прибегнуть к схеме, показанной на рисунке 4. Здесь схема соединения примерно та же, что и на рисунке 3, за исключением того, что конденсаторы  $CC$  соединены параллельно. Это понижает частоту тока, но позволяет работать со значительно меньшим напряжением на выводах вторичной обмотки  $S$ . Поскольку последняя — это наивысшая расходная статья в подобных устройствах и стоимость ее резко возрастает с каждым витком, экспериментатор увидит, что гораздо дешевле пожертвовать частотой, которой, однако, вполне достаточно для проведения большинства опытов. Однако для получения той же частоты ему лишь нужно пропорционально уменьшить количество витков либо увеличить длину первичной обмотки  $p$ , но поступая так, он потеряет в экономичности преобразования, да и прерыватель  $B$  потребует к себе больше внимания. Вторичная обмотка  $S'$  высокой частоты соединена своими выводами с металлическими пластинами  $tt$  большой площади, и используемый ток

снимается с подобных пластин  $ft'$ , расположенных поблизости. Напряжение и количество тока, снимаемого с выводов  $TT$ , можно легко регулировать, причем постоянно, просто меняя расстояние между двумя парами пластин  $tt$  и  $ft'$  соответственно.

Такая схема также дает возможность повышать или понижать потенциал одного из выводов  $T$ , независимо от изменений, достигнутых на другом выводе, таким образом можно добиться более сильного воздействия на ту или иную часть тела пациента.

Врач по тем или иным причинам может счесть удобным изменить схемы, показанные на рисунках 2, 3 или 4, заземлив один из высокочастотных выводов источника. Эффект будет во многом схожим, но в каждом конкретном случае будут иметь место особенности. При заземлении имеет значение, какой из выводов вторичной обмотки замкнут на землю, так как при высокочастотных разрядах обычно превалируют импульсы какого-либо одного направления.

Среди замечательных свойств таких токов есть одно, которое в особенности полезно. Это — способность передавать большое количество электрической энергии телам, которые полностью изолированы в пространстве. Практичность этого способа передачи энергии, который уже успешно применяется и обещает приобрести особую важность в будущем, уже помогла отбросить устаревшее представление о том, что для передачи значительного количества электрической энергии требуется обратная цепь. При помощи новейшей аппаратуры мы имеем возможность по проводу, изолированному с одного конца, пропускать достаточной силы ток для того, чтобы оплавить его, либо по этому проводу передавать изолированному телу любое количество энергии. Этот способ применения высокочастотных токов для медицинских целей, кажется мне, предоставляет самые широкие возможности врачам. Эффекты, получаемые таким образом, обладают свойствами, полностью отличными от тех, когда токи применялись одним из указанных выше способов.

Схема подключения, используемая обычно, показана на рисунке 5, который, если учесть предыдущие рисунки, не требует объяснения. Конденсаторы  $CC$  соединены последовательно, заряжать и предпочтительно от повышающего трансформатора, но с большим или меньшим успехом можно также использовать высокочастотный генератор переменного тока, электростатическую машину или генератор постоянного тока. Первичная обмотка  $p$ , через которую проходят высокочастотные разряды конденсаторов, состоит из нескольких витков кабеля очень маленького сопротивления, а вторичная обмотка  $s$ , желательно, чтобы она находилась на некотором расстоянии от первичной для того, чтобы обеспечить свободные колебания, одним концом — то есть тем, что ближе к первичной обмотке, — замкнута на землю, в то время как второй конец ее соединен с изолированным выводом  $T$ , соединенным, в свою очередь, с телом пациента. В данном случае важно добиться синхронности колебаний в первичном и вторичном контурах  $p$  и  $s$  соответственно. Как правило, этого легче всего достичь путем изменения самоиндукции схемы, включив в нее первичную петлю или обмотку  $p$ , для чего предназначена регулируемая обмотка  $l$ ; но в тех случаях, когда эдс генератора исключительно высока, например при использовании электростатической машины, конденсатор, состоящий всего лишь из двух пластин, имеет достаточную емкость, и проще достичь поставленной цели, меняя расстояние между пластинами.

Когда первичные и вторичные колебания максимально синхронны, точки наивысшего потенциала будут находиться на выводе  $T$ , и потребление энергии будет по большей части происходить там. Присоединение тела пациента к выводу в большинстве случаев значительно влияет на период колебаний во вторичном контуре, делая его длиннее, и поэтому в каждом случае требуется перенастройка первичной цепи для того, чтобы приспособиться к емкости тела, соединенного с выводом  $T$ . Следует всегда поддерживать синхронность, а интенсивность воздействия достигается перемещением вторичной обмотки ближе или дальше по отношению к первичной, по желанию. Я не знаю ни одной методики, которая

позволяла бы подвергать человеческое тело такому крайнему электрическому напряжению, которое практически достигается указанным способом, и ни одной методики, которая позволяла бы передавать телу и получать от него без серьезного ущерба такие количества энергии, которые хотя бы приближались к тем, которые практически возможно использовать, как описано выше. Это происходит от того, что воздействие в основном поверхностное, причем по большей части оно касается передачи тока или, скажем более корректно, энергии. Если быстро и хорошо работает прерыватель, я полагаю вполне возможным передать человеческому телу и отдать в пространство энергию в несколько лошадиных сил, причем совершенно безнаказанно, в то время как даже небольшая часть этой энергии, переданная другим методом, несомненно, причинит вред.

Когда человек подвергается воздействию такой катушки, а все настройки сделаны верно, в темноте заметно, как все части его тела испускают световые потоки. Эти потоки коротки и имеют тонкую текстуру, когда количество прерываний велико и прибор *B*, показанный на рисунке 5, работает без сбоя, но когда количество прерываний мало или прибор работает со сбоями, появляются длинные и шумные потоки, которые причиняют некоторые неудобства. Физиологическое воздействие этой аппаратуры может варьироваться от едва заметного, когда вторичная обмотка расположена далеко от первичной, до наиболее интенсивного, когда обе они размещены близко друг к другу. В последнем случае уже через несколько секунд по всему телу разливается тепло, а затем человек обильно потеет. Я много раз, во время показа друзьям, подвергал себя воздействию колебаний гораздо дольше, и каждый раз, по прошествии примерно часа, меня охватывала огромная усталость, которую трудно передать словами. Она была сильнее, чем та, что я испытывал во время наивысшего физического напряжения. Я не мог сделать ни шагу и с трудом открывал глаза. После этого я крепко спал, из чего следует, что воздействие, несомненно, благотворно, но «лекарство» это слишком сильное, чтобы принимать его часто.

Следует быть очень осторожным при проведении таких опытов по ряду причин. На поверхности кожи или недалеко от нее, там, где происходит наиболее интенсивное воздействие, образуются различные химические вещества, в основном озон и азотистые соединения. Первый из них сам по себе обладает огромным разрушительным действием, и примером тому служит распад резиновой изоляции провода так быстро, что ее применение очень непрактично. Азотистые соединения, при наличии влаги, — это в основном азотная кислота, которая в больших количествах может повредить кожу. До настоящего времени я не заметил ран, которые можно было бы прямо отнести к этому обстоятельству, хотя в некоторых случаях появлялись ожоги, очень похожие на те, которые наблюдались и объяснялись воздействием рентгеновских лучей. Это мнение, по-видимому, игнорируется, так как оно не подтверждено экспериментально, равно как и мнение о том, что эти лучи есть поперечные колебания. Но до тех пор, как исследования встанут на путь, который кажется сегодня верным, ученые предоставлены сами себе. Это положение дел замедляет прогресс и продвижение физиков в этих неизведанных районах, и делает и без того нелегкую задачу врачей еще более трудной и неопределенной.

Одно или два наблюдения, которые я сделал во время экспериментов с описанной аппаратурой, могут оказаться заслуживающими упоминания. Как уже ранее указывалось, когда колебания в первичной и вторичной обмотках синхронны, точки наивысшего потенциала находятся в определенной части вывода *T*. Если синхронность совершенная и длина вторичной обмотки равна четверти длины волны, то эти точки располагаются точно на свободном конце вывода *T*, то есть на том, что далее всего от конца провода, соединенного с этим выводом. Если это условие соблюдено и если теперь сократить период колебаний в первичной обмотке, точки наивысшего потенциала переместятся ближе ко вторичной обмотке, так как длина волны сократилась, и так как заземление вторичной обмотки теперь определяет положение узловых точек, то есть точек низкого потенциала. Так, меняя период колебаний в первичном контуре любым способом, точки наивысшего потенциала могут сдвигаться вдоль оси вывода *T*, который умышленно изображен длинным. Такое же явление,

конечно, имеет место, если тело пациента служит выводом, и ассистент может движением рукоятки перемещать точки наивысшего потенциала вдоль тела с желаемой скоростью. Когда действие катушки наиболее интенсивно, район расположения точек можно легко установить, испытывая неудобство или же боль, которые они причиняют, и очень любопытно ощущать, как болевое пятно движется вдоль тела или иногда поперек, от руки к руке, если катушка соединена соответствующим образом, точно повинувшись рукоятке, контролирующей колебания. Хотя я не обнаружил особого воздействия во время подобных опытов, всегда чувствовал, что этот эффект можно использовать в электротерапии.

Еще одно многообещающее наблюдение заключается в следующем. Как уже ранее говорилось, приняв на вооружение описанную методику, тело человека можно без вреда подвергнуть воздействию электрического напряжения, во много раз превосходящее то, что достигается при помощи обычных устройств, ибо оно может исчисляться несколькими миллионами вольт, как было доказано практикой. Итак, когда проводящее тело электризуется до такой степени, небольшие частицы, которые крепко удерживаются на его поверхности, отрываются с огромной силой и отбрасываются на расстояния, о которых можно только догадываться. Я обнаружил, что не только плотно прилегающие вещества, как, например, краска, отрываются от поверхности, но даже и частицы самых твердых металлов. Считалось, что такое действие имеет место только в вакууме, но оно происходит и в обычной атмосфере. Упомянутые факты дают основания ожидать, что такой необычный эффект тоже найдет применение в электротерапии таким образом, какой я уже с пользой применял. Постоянное совершенствование устройств и изучение этого явления могут вскоре привести к разработке новейшего способа гигиенической обработки, которая обеспечит моментальное очищение кожи человека путем простого подключения его, а возможно, и просто помещения вблизи источника интенсивных электрических колебаний, таким методом помогая добиться эффекта отрывания в мгновение ока пыли или инородных частиц, приставших к телу. Практическая разработка такой методики, без сомнения, будет очень полезной для гигиены и позволит сэкономить время принятия ванн, а в особенности будет оценена теми, кто находит удовлетворение в том, чтобы браться за большее, чем то, чего они могут достичь.

Высокочастотные импульсы дают мощный эффект индукции и в этом свете могут быть использованы физиотерапевтами. Эти индуктивные эффекты либо электростатические, либо электродинамические. Первые затухают гораздо быстрее с увеличением расстояния — в квадрате, а вторые — в обычной пропорции к расстоянию. С другой стороны, первые усиливаются в квадрате по отношению к росту мощности источника, а вторые — прямо пропорционально мощности. Оба эти эффекта можно использовать для формирования сильнодействующего поля, простирающегося на значительное расстояние, например в большом зале, подобное устройство можно разместить в больнице или подобного рода заведении, где желательно лечить сразу несколько пациентов.

На рисунке 6 показано, как образуется электростатическое поле. На этом рисунке  $G$  — это генератор тока очень высокой частоты,  $C$  — это конденсатор, компенсирующий самоиндукцию цепи, которая состоит из первичной обмотки  $P$  индукционной катушки, где вторичная обмотка  $S$  соединена концами с пластинами  $tt$  большой площади. При соблюдении всех известных параметров настройки, в промежутке между пластинами возникает очень сильное действие, и тело человека подвергается быстрой смене потенциала и воздействию возникающих токов, что, даже на большом расстоянии, дает значительный физиологический эффект. В своих первых опытах я пользовался двумя металлическими пластинами, но затем я обнаружил, что лучше заменить их двумя полыми медными шарами, на два дюйма покрытыми воском. Кабели, ведущие к выводам вторичной обмотки, были покрыты тем же составом, так что к ним можно было подносить руку, не боясь пробоя. Таким способом предотвращались неприятные удары током, которым был подвержен экспериментатор.

На рисунке 7 показана схема применения динамической индукции высокочастотного тока. Поскольку частота, получаемая от генератора, недостаточно высока, мы прибегли к

помощи конденсаторов. После соответствующего объяснения выше, рисунок очень просто понять. Нужно только отметить, что первичная обмотка  $p$ , через которую разряжаются конденсаторы, изготовлена из толстого многожильного кабеля низкой индуктивности и сопротивления, и он проходит по всему залу. Можно включить любое количество вторичных обмоток  $sss$ , каждая из которых может состоять из одного слоя довольно толстого провода. Я обнаружил, что с практической точки зрения удобнее использовать целых сто, причем каждая настраивалась на определенный период и отвечала на определенное колебание в первичной обмотке. Такую установку я имел в лаборатории с 1892 года и она оказалась очень полезной, а мои посетители проявляли к ней большой интерес. В последний раз я имел удовольствие принимать членов вашей Ассоциации и развлекать их подобными экспериментами, и я не могу не воспользоваться случаем, чтобы выразить свою благодарность за их визит ко мне, а также поблагодарить Ассоциацию за предоставленную возможность выступить. С той поры моя аппаратура была значительно усовершенствована, и теперь я способен создать в лаборатории поле с такой индукцией, что катушка диаметром в три фута, при правильной настройке, будет отдавать энергию со скоростью не менее четверти лошадиной силы, при этом неважно, где ее поместить в пределах колец первичной обмотки. В пределах этого пространства при помощи катушки легко получить длинные искры, потоки и остальные эффекты, и такие катушки, хотя они и не соединены ни с чем, можно использовать наравне с обычными, и что еще более замечательно, они даже более эффективны. В течение последних нескольких лет я был вынужден демонстрировать опыты на публике, подчиняясь таким просьбам, но напряженная работа сделала это невозможным. Эти достижения есть результат медленного усовершенствования деталей устройств, которые я надеюсь описать в ближайшем будущем.

Какими бы ни были замечательными электродинамические индуктивные эффекты, они всё же могут быть усилены путем концентрации их действия на небольшой площади. Очевидно, как ранее указывалось, удается поддерживать эдс в несколько тысяч вольт между двумя точками проводящего бруска или цепи длиной несколько дюймов, сила примерно той же величины возникает и в проводниках, расположенных рядом. И действительно, я обнаружил, что практически возможно таким способом пропускать разряд через вакуумную трубку, несмотря на то что эдс, необходимая для такого действия, составляет десять или двадцать тысяч вольт, и в течение длительного времени я проводил опыты в этом направлении с целью добиться освещения новым и экономичным способом. Но испытания показали однозначно, что такой метод освещения сопровождается огромным потреблением энергии, по крайней мере с той аппаратурой, которая была в моем распоряжении на тот момент, и, обнаружив новый способ, который обещал большую экономию при преобразовании, я направил свои усилия в этом новом направлении. Вскоре после этого (примерно в июне 1891 года) профессор Дж. Дж. Томсон описал опыты, которые, несомненно, являлись результатом долгих исследований, и в процессе описания сообщил много новой интересной информации; это подвигло меня вернуться к моим прежним экспериментам с еще большим рвением. Вскоре мои усилия были сконцентрированы на задаче получения наибольшего индуктивного действия в небольшом участке пространства, и постепенно совершенствуя материальную часть, я добился поразительных результатов. Например, если конец тяжелого металлического бруска поместить в петлеобразную цепь, которая сильно электризована, достаточно нескольких мгновений, чтобы брусок сильно разогрелся. Даже тяжелые куски других металлов нагревались так быстро, как будто их поместили в печь. Когда длинная непрерывная полоса, вырезанная из листа жести, помещалась внутрь кольца проводника, металл моментально плавился, причем это было похоже на взрыв, и не удивительно, ведь фрикционные потери накапливались в нем с интенсивностью примерно 10 лошадиных сил. Массивы слабо проводящих материалов вели себя подобным же образом, а когда внутрь кольца поместили вакуумную трубку, стекло нагрелось почти до точки плавления за несколько секунд.

Когда я впервые наблюдал эти потрясающие эффекты, мне стало интересно проверить, как они воздействуют на живые ткани. Как вы догадываетесь, я работал со всей осторожностью, еще бы, ведь я был свидетелем того, что в витке диаметром несколько дюймов работала эдс, измеряемая более чем десятком тысяч вольт, а такое высокое напряжение может вызвать в ткани разрушительные токи. Это тем более очевидно, что предметы, обладавшие меньшей проводимостью, быстро нагревались и частично разрушались. Можно представить мое изумление, когда выяснилось, что я могу поместить руку или иную часть тела внутрь кольца и держать ее там невредимой. Не один раз, движимый желанием сделать какое-либо новое и полезное наблюдение, я по собственной воле или по неосторожности производил опыты, сопряженные с огромным риском, причем этого нельзя избежать в лабораторных условиях, но я всегда верил и верю теперь в то, что я никогда не предпринимал ничего более опасного, по моим оценкам, для здоровья, чем когда я поместил голову в то место, где работали эти крайне разрушительные силы. И всё же я это сделал и не один раз, и ничего не почувствовал. Но я твердо убежден в том, что такие эксперименты связаны с огромным риском, и некто, кто пойдет хотя бы на один шаг далее, чем я, может мгновенно погибнуть. Ибо условия могут напоминать те, что сопутствовали опыту с вакуумной трубкой. Ее можно поместить внутрь сильно электризованного кольца, и до тех пор, пока нет цепи для прохождения тока, она останется прохладной, и практически не будет потреблять энергию. Но в тот момент, как сформируется первый слабенький ток, большая часть энергии колебаний устремится в точку потребления. Если в результате какого-либо действия в живой ткани или костях черепа сформируется проводящий участок, то это приведет к немедленному разрушению таковых и гибели безрассудного экспериментатора. Такой метод убийства, если его применить на практике, был бы абсолютно безболезненным. Итак, почему же в том месте, где происходит такая яростная буря, живая ткань не повреждается? Можно предположить, что это происходит вследствие индуктивности, вызванной большой проводящей массой. Но этого не может быть, поскольку кусок металла обладает еще большей индуктивностью и всё же нагревается. Можно выдвинуть довод о том, что ткани обладают слишком большим сопротивлением. Но и это неправда, поскольку мы имеем свидетельства того, что ткани являются достаточно хорошими проводниками, к тому же предметы примерно той же сопротивляемости нагревались довольно сильно. Можно отнести этот факт к высокой удельной теплоемкости живой ткани, но даже приблизительный подсчет результатов опытов с другими телами показывает несостоятельность этого довода. Единственно логичное объяснение, к которому я пришел на настоящий момент, это то, что живые ткани — конденсаторы. Только оно может объяснить неповреждаемость ткани. Причем, как только возникает неоднородная цепь, если, например, взять в руки металлический брусок и таким способом сформировать замкнутый контур, прохождение тока через руки сразу ощущается, заметны и остальные физиологические эффекты. Наиболее сильное действие, конечно, достигается, если возбуждающее кольцо состоит только из одного витка, если соединения не составляют наибольшую часть длины цепи, в этом случае экспериментатор должен остановиться на наименьшем количестве витков, тщательно просчитывая: что он теряет, увеличивая число витков, и что приобретает, используя таким образом большую часть длины цепи. Следует всегда помнить, что когда возбуждающая катушка состоит из большого числа витков и имеет большую длину, в ней могут доминировать эффекты электростатической индукции, поскольку может наблюдаться существенная разность потенциалов — сто тысяч вольт и более — между первым и последним витками. Однако упомянутые эффекты всегда имеют место, даже когда виток всего один.

Если человека поместить внутрь такого кольца, любой металлический предмет, даже крайне малый, ощутимо нагревается. Без сомнения, металл также будет нагреваться — в особенности, если это железо, — при его внедрении в живую ткань, что открывает возможность для хирургического лечения таким способом. Могут стать возможными

стерилизация ран, обнаружение или даже удаление металлических предметов из тела, а также хирургические операции разного рода при помощи совершенно новой методики.

Большинство из перечисленных результатов и других, еще более замечательных, можно добиться только при использовании конденсаторов. Вполне возможно, что немногие — даже из тех, кто работает в том же направлении, — понимают, какой чудесный это прибор. Позвольте мне развить свою идею. Можно взять конденсатор, небольшой, такой, что умещается в жилетном кармане, и, правильно его применяя, создать такое электрическое напряжение, что оно превзойдет — в сотни раз, если потребуется, — любое напряжение, которое можно получить от самой большой электростатической машины, которую когда-либо строили. Либо, применяя тот же самый конденсатор иным способом, можно получить ток такой силы, что сварочный агрегат покажется ничтожным. Те, кто придерживается распространенного мнения о напряжении электростатической машины или тока, полученного от коммерческого трансформатора, будут поражены этим высказыванием — и всё же истинность его легко проверить. Таких результатов легко добиться, поскольку конденсатор может отдать накопленную энергию за непостижимо короткий промежуток времени. Физическая наука не знает ничего, что обладало бы таким свойством. Сжатая пружина, или аккумулятор, или иное устройство, способное накапливать энергию, не могут сделать этого; если бы они могли, то с их помощью можно было совершить нечто, доселе невиданное. Приблизиться по действию к конденсатору может только взрывчатка, такая, как динамит. Но даже самый мощный взрыв такого вещества не идет в сравнение со взрывом или разрядом конденсатора. Ибо в то время, как давление, которое может создать детонация химического вещества, достигает десятков тонн на квадратный дюйм, давление, которое может создать разряд конденсатора, достигает тысяч тонн на квадратный дюйм, и если бы удалось создать взрывчатку, которая детонирует так же быстро, как разряжается конденсатор при условиях, которые вполне можно реализовать на практике, — одной унции ее хватило бы, чтобы вывести из строя линкор.

То, что прибор, обладающий такими идеальными свойствами, найдет широкое практическое применение, я знаю давно, но я также давно убежден в том, что нам придется преодолеть много трудностей, чтобы заменить менее совершенные устройства, используемые в настоящее время повсеместно для разнообразных задач преобразования электрической энергии. Таких трудностей множество. Сами конденсаторы, в том виде, в каком они выпускаются, неэффективны, проводники неэкономичны, самая лучшая изоляция не удовлетворяет требованиям, а параметры наиболее эффективного преобразования трудно определить и соблюдать. Одна из трудностей, однако, наиболее серьезная из всех, и к которой я привлекал внимание, когда впервые описывал эту систему преобразования тока, обнаружилась в устройствах, которые обязательно используются для контроля заряда и разряда конденсатора. Они страдали неэффективностью и ненадежностью и угрожали доказать полную непригодность системы, серьезно ограничивая область ее применения и лишая многих ценных качеств. Несколько лет я пытался решить эту проблему, проводя опыты с огромным количеством таких устройств. Многие из них обещали успех, но в конце обязательно проваливались. С неохотой я вернулся к идее, над которой работал очень давно. Она заключалась в том, чтобы заменить обычные щетки и сегменты коллектора  $t$  жидкими контактами. Тогда я столкнулся с трудностями, но годы, проведенные в лаборатории, не прошли даром, и я добился прорыва. Вначале надо было добиться циркуляции жидкости, но прокачивание ее насосом оказалось непрактичным. Тогда мне явилась счастливая мысль сделать насос составной частью прерывателя цепи и поместить оба устройства в резервуар для предотвращения окисления. Затем были разработаны некоторые способы поддержания циркуляции, как, например, вращение ртутного тела. Потом я научился избегать износа, который всё же имел место. Боюсь, эти высказывания, которые показывают, сколько усилий было потрачено на эти, казалось бы, незначительные детали, не откроют вам высокого значения опыта, который я приобрел. Но должен признаться, что мое терпение подверглось огромному испытанию. В конце концов, к моему удовольствию, я создал приборы, простые и

надежные в работе, не требующие особого внимания и способные преобразовывать значительные количества энергии с приличной степенью экономичности. Они не самые лучшие из тех, что можно было сделать, это верно, но они вполне удовлетворительны, и я чувствую, что самое трудное позади.

Врачи теперь смогут получить прибор, отвечающий всем требованиям, и применять его в электротерапии любым из указанных способов. У них теперь появится возможность получить такую катушку, которая нужна им для выполнения конкретной задачи. Она даст любую силу тока и любое напряжение, которое им требуется. Такие катушки состоят из небольшого числа витков, и затраты на их изготовление будут крайне незначительными. Этот прибор даст врачу возможность генерировать рентгеновские лучи значительно большей мощности, чем та, на которую способны обычные устройства. Производители, правда, должны изготовить трубку, стойкую к износу и позволяющую концентрировать большее количество энергии на электродах. Когда это будет сделано, ничто не будет стоять на пути использования этого прекрасного открытия, которое в конце концов докажет свою ценность не только в руках хирурга, но также и физиотерапевта и, что еще более важно, бактериолога.

Для того чтобы дать понятие об этом приборе, в котором воплощены все усовершенствования, я обращаюсь к рисунку 9, на котором показан вид сбоку и вертикальный разрез. Расположение частей здесь такое же, как и в том приборе, который демонстрировался ранее, с той лишь разницей, что возбуждающая катушка с вибрирующим прерывателем заменена усовершенствованными прерывателями, о которых уже упоминалось.

Этот прибор состоит из литой формы  $A$ , имеющей выступающий рукав  $B$ , во втулке которого свободно вращается вал  $a$ . Последний несет на себе якорь, вращающийся в поле стационарного магнита  $M$ , а сверху размещается полый железный блок  $D$ , в котором расположен сам прерыватель. Внутри вала  $a$ , соосно ему, расположен меньший вал  $b$ , вращающийся на шариковых подшипниках и несущий эксцентрик  $E$ . Так как этот эксцентрик находится на одной стороне, а валы  $a$  и  $b$  расположены вертикально, он остается неподвижным во время вращения блока. К эксцентрику  $E$  крепится устройство  $R$  в форме лотка с тонкими стенками, узкого на конце, ближайшем к блоку, и расширяющегося на другом конце. Небольшое количество ртути помещено в блок, и когда он вращается со стороны узкой части лотка, часть жидкости забирается и тонким широким слоем отбрасывается к центру блока. Верхняя часть блока герметично закрыта железной шайбой, как показано, причем эта шайба крепится на стальном стержне  $L$ , а диск  $F$  из того же металла имеет несколько контактных лопаток  $K$ . Стержень  $L$  изолирован от блока шайбами  $N$ , а для удобства налива ртути предусмотрен небольшой винт  $o$ . Стержень  $L$ , образующий один вывод прерывателя, медной лентой соединен с первичной обмоткой  $p$ . Другой конец первичной обмотки  $p$  ведет к конденсатору  $C$ , помещенному в отсек короба  $A$ , другой отсек которого предназначен для переключателя  $S$  и контактных выводов прибора. Другой вывод конденсатора соединен с литой формой  $A$  и через нее с блоком  $D$ . При вращении блока контактные лопатки  $K$  с большой скоростью замыкают и размыкают контакт со ртутью, таким образом очень быстро замыкая и размыкая цепь. Применяя такой прибор, очень просто получить десять тысяч прерываний в секунду и более. Вторичная обмотка  $a$  состоит из двух отдельных катушек, расположенных так, что их можно вынуть, а металлическая полоса посередине соединяет обмотку с первичной. Это сделано для того, чтобы предотвратить пробой вторичной обмотки при перегрузке на одном из контактов, как это часто случается при работе с рентгеновскими трубками. Катушка такой конфигурации выдержит разность потенциалов значительно большую, чем выдерживают катушки обычной конструкции.

Мотор имеет пластинчатые ротор и статор для того, чтобы позволить ему работать от источника переменного и постоянного тока, а валы расположены как можно более вертикально для удобства смазки. Так, единственное, что требует какого-то внимания, — это коллектор мотора, но там, где всегда доступен источник переменного тока, эта проблема не стоит.

Электрическая схема прибора уже демонстрировалась, а режимы его работы описаны в периодических изданиях. Обычный способ подключения показан на рисунке 8, где  $A./\pm_2$  — это контактные выводы цепи питания  $/.$ , а также имеется катушка индуктивности для повышения напряжения, которая соединена последовательно с конденсатором  $C$  и первичной обмоткой  $PP$ . Остальные буквы обозначают части прибора и, соответственно, отмечены на рисунке 9, из которого ясно их назначение.

## 6. Лекция, прочитанная в Нью-Йоркской Академии наук 6 апреля 1897 Года

Уважаемые дамы и господа!

Вы все, несомненно, помните, какое воодушевление год тому назад вызвало заявление об открытиях, сделанных профессором Рентгеном. Внезапно, безо всякой подготовки, Рентген удивил мир двумя замечательными достижениями. Он показал нам, как можно получить фотографическое изображение предмета, невидимого глазу, и, что еще более необычно, он предоставил нам возможность при помощи светящегося экрана — ныне известного как флюороскоп — увидеть своими глазами очертания предмета. Мы живем в век необычайной интеллектуальной активности, когда часто происходят крайне важные открытия, но эти открытия стоят в одном ряду с изобретением телескопа и микроскопа, а такие открытия случаются не чаще одного или двух раз в столетие. Вряд ли кто-либо из нас может надеяться еще раз за свою жизнь стать свидетелем события, представляющего такой огромный научный и общественный интерес. Желание видеть вещи, которые навсегда скрыты от взора, живо в каждом разумном существе, оно охватывает весь спектр чувств: от праздного любопытства непросвещенных до всепоглощающей тяги к знаниям ученых мужей, и это само по себе не могло не возбудить всеобщего внимания; но и помимо этого, эти открытия принесли надежду на облегчение бесконечному числу страждущих, и по всему миру зазвучали струны гуманности. Вряд ли мне нужно говорить вам о том, что нервное возбуждение овладело и мной, но мой случай особый, очень серьезный, и я не избавился от последствий и по сей день. Надеюсь, вы позволите мне сделать небольшое отступление, для которого, впрочем, есть веская причина.

В конце 1894 года, понимая необходимость отдыха от напряженного труда над задачей, которую я решал несколько лет и которая до сих пор направляет мои усилия, мне вздумалось изучить актиническое действие фосфоресцирующих тел. Казалось, что предмет не изучен, и я начал работать немедленно, заручившись позже, по совету некоторых друзей, связанных с журналом «Century Magazine», поддержкой господ из компании Тоннель и К<sup>0</sup>, мастеров художественного фото из этого города [Нью-Йорк], а затем продолжил работать на этот журнал. Во время этих опытов я применял усовершенствованные устройства для создания мощных электрических колебаний, а также один из моих высокочастотных генераторов старого образца. Я ставил опыты с огромным количеством трубок Крукса, одноэлектродных ламп и вакуумных трубок без внешнего электрода. Вскоре обнаружился удивительный факт, а именно: сила актинического действия трубок Крукса значительно варьировалась, а некоторые, дававшие сравнительно сильное свечение, почти не производили эффекта, в то время как остальные, гораздо меньшей световой мощности, давали хорошие отпечатки. Здесь я бы хотел заметить, чтобы быть правильно понятым, что мои усилия были направлены на исследование такого действия настоящего фосфоресцирующего свечения, которое исходит от ламп, не выделяющих сколь-нибудь значительного тепла, а не от вакуумных ламп накаливания, хотя некоторые фотоснимки были сделаны с их помощью. Поскольку фотографы и я были заняты еще и другими делами, пластины, в их обычных футлярах, часто складировались в углу лаборатории до тех пор, пока не представится возможность продолжить опыты. Во время этих исследований некоторые пластины показали хороший результат, иные — никакого, а на некоторых м-р Элли, помогавший мне в то время, и я

заметили непонятные отметины и дефекты. М-р Элли, заметил, что, несмотря на его старания, некоторые пластины оказались с дефектами и плохого качества. Снимая на пластины при помощи трубок Крукса, я вспомнил об опытах Ленарда, эксперименты которого, особенно с чувствительными пластинами, поразили меня с самого начала, и я решил пойти по этому пути еще раз, прибегнув к помощи ассистента и усовершенствованной аппаратуры. Именно тогда, когда мое внимание было поглощено этими необычными свойствами трубок и пластин, вся моя лаборатория и почти всё, что там находилось, были разрушены; и несколько следующих месяцев восстановительных работ заставили меня забыть о моих планах. Едва этот труд был закончен и я вновь приступил к работе над своими идеями, как моего слуха достигли вести о достижениях Рентгена. Внезапно мне открылась истина. Я поспешил воспроизвести эти опыты, информация о которых была неполной, и тут я сам увидел это чудо. Тогда — слишком поздно — я осознал, что дух, ведущий меня, вновь направлял мои действия, но я не смог понять его загадочных знаков.

Рассказ об этих событиях мог быть неверно истолкован в то время, когда Рентген объявил о своём открытии, поэтому я молчал, хотя мне не удалось полностью подавить свои чувства в первых строках ряда статей, которые я посвятил данному предмету и опубликовал в журнале «Electrical Review». Теперь же я не испытываю страха от того, что кто-то не так поймет меня, и излагаю мой нелегкий, но побуждающий к действию опыт для того, чтобы те, кто с легкостью и поверхностно писал об истории этого нового направления в науке, смогли более тщательно подойти к его оценке. Я довольно хорошо был знаком с результатами труда Ленарда и, естественно, часто размышлял о его прекрасных и многообещающих экспериментах, и всё же мне никогда не приходило на ум, что пластины могут быть испорчены или иметь отметины благодаря действию трубок. В то время, как многие могут счесть это за проявление моей близорукости, иные, более расположенные ко мне люди, так же, как и я, найдут в этом яркий пример словам Гёте, которые я дословно не буду цитировать, но смысл таков: то, что Природа не намерена раскрывать человеческому разуму, он не сможет взять у нее при помощи болтов и рычагов.

Но если мне и не удалось разглядеть то, что увидели другие, я всегда придерживался мнения, и теперь оно еще более укрепилось, что дух-водитель не оставил меня, а, напротив, вел меня дальше, и в верном направлении — к пониманию природы этих необычных явлений. Возможно, представив вашему вниманию некоторые обнаруженные мной факты, в дополнение к тем, о которых уже было объявлено, я смогу склонить хотя бы некоторых из вас толковать эти явления так же, как это делаю я. Однако, дабы не потерять нить разговора сегодня вечером, должен просить вашего разрешения в нескольких словах рассказать о тех новейших приборах, которые вы видите перед собой. Когда я задумываюсь об их происхождении, вижу, что идея этих приборов совершенно точно взята мною из первоначального убеждения в том, что получение электрических колебаний высокой частоты — это ключ к решению многих серьезных проблем в науке и производстве. Какими бы нелепыми ни казались вам эти машины, они — результат усилий многих лет, и я с полной ответственностью могу заявить, что много раз трудности, которые я встречал на пути совершенствования этих аппаратов, казались мне настолько великими, что почти отнимали у меня мужество продолжать работу. Когда исследователь вынужден потратить несколько лет кропотливого труда только на то, чтобы узнать, что микроскопическая лакуна или пузырек воздуха в жизненно важной части механизма губительна для достижения результата, к которому он стремится; когда он обнаруживает, что его машина не работает, как нужно, только потому, что провод, который он использует, на четверть дюйма короче или длиннее; когда он выясняет, что теперь часть его устройства становится прохладнее каким-то непостижимым образом, а затем та же часть перегревается, причем условия эксперимента неизменны; когда на каждом шагу он сталкивается с наблюдениями, которые ставят его в тупик, а обычные методы измерения и инструменты непригодны, тогда он движется медленно, а его энергия расходуется невероятно быстро. Наконец-то я рад сообщить, что одержал верх, по крайней мере, над основными трудностями, и теперь ничто серьезное не

стоит на пути получения электрических колебаний в несколько миллионов раз в секунду от обычных источников, используя простые и довольно дешевые приспособления. О том, что это означает, распространяться и не нужно. Это будет по достоинству оценено теми, кто следил за развитием событий в этой и смежных областях знаний. Машины, которые вы видите перед собой, лишь несколько образцов из тех, что я разработал, и их предназначение — заменить обычную катушку индуктивности во многих сферах ее применения.

Что касается общего принципа, лежащего в основе этих преобразователей, или, выражаясь более точно, электрических осцилляторов, то он довольно прост, и был выдвинут мною пять или шесть лет назад. Конденсатор заряжается от любого доступного источника, а затем любым удобным способом разряжается через цепь, содержащую, как в данном случае, первичную обмотку трансформатора. На рисунке 1 показаны генератор  $G$ , конденсатор  $C$ , а для зарядки и разрядки последнего предусмотрен прибор  $B$ , работающий так, чтобы создавать постоянное прерывание в диэлектрике. Если контур  $L$ , который содержит высоко- или низковольтный прибор, через который разряжается конденсатор, правильно настроен, то возникают крайне быстрые электрические вибрации, какие, насколько мы знаем, невозможно получить иным способом; эти колебания, в свою очередь, индуцируют в соседней цепи подобные же колебания, дающие любопытные эффекты. Познакомившись с ними уже тогда, когда законы, управляющие этими явлениями, еще не были до конца изучены, я сохранил в памяти некоторые понятия, сформированные в то время, которые, несмотря на примитивизм, сохраняют актуальность в свете наших расширившихся познаний. Я связал конденсатор с резервуаром  $R$ , в который при помощи насоса  $P$  подается несжимаемая жидкость  $W$ , подобная воде, через трубу  $p$ , как показано на рисунке 2, где жидкость представляет собой электричество, насос — это генератор, а труба — это соединительный провод. Резервуар имеет подвижное дно  $B$ , которое удерживается в верхнем положении пружиной  $S'$  и открывает шлюзы  $oo$ , когда уровень жидкости достиг определенной отметки и ее давления достаточно для того, чтобы преодолеть сопротивление пружины. Дополняют модель переменный груз  $ш$ , винт  $5$ , меняющий сопротивление пружины, и клапан  $v$ , служащий для регулирования потока жидкости. Когда дно поддается, жидкость в резервуаре начинает двигаться с некоей скоростью, приобретая механический момент, что приводит к возрастанию давления на дно и оно движется выше, вследствие чего в сосуд поступает жидкости больше, чем может пропустить подающая труба, и пружина занимает свое прежнее положение, вновь закрывая шлюзы, после чего процесс повторяется вновь с более или менее быстрой последовательностью. Это движение дна вверх и вниз можно сравнить с прерыванием и восстановлением проволочного контура, фрикционное сопротивление механической системы — с омическим сопротивлением, и, очевидно, инерцию движущихся предметов — с самоиндукцией электрической цепи. Теперь становится очевидным: для того, чтобы поддерживать движение системы без использования дополнительных устройств, средняя скорость подачи через трубу должна быть меньше средней скорости отдачи из сосуда, ибо, если будет наоборот, то шлюзы так и останутся открытыми и колебания прекратятся. Чем более скорость подачи приближается к скорости опорожнения, тем быстрее колебания дна; и если мы поразмышляем над простыми механическими принципами, то нам тем более станет ясно, что если подача воды идет настолько же быстро, насколько дно колеблется само по себе, то и амплитуда колебаний будет наивысшей, давление на дно будет наивысшим, и наибольшее количество воды будет вытекать через шлюзы. Все эти соображения верны и для электрической цепи, и во время опытов с высокочастотными устройствами, в которых эти эффекты были намеренно усилены для удобства наблюдения, и я понял, что указанное условие выполнимо, когда емкость, индуктивность и частота колебаний находятся в определенном соотношении, и данное наблюдение я применил во время настройки индуктивных контуров. Вы заметите, что это условие, определяющее соотношение скорости заряда и разряда, очень важное в практическом отношении, в особенности тогда, когда не применяется никаких приборов, воздействующих на пробой диэлектрика, является вполне самостоятельным правилом и его не следует путать с

правилом, определяющим колебательный характер разряда, над которым давным-давно работал лорд Кельвин.

Чтобы сделать следующий шаг в развитии этого принципа и его практическом применении надо было связать его с системой, показанной на рисунке 3, катушкой самоиндукции  $L$ , как указано на диаграмме, которая изменяет действие системы теперь уже понятными способами. В упрощенной форме от конденсатора, как прерывающей части контура, отказались, а необходимая емкость придана самой катушке, для чего витки были намотаны так, как показано на рисунке 4, чтобы накопить надлежащее и наибольшее количество энергии. Тогда я связал вторичную обмотку  $S'$  с первичным контуром  $P$ , как показано на рисунке 5, и это дало возможность получить любое необходимое напряжение. После этого была использована схема, показанная на рисунке 6, как наиболее удобная для муниципальных электрических цепей. И вновь не требующий объяснения рисунок 7 иллюстрирует типичную конструкцию машин с двумя и более контурами. Видоизмененная версия такой схемы с одним непрерывным контактом, общим для двух контуров и особыми прерывателями для каждого из них, позволяет легко настраивать фазы токов в первичной обмотке, что дает практическое преимущество таким устройствам. И наконец рисунок 8 показывает точное расположение частей и контуров одного из небольших осцилляторов, имеющих прерыватель, подобный тем, что применяются с индукционными катушками. И хотя большинство из показанных схем я объяснял ранее, мне показалось необходимым остановиться на них еще раз сегодня, чтобы представить предмет беседы ясно и со всех сторон.

Особо ценный результат от работы рентгеновских трубок можно получить, используя два контура, соединенных, как показано на рисунок 7, либо иным образом, а также при помощи независимых контуров с двумя первичными обмотками. А именно: в обычных бытовых лампах вакуум усиливается, когда ток через первичную обмотку течет в определенном направлении и уменьшается, когда направление тока меняется. Это прямое следствие различных условий, которые, как правило, имеют место во время эксплуатации обычных устройств; то есть, асимметричность разнонаправленных импульсов тока, неодинаковые габариты, конфигурация или температура обоих электродов, либо подобные причины, которые имеют тенденцию делать неравномерным рассеивание энергии с электродов. Следует, однако, заметить, что до определенного момента, когда электроды начинают действовать совершенно независимо, вакуум продолжает нарастать независимо от того, в каком направлении течет ток через первичную обмотку. На схеме, показанной на рисунке 7 или ее вариантах, о которых говорилось, основной источник проблем отсутствует, поскольку направление тока через первичную обмотку постоянно автоматически меняется и, таким образом, трубка, из которой первоначально воздух был откачан, может работать долгое время без возрастания вакуума и не теряя своей эффективности.

Фотоснимок одного из таких устройств в сборе, специально приспособленного для работы с рентгеновскими лампами, или как лабораторный аппарат вместо обычной индукционной катушки (рисунок 9) дает представление о расположении его частей. Конденсатор  $C$  (рисунок 8) помещен в короб  $B$ , в передней части которого вверху располагается мотор для управления цепями, в данном случае это простая обмотка  $L$ , приводящая в движение пружину 5, установленную сверху на обмотке.

Эта обмотка, обозначенная КЯК 33. рядная, в то же время служит для увеличения напряжения до величины, необходимой для заряда конденсатора. Это очень важное практическое преимущество, так как оно позволяет понизить емкость последнего до такой величины, чтобы она равнялась лишь нескольким процентам от мощности, требуемой для преобразования энергии в иных случаях. Кроме того, чем меньше емкость, тем быстрее

колебания, и тем короче должна быть вторичная обмотка высокого напряжения. Разрядная цепь  $P$ , расположенная вокруг вторичной обмотки  $S'$ , сформирована из нескольких витков медной ленты и помещается сверху короба за зарядной обмоткой, причем все соединительные провода должны быть как можно меньшей длины, для того чтобы уменьшить самоиндукцию и сопротивление разрядной цепи. На передней части короба (рисунок 9), где располагается конденсатор, установлены клеммы для подключения к сети, два небольших предохранителя и переключатель. Вдобавок ко всему есть два винта, которые служат для подъема и опускания железного сердечника, что позволяет в ощутимых пределах регулировать силу тока питания и таким образом подстраивать разряд вторичного контура. Весь прибор со снятыми резиновыми стойками для крепления разрядных стержней, которые показаны на рисунке сверху, умещается в коробке размером 12 x 9 x 6 дюймов (габариты внутренние).

Принцип его работы может быть описан следующим образом. Вначале, когда контакты пружины  $cc$  (рисунок 8) замкнуты и конденсатор практически закорочен, через зарядную обмотку проходит ток большой силы, притягивая якорь, соединенный с пружиной, и размыкая контакты. После этого энергия, накопленная в обмотке, принимает формы высоковольтного разряда и устремляется в конденсатор, заряжая его до высокого потенциала. Сила тока, проходящего через обмотку, теперь падает и притяжение якоря ослабевает, поэтому пружина возвращается в исходное состояние и вновь замыкает контакты. После замыкания последних, конденсатор разряжается через первичный, или разрядный, контур, контакты которого подобраны таким образом, чтобы приводить к высоким колебаниям электромагнитную систему, включая конденсатор и первичную обмотку. Полученные таким способом высокочастотные токи индуцируют соответствующие токи высокого напряжения во вторичной обмотке. Однако в тот же самый момент когда разряжается конденсатор, ток от источника устремляется через зарядную обмотку и энергия накапливается для нового заряда конденсатора, и этот процесс повторяется с частотой замыкания и размыкания контактов пружины.

Хотя прибор и имеет все неотъемлемые черты обычной индукционной катушки, нетрудно увидеть, что работает он совершенно по-иному, а преимущества нового принципа над старым настолько велики, что вряд ли требуют долгих объяснений. Лишь для того, чтобы дать слушателям полную информацию, я упомяну только некоторые и наиболее важные из них. Возьмем, к примеру, экономичность. Описываемый прибор при том, что он питается от 110-вольтовой сети, потребляет всего, при соответствующей нагрузке и настройке, от 5 до 30 ватт. Он дает мощный поток искр длиной 6 дюймов, но при желании этот показатель нетрудно удвоить без увеличения потребляемой энергии; фактически я обнаружил, что можно- при помощи этого прибора добиться потока искр длиной один фут, при этом потребление энергии возрастет всего лишь до 10 ватт. Но в таком приборе, который предназначен для многоцелевого использования, следует отступить от конструкции, предназначенной для производства длинных искр. Из всей энергии, потребляемой устройством, добрые 80 процентов можно получить на вторичной обмотке. Вследствие небольшого количества потребляемой энергии и эффективности преобразования все части прибора остаются холодными при длительной работе за исключением контактов, которые, конечно, немного нагреваются. Последние подвергаются значительно меньшему износу, чем это бывает обычно, поскольку конденсатор очень мал, и, более того, ток, поступающий от него, в отличие от обычной катушки, не просто проходит через контакты и соединения, но пронизывает первичную обмотку, таким образом снижается сила тока и уменьшается эффект нагревания.

Теперь обратите внимание на отсутствие тонкого провода во вторичной обмотке. Вследствие высокой скорости колебаний первичных токов требуется сравнительно немного

витков толстого провода для того, чтобы создать необходимое напряжение во вторичном контуре. Для того чтобы проиллюстрировать это свойство на практическом примере, я беру обычный картонный цилиндр с намотанным на него в один слой обычным обмоточным проводом, который образует вторичную обмотку. Несмотря на небольшое количество витков, получаем искры длиной несколько дюймов, когда обмотка включается в цепь или подносится к разрядной цепи прибора. Вторичная обмотка такой формы более всего подходит для получения длинных искр, но с ней не очень удобно работать.

Однако самые выгодные свойства таких приборов заключаются в качестве получаемых эффектов, а они есть результат скорости или внезапности разрядов. Для того чтобы оценить это свойство, нам надо представить себе, что для искры длиной, скажем, 6 дюймов, получаемой от прибора, дающего полмиллиона колебаний в секунду, требуется максимальное напряжение, которое, если его получить обычным способом, даст нам искру длиной несколько сот футов, так как электрическая сила, необходимая для возбуждения колебания определенного количества электричества, возрастает крайне быстро, то есть в квадрате по отношению к частоте колебаний. Следовательно, напряжения, которое мы имеем здесь, невозможно добиться при использовании обычных электростатических машин или катушек индуктивности.

Еще одну особенность более практического свойства я могу проиллюстрировать, осветив вакуумную трубку посредством прибора, выдающего ток с частотой колебаний более полумиллиона в секунду. Хотя трубка имеет в объеме не более двух с половиной дюймов, она дает больше света, чем трубка длиной 7 футов и полтора дюйма в диаметре, какую я уже демонстрировал (она больше ее в шестьдесят раз и потребляет соответствующее количество энергии). Эта маленькая трубка, не может светиться так же ярко при использовании обычных токов и не перегреться, и нельзя придумать лучшего испытания эффективности производства света, чем вызвав яркое свечение в такой маленькой лампе без ее перегрева.

Еще одной полезной и удобной особенностью такого прибора является его способность работать как от источника переменного тока, так и от муниципальной сети постоянного тока. Специально для того чтобы приборы могли наилучшим образом работать от источников переменного тока, я установил в некоторых моделях физические параметры таким образом, чтобы они идеально работали от источников с частотой тока 60 или 125 циклов в секунду.

Во время разработки и практического применения принципа, лежащего в основе такого рода устройств одной из серьезнейших проблем, с которыми я столкнулся, была изоляция вторичных обмоток и конденсаторов, в особенности последних. Энергия, накапливаемая в конденсаторах, имеет взрывной характер, и когда она внезапно высвобождается, как это происходит в подобных приборах, она приобретает многие черты взрывчатки, такой, как динамит, одновременно создавая напряжение, которое приводит слои диэлектрика в конденсаторе и вторичной обмотке до крайнего состояния. Вне зависимости от того, насколько качествен диэлектрик и какой толщины его слой, он не может выдержать такого напряжения, если только возникнет малейшая потеря на поглощение в напряженной части устройства. Обычный конденсатор, изолированный толстым слоем слюды, который легко выдерживает несколько тысяч вольт постоянного или медленно колеблющегося напряжения, пробивается неминуемо, и неудивительно, ибо при вибрациях в несколько сот тысяч раз в секунду такой конденсатор, содержащий пузырьки воздуха и лакуны разного рода, неизбежные при обычном способе производства, преобразует в тепло большую часть энергии, сообщенной ему. Исследовать переменный ток в катушке с цельным железным сердечником едва ли легче, чем изучать быстрые электрические колебания в конденсаторе, имеющем лакуны и воздушные пузырьки, или в котором воздух имеет доступ к сильно заряженным проводникам. В таком случае нельзя просчитать период колебания электромагнитной системы даже с приблизительной точностью, в то время как, если следовать надлежащей схеме конструирования устройства и избежать рассеивания энергии, экспериментальный результат близко соседствует с расчетным. Я создал электромагнитные системы, в которых медленные колебания, начавшись, продолжались минуту или более,

таким образом показывая отсутствие фрикционных потерь. Вышеописанные факты важно принимать во внимание при работе со стандартными параметрами и измерительным инструментом. Типовой конденсатор, изготовленный из слюды и фольги, покажет точную расчетную емкость при работе с постоянным или медленно колеблющимся потенциалом, а при крайне высокой частоте изменения потенциала его расчетная емкость сильно возрастет. Подобным же образом электростатический вольтметр, крыльчатка которого окружена воздухом, является ценным измерительным прибором во время работы с обычными токами, но становится практически бесполезным для измерения разрядов конденсатора, частота которых несколько сот тысяч в секунду, так как его показания слишком низки.

Ввиду важности предмета разговора не лишним будет сказать несколько слов о процессе изолирования, который был принят мной на вооружение после нескольких лет опытов. Одно из устройств, которыми я пользовался, продемонстрировано на рисунке 10.

Сосуд *A*, способный выдерживать огромное давление, соединен с насосом *E* и его резервуаром *H* посредством конденсирующего резервуара *F*, который охлаждается при помощи змеевика *G*. Сосуд *A* также имеет змеевик *C*, через который по мере необходимости может проходить пар или прохладная вода. Конденсатор изготавливается из изолирующих и проводящих пластин так, как это удобно, причем диэлектрик состоит из нескольких сложенных вместе листов бумаги, для того чтобы избежать дефектов, возникающих вследствие порывов или проколов. По той же самой причине следует менять местами листы бумаги после получения их от производителя, поскольку многие из них могут быть пробиты в одном и том же месте. После того как конденсатор был испытан путем подачи умеренного электрического напряжения от обычной электросети напряжением 220 вольт, его помещают в конический сосуд *B*. Здесь можно применить патрубок *D*, ведущий к нижней части сосуда, причем через него может подаваться расплавленный изолирующий материал, но это не столь важно. После этого сосуд *B*, содержащий конденсатор, помещается в сосуд *A*, верхняя часть которого закрывается винтом и затем через змеевик *C* подается пар, и изолирующее вещество имеет нужную температуру, которая немного выше точки плавления смеси, а это достигается регулированием подачи пара. Теперь путем открывания соответствующего клапана сосуд соединяется с насосом и устанавливается вакуум на уровне примерно 29 дюймов или немного выше. Когда расплавленная масса как следует заполнила пустоты конденсатора, подача пара прекращается и в змеевик *C* подается холодная вода. После того как процесс медленного охлаждения достиг нужной точки, насос реверсируется и в сосуд *A* поступает воздух, для того чтобы сильно сжать жидкий изолятор и заполнить им все пустоты. Желательно поддерживать давление до тех пор, пока масса не затвердеет. Подача давления нужна не только для того, чтобы изолирующая масса заполнила пустоты и не сжалась при охлаждении, но и для того, чтобы маленький пузырек воздуха, возможно, оставшийся в конденсаторе, и при атмосферном или чуть более высоком давлении могущий безнадежно повредить устройство, был сильно сжат и опасность от его воздействия значительно уменьшилась. После того как масса в сосуде *A* затвердела, в змеевик *C* вновь подается пар для того, чтобы размягчить изоляцию по краям и иметь возможность извлечь сосуд *B*, после чего конденсатор вынимается и излишняя изоляция обрезается. Таким же образом поступают с первичной и вторичной обмотками. Я обнаружил, что в качестве изоляционного материала лучше всего использовать смесь пчелиного воска и парафина с низкой точкой плавления, взятых равными частями. Это дает твердую массу, которая не отстает от металла при охлаждении. Конденсаторы и обмотки, изготовленные таким способом, выдерживают немислимое напряжение.

Очень часто при настройке первичного разрядного контура между выводами конденсатора проскакивает искра длиной  $\frac{3}{8}$  или  $\frac{1}{2}$  дюйма, и всё же конденсатор не портится, хотя толщина диэлектрика составляет всего лишь несколько тысячных дюйма. Мне не удалось зарегистрировать какое-либо повышение температуры конденсатора после его длительной работы.

Для того чтобы вторичные обмотки выдерживали воздействие огромного напряжения, которое можно получить при помощи таких приборов, я считал необходимым изготавливать их в соответствии со схемой, показанной на рисунке 11. Рисунок демонстрирует две плоские, спирально намотанные обмотки  $S, S_2$ , которые своими внешними концами соединяются с контактной пластиной  $p$  таким образом, чтобы на самом деле образовать единую вторичную обмотку, выводы которой находятся точно по центру двух дере-

вянных шпудлей, на которых намотаны две части обмотки. Шпудли удерживаются вместе цилиндром, изготовленным из тонких волокнистых пластин  $ff$ , достаточно плотным, чтобы обеспечить твердость, и перфорированным, чтобы расплавленный воск мог заполнить пустоты во время процесса изолирования, описанного выше. В центре шпудлей расположены медные резьбовые втулки  $bb$ , соединенные со свободными концами вторичной обмотки  $S, S_2$  и в которые можно ввернуть медные части  $ss$ . Последние соединены с концами полых пробок из твердой резины  $gg$ , сквозь которые пропущены гибкие провода  $ww$ , плотно изолированные гуттаперчей, и которые ведут к штырям разрядника, установленного в верхней части прибора (рисунок 9). Советуем не изолировать эти провода мягкой резиной, которая вскоре разрушится под воздействием озона, образующегося на поверхности проводов вследствие излучаемых потоков, даже если слой резины очень толстый. Толщина изолирующего слоя между наложенными слоями вторичной обмотки определяется исходя из расчетного напряжения между слоями. Первоначально я пользовался хорошо изолированными проводами с оплеткой в два-четыре слоя, но теперь я применяю обычный намоточный провод, толщина оплетки которого примерно равна толщине самого провода. Это удобный способ изоляции, который не требует специально подготовленного провода и обеспечивает отличный результат. Середина вторичной обмотки, или общий контакт двух обмоток, соединяется с землей или питающим проводом, а он преимущественно с первичным разрядным контуром, причем небольшая контактная пластина или пружина  $p$  служит для установки соединения, когда вторичные обмотки вставляются в первичную.

Длина каждой из вторичных обмоток рассчитывается таким образом, чтобы она составляла примерно четверть длины волны электромагнитного возмущения, происходящего во вторичной цепи, и основывается, конечно, на практическом расчете скорости прохождения этого возмущения через цепь. Само собой разумеется, что длина вторичной обмотки будет лишь приблизительно равна четверти длины волны в зависимости от того, какова емкость цепи при нормальных рабочих условиях. При обычном применении прибора для получения количественных эффектов разрядов высокого напряжения для емкости выводов делается небольшой допуск, но если прибор создан, например, для получения большого количества потоков между пластинами большой площади, либо для зарядки конденсаторов от вторичной обмотки, или для чего-то подобного, тогда длина провода вторичной обмотки делается значительно короче, и желательно, чтобы она уменьшалась в равной доле от четверти длины волны, которая возникает без какого-либо допуска на емкость, кроме емкости катушки. И наконец, если нужно получить токи сравнительно небольшого напряжения, обмотку следует изготовить из одной шпудли и нескольких слоев, которые располагаются вблизи первичной обмотки для того, чтобы повысить коэффициент взаимной индукции и как можно более уменьшить резонансное повышение потенциала. Помещение магнитного контура в кислород при обычном или повышенном давлении, которое не имеет особого значения при наличии тока низкой частоты, оказывает серьезное воздействие при наличии токов такой необычно высокой частоты, в особенности в условиях, благоприятных для возникновения резонанса, и я предчувствую практическое применение кислорода в данном направлении.

Вторичные обмотки, изготовленные способом, показанным на рисунке 11, имеют много преимуществ, и главные из них — безопасность работы и способность создавать потенциал, гораздо более высокий по сравнению с обычными обмотками. Для того чтобы дать вам представление о том, какое напряжение можно получить при помощи такого небольшого прибора, прилагается его фотография в работе с двумя петлями провода с изоляцией из

хлопка, соединенного с разрядными стержнями (рисунок 12). Внешняя петля имеет длину всего 22 дюйма, чтобы уместилась на фотографии, но могла быть и длиннее, так как два параллельных провода длиной по 15 дюймов можно протянуть от выводов вторичной обмотки прибора и почти всё пространство между ними, шириной 4 дюйма, светится в темноте от пронизывающих его потоков, то есть площадь потоков 5 квадратных футов, и всё же энергия, потребная для питания этого контура во время эксперимента, составляет лишь 35 ватт. Для того чтобы при помощи обычного трансформатора получить такое количество стримеров, необходимых для производства озона или для чего-то подобного, потребуется гораздо большее количество энергии и гораздо более дорогая аппаратура.

Такие экстремальные разности потенциалов, которые можно получить путем применения описанного здесь принципа, — результат внезапности или скорости изменения импульсов первичного тока. При использовании обычного метода изменения силы первичного тока, либо путем превращения его в переменный, либо путем прерывания цепи мы ограничены сравнительно небольшой скоростью изменений, которые можно получить от высокочастотного генератора или быстрого прерывателя, но применяя конденсатор, внезапность разрядов практически неограниченна и можно получить любую длину искры или потенциал. Так, например, применяя этот принцип особым способом, мне удалось создать громадное электрическое напряжение, максимальное значение которого теоретически могло быть выражено только миллионами вольт, что вызвало проливной дождь или постоянный поток толстых, грохочущих искр, которые вырывались в пространство на расстояние восьми или девяти футов от изолированного провода, и эти искры иногда вели себя как настоящие молнии, и для тех немногих, кто стал свидетелем этих событий в моей лаборатории за последние два или три года, они явились незабываемым зрелищем. Длину этих искр и потенциал нетрудно увеличить в более объемном помещении или на открытом воздухе во много раз путем применения соответствующих средств и методов.

Хотя в таких осцилляторах высокая степень внезапности изменения величины тока в основном зависит от электрических констант цепи, некоторые менее значительные, но практически важные показатели могут быть обеспечены путем правильной конструкции устройств, применяемых по необходимости, но совсем не обязательных, когда дополнительное оборудование замыкает и размыкает цепь. Разумеется, я посвятил много времени их изучению и совершенствованию, и, что касается контуров, показанных на рисунках 1, 3, 4 и 5, я много писал о них в своих ранних трудах, равно как и работе прерывателей в вакууме, воздухе и жидкостях под различным давлением.

Уже давно известно, еще со времен, когда проводил свои исследования Поггендорф, что, когда вибропреобразователь или прерыватель катушки индуктивности заключены в сосуд, откуда откачан воздух, прерывание тока происходит более эффективно, так как вакуум ведет себя подобно конденсатору, обволакивающему прерыватель. Мои опыты с несколькими типами таких устройств привели меня к пониманию того, что вакуум — это не точная копия конденсатора, но скорее абсорбент, причем усиление скорости прерывания объясняется быстрым отводом улечившегося вещества, которое образует дугу, а следовательно, зависит от скорости такого отвода и количества вещества. Так, при использовании твердых платиново-иридиевых контактов и небольшой силы тока разница невелика, но применяя мягкую платину и большую силу тока влияние вакуума очень заметно, в то время как ртуть или легко испаряемые контакты дают огромную разницу. Размеры вакуумного сосуда тоже важны: чем больше сосуд, тем больше скорость прерывания. Взглянув на исследования Поггендорфа в таком свете, я ясно понял, что можно добиться лишь небольшой скорости частиц, составляющих дугу, поскольку эффективное давление — по крайней мере при низкочастотных импульсах, зависящих от механических средств и токов ограниченной силы, которые можно пропускать через контакты, не боясь быстро их разрушить, — обязательно составляет небольшую долю обычного атмосферного, а оно, к тому же, сильно снижается вследствие взаимного притяжения параллельных составляющих тока в дуге. Рассуждения в

том же направлении привели меня к мысли, что если бы удалось механически нагнетать в зазор изолирующую жидкость со скоростью, достаточной, чтобы частицы, формирующие дугу, уносились быстрее, чем это происходит в вакуумной среде, внезапность разрядов усилилась бы. Этот вывод был подтвержден моими опытами, которые показали, что жидкий изолятор, такой как масло или спирт, пропускаемый через искровой промежуток даже с умеренной скоростью, позволял значительно повысить скорость изменения первичного тока и уменьшить длину провода во вторичной обмотке до 25 процентов от обычной длины. Длину провода вторичной обмотки удалось еще сократить путем нагнетания жидкости под высоким давлением. Что же касается внезапного броска тока, следующего за замыканием контактов, то применение диэлектрика или пленки, более прочной, чем воздух при обычном давлении, хотя и дает видимый эффект, не имеет большого значения, когда прерыватель во время работы разрывает дугу, так как эдс батареи или муниципальной электросети крайне недостаточно для того, чтобы пробить изолирующую пленку даже толщиной в одну тысячную дюйма.

Постоянные усилия, направленные на усовершенствование разнообразных автоматических приспособлений для контроля тока питания, четко выявили ограниченность таковых вследствие их механики, и идея использования конденсаторов, как средства получения, независимо от таких механических устройств, внезапных изменений параметров тока, которые необходимы в прикладных областях, является удачным и своевременным решением. В таком новом для всех процессе механические средства выполняют лишь незначительную функцию, а именно: периодически заставляют колебаться электромагнитную систему, и они должны лишь удовлетворять требованиям надежности в работе и долговечности (этим могут заняться механики), которых, в определенной степени, мне нетрудно было добиться во многих устройствах.

Итак, памятуя о том, что скорость изменения разряда или первичного тока в таких приборах в основном зависит от физических констант контура, через который происходит разряд, становится очевидным, что необходимо правильно сконструировать такой контур, и во время опытов, которые я проводил с этой целью, мною были сделаны небезыңтересные наблюдения.

Во-первых, можно сделать очевидное заключение: поскольку первичная обмотка в таком трансформаторе обычно состоит из нескольких витков медной ленты с сопротивлением, которым можно пренебречь, то и изоляция между витками не требует особого внимания. Но практический опыт вскоре убеждает нас в нашей ошибке, ибо часто случается так, что вследствие огромного резонансного подъема, разность потенциалов на соседних витках достигает такого значения, что происходит пробой даже при использовании очень хорошей обычной изоляции. По этой причине я счел необходимым поступить с первичной обмоткой таким же образом, как было описано выше, добившись твердости, которая получается в результате вытягивания металлических пластин и уплотнения изолирующих слоев во время нагревания в вакууме и последующего сжатия металла во время охлаждения до нормальной температуры после того, как диэлектрик затвердел.

Затем экспериментатор будет удивлен, обнаружив важность правильного выбора длины первичной обмотки и способа ее соединения. Он, естественно, готов увидеть, что, поскольку разрядный контур невелик, включение в этот контур небольшой индуктивности или фрикционного сопротивления даст ощутимую разницу в результате, например, в длине искры на вторичной обмотке. Но он, конечно, не ожидает того, что иногда даже четверти дюйма провода достаточно для получения зримого эффекта. В качестве примера: несложно при помощи такого аппарата получить искру длиной несколько футов, а удалив или добавив к первичной обмотке дюйм толстого медного провода, можно сократить искру наполовину. Наблюдения такого рода впечатляют экспериментатора необходимостью точной настройки контуров и определения их констант. Его внимание, помимо его воли, привлекается тогда к преимуществам, которые можно получить от снижения самоиндукции и сопротивления разрядной цепи, причем первое обеспечивает наибольшую частоту вибраций, и второе —

экономии. Он также начинает понимать важность сведения к минимуму длины и сопротивления всех соединительных частей и проводов. Хорошо сконструированный прибор и его разрядный контур должны иметь не более пяти процентов неактивного проводника, его сопротивление должно быть крайне малым, а самоиндукция не должна составлять более нескольких сот сантиметров. Я обнаружил, что практически обязательно для постройки первичной обмотки надо применять тонкую медную ленту, и именно ее использование позволило сделать некоторые любопытные наблюдения. Выяснилось, что при определенных условиях в процессе работы первичная обмотка становится ощутимо прохладнее. Довольно длительное время я сомневался в таком результате, пока не доказал положительно, что это происходит вследствие эффекта Томсона, когда тепло от первичной обмотки передается на пластины конденсатора.

Поначалу может показаться неясным, почему первичный разрядный контур так чувствителен к изменениям длины, ибо цепь любой длины может быть подключена к конденсатору, и если соотношение между сопротивлением, емкостью и самоиндукцией удовлетворяет условиям, определенным лордом Кельвином, произойдет колебательный разряд. Но следует помнить, что скорость распространения возмущения в контуре зависит от этих величин, и наилучшего результата можно достичь, когда скорость такова, что формируется стоячая волна с одной точкой пересечения, расположенной почти всегда в точке контура или проводника, равноудаленной от пластин конденсатора. При таком условии достигается максимальное напряжение на выводах конденсатора. Но такое состояние возможно только тогда, когда скорость распространения по контуру такова, что возмущение проходит с интервалом, необходимым для завершения половины колебания. Итак, поскольку скорость крайне высока, а длина контура очень мала, даже незначительные изменения длины могут привести к поразительным изменениям в работе устройства. Эти утверждения, конечно, не следует воспринимать как обязательные для каждого случая, такие события имеют место только в случаях, когда колебание разрядного контура, начатое колебанием контроллера, не затухает до начала следующего колебания контроллера. Это можно наглядно проиллюстрировать на примере, взятом из механики. Представим пружину с грузом, подвешенную в тисках, которая начинает вибрировать после нанесенного по ней удара.

Дадим колебаниям затухнуть и нанесем следующий удар. Пружина начнет колебаться, как и прежде, и неважно, какой груз к ней подвешен, какова ее упругость, каков период колебаний и с каким интервалом наносятся удары, процесс преобразования энергии ударов в энергию колебаний будет происходить с одинаковой экономичностью, за исключением влияния второстепенных факторов, которые не играют сейчас никакой роли. То же самое происходит и с электромагнитной системой, и на ранних стадиях экспериментов и отладки прибора я использовал конденсаторы, обычные и электролитические, очень большой емкости и разряжал их со сравнительно большими интервалами через первичный контур, имевший крайне малую самоиндукцию и сопротивление, таким образом получая импульсы тока, достигавшие, по крайней мере, по подсчетам, максимальной величины 100 000 ампер. Таким способом я получал высокую максимальную скорость изменения, но тем не менее средняя скорость изменения была невелика. Если еще раз рассмотреть приведенный выше механический аналог, то из него немедленно можно извлечь урок. Рассматривая пружину как прибор для преобразования энергии, можно сделать вывод, что и экономия и мощность требуют, чтобы колебания продолжались как можно дольше, а удары наносились как можно чаще. Для того чтобы достичь этих требований, надо сделать так, чтобы удары наносились в то время, когда пружина еще колеблется, из чего следует — надо вовремя наносить их. Точно так же и в электромагнитной системе, контроллер цепи должен работать с определенными интервалами, чтобы обеспечить наибольшую частоту колебаний при наименьших затратах энергии. При создании прибора для практического применения принимается произвольное число базовых импульсов, и конденсатор, который изготавливается во время особого процесса, не может быть настроен без особых трудностей, а размер и в определенной степени количество витков первичной обмотки можно определить заранее, исходя из

практических соображений. Более того, нежелательно, из соображений экономии, прибегать к удобному в иных случаях способу настройки, когда последовательно с первичной обмоткой включается самоиндуктивность. Такие действия затрудняют настройку остальных параметров, и я время от времени прибегал к различным способам настройки, которые казались само собой разумеющимися. Например, поверх первичной я наматывал еще одну обмотку и включал ее параллельно первичной, либо точной настройки я добивался путем определения величины самоиндукции и емкости вторичной обмотки.

Для того чтобы облегчить процесс наблюдения и сделать возможным точное определение колебаний электромагнитной системы, равно как и колебания или обороты механических устройств, таких, как контроллеры цепи, применяемые вместе с такими системами, было решено обязательно создать устройство для этих целей. С самого начала я решил обзавестись устройством визуальной синхронизации. В таком устройстве обычно диск или цилиндр с отметками вращается с постоянной скоростью и периодически освещается световым сигналом, причем метки кажутся застывшими на месте, когда обороты диска синхронны периодам светового сигнала. Главное достоинство такого метода очевидно заключается в постоянстве скорости вращения или в постоянном периоде колебаний. Довольно рано столкнувшись с проблемой вращения тела с одинаковой огромной скоростью, что требуется во многих случаях, или с проблемой получения колебаний с постоянным периодом, я уделил некоторое внимание изучению этого предмета, и по прошествии времени у меня появилось несколько практических решений, более или менее удовлетворительных.

Одно из них, например, при помощи сжатого Воздуха или пара добиться колебаний свободного поршня, который жестко соединен с обмоткой или сердечником электрогенератора. Когда поршень двигался возвратно-поступательно, создавался переменный ток, который пропускаться через конденсатор или через первичную обмотку трансформатора, в этом случае вторичная обмотка последнего соединялась с выводами конденсатора. При соблюдении условия, что воздух или пар подавались только в течение короткого промежутка времени, когда поршень находился в срединном положении, а колебания электромагнитной системы, состоявшей из конденсатора и возбуждающей катушки, тщательно настраивались таким образом, чтобы имел место базовый резонанс, было обнаружено, что при таких условиях электромагнитная система полностью контролировала колебания поршня и что изменения в подаче жидкости, которые могли привести к изменению амплитуды колебаний, могли быть очень серьезными, но это не приводило к изменению периода вибраций механической системы, поэтому полученный ток имел строго определенный и постоянный период колебаний. В дальнейшем он по-разному использовался для получения равномерного вращения.

Еще один способ получить такой же результат, но более практичный — вырабатывать токи различных фаз посредством паровой машины особой конструкции, где возвратно-поступательное движение поршней, выполняющих работу, и соединенных с ними магнитных сердечников или обмоток контролируется свободным золотниковым клапаном, период колебаний которого устанавливается в постоянном положении при помощи механических средств или при помощи электромагнитной системы, как и в ранее описанном примере. Синхронный двигатель переменного тока, работающий от двух- или трехфазных токов вращается настолько равномерно, что приводит в действие механизм довольно точных часов.

Я могу упомянуть некоторые другие способы решения проблемы, которые, хотя и не являются настолько же удовлетворительными, всё же оказывались удобными и полезными во многих случаях. Например, мотор постоянного тока с листовым статором или без сердечника соединен последовательно с конденсатором через коллектор или прерыватель, укрепленный в полости легкого ротора. Этот прибор сконструирован таким образом, что он попеременно замыкает и размыкает контакты конденсатора, как и в вышеописанных устройствах. Когда контакты конденсатора замкнуты, через мотор проходит сильный импульс тока, а когда контакты размыкаются разряд тока высокого напряжения устремляется в конденсатор. Но количество энергии и продолжительность обоих импульсов, а также всех, что проходят через

мотор, в основном зависят от самоиндукции обмоток мотора и емкости конденсатора, и поэтому, имея определенный диапазон варьирования приложенной ЭДС, мало зависят от последней. Следовательно двигатель, имеющий незначительные потери на трение и управляемый подобным образом, совершает за единицу времени почти одинаковое число оборотов. Скорость наиболее постоянна, чем сильнее контролирующее воздействие электромагнитной системы, которое, конечно, наиболее полно, когда количество импульсов, емкость и самоиндукция были настроены таким образом, что достигался базовый резонанс. Как уже ранее говорилось, в большинстве этих новейших устройств такие условия соблюдаются и — применяются ли там вращающиеся прерыватели, или контрольные пружины — именно они, эти условия, в той или иной степени способствуют эффективности описанного принципа. Именно по этой причине контактные пружины в таких приборах не подвержены гармоникам, как это часто случается в обычных катушках индуктивности, работающих от сети питания, где физические константы обычно таковы, что такие настройки невозможны.

Следует отметить, уже давно известно, что мотор постоянного тока, питающийся от источника тока, прерывающегося с одинаковыми интервалами, показывает четкую тенденцию работать с постоянной скоростью, но с включением конденсатора и четкой настройкой соответствующих указанных параметров эта тенденция сильно укрепляется и таким образом можно достичь достаточно постоянной скорости, чтобы применять устройство разными способами. Вместо того чтобы использовать прерывистые импульсы, практичнее вращать отдельную катушку, либо намотанную поверх мотора, либо на втором роторе, и пропускать переменный ток, возбужденный в такой катушке через конденсатор. Для достижения удовлетворительного результата важно определить константы таким образом, чтобы количество энергии, накопленное в конденсаторе было как можно большим.

В то время, как подобные приборы были созданы, обнаружилось, однако, что они не соответствуют многим из тех задач, которые поставлены лабораторными исследованиями, и исходя из этого был создан прибор, который показан на рисунке 13 аб. Он доказал свою незаменимость и пользу во время опытов и его описание будет совсем нелишним. В разрезе показан тщательно собранный часовой механизм с обычным регулятором хода  $e$ , шестернями  $ddd$  и секундным маятником  $P$ . Небольшая ось  $s$ , несущая диск  $D$  большого диаметра, соединяется с часовым механизмом посредством ведущей шестерни  $p$ , имеющей надлежащее количество зубьев, такое, чтобы придать оси скорость вращения, необходимую для производства наблюдений. Итак,

чтобы вращать диск с постоянной скоростью, пришлось преодолеть некоторые трудности, хорошо известные часовым мастерам. Основная трудность обусловлена тем, что вращение оси  $s$ , которую контролирует регулятор хода  $e$ , с равными интервалами задерживающий шестерни  $ggg$ , происходит не с равномерной, а периодически меняющейся скоростью, значение которой меняется от нуля до максимума, в зависимости от заводной гири  $W$ . Вследствие этого, когда диск  $D$  большого диаметра жестко сцеплен с часовым механизмом, он оказывает сильное воздействие на маятник по причине инерции, которую он обязательно имеет, и изменяет период колебания маятника в зависимости от величины инерции. Известно, что такая проблема существует даже в тех случаях, когда пошаговое движение практически устраняется, как, например, в часовом механизме с центробежным регулятором или циркулярным маятником, где медленные колебания производятся путем воздействия движущейся массы на регулирующий механизм.

Некоторые производители часов предложили применять упругое соединение между движимым телом и регулятором хода, хотя это и не решает проблему коренным образом. С другой стороны, в попытке преодолеть эту трудность, используется быстродействующий регулятор хода, где сокращены периоды покоя, и, следовательно, влияние инерции вращаемого тела на период колебания маятника, в результате чего задача не решается полностью и, кроме того, устройство не отвечает целям наблюдения. А именно: желательно,

чтобы диск  $D$  вращался в нормальном состоянии один или два раза в секунду, в зависимости от того, секунднй или полусекунднй маятник используется в устройстве. Если дело обстоит именно так, то экспериментатор может иметь четкое представление о постоянстве скорости, наблюдая за меткой  $m$  на диске и замечая, что она занимает определенное фиксированное положение по отношению к маятнику в соответствующей фазе колебаний. Более того, в таком случае проще и удобнее вычислить количество колебаний.

Тогда четко выявилась задача вращать диск  $D$  или иное тело с любой потребной постоянной скоростью таким образом, чтобы маятник не испытывал серьезного воздействия, даже если это тело обладает значительной инерцией. Наилучшее решение этой проблемы пришло следующим образом. На конце оси  $s$  (рисунок 136) была укреплена металлическая деталь  $f$  в форме креста, на двух противоположных концах которой имелись зажимные кулачки  $p_1p_2$ , а на других — две легкие пружины  $r_1r_2$ , которые слегка прижимали кулачки к кромке шайбы  $w$ , которая, в свою очередь, имела очень мелкие зубцы, или зазубринки, расположенные сбоку, как у шестерней регулятора хода. Гайка  $w$  свободно вращалась на оси, а к ней крепился диск  $D$ . Кулачки  $p_1p_2$  имели острые края, которые совпадали с зубчиками гайки и с их помощью диск мог свободно вращаться на оси  $s$  в направлении, указанном стрелками, но вращению в обратном направлении мешали кулачки.

Теперь принцип работы механизма легко понять. Сначала путем откручивания барашка  $t$  и отведения стопорного рычажка  $5$  освобождается колесо регулятора хода  $e$ , и затем запускается маятник, и когда колесо регулятора хода набрало нормальную скорость, стопорный рычажок  $S$  быстро возвращается на место и фиксируется, таким образом маятник получает механическое управление. Часовой механизм и ось  $s$  теперь движутся с периодически меняющейся скоростью, но диск  $D$  движется равномерно, так как кулачки  $pp_2$  скользят по кромке шайбы  $w$  в промежутках, когда оборот оси  $5$  задерживается маятником. Однако, когда по прошествии некоторого времени, вследствие небольших, но имеющих место фрикционных потерь в воздухе и подшипниках, скорость движения диска замедляется и падает ниже уровня максимума, который ось  $s$  может ему придать, кулачки сообщают ему небольшой импульс и таким способом скорость вращения диска поддерживается на максимуме. С каждым колебанием маятника, таким образом, диск получает один импульс, и его скорость зависит от количества энергии, переданного ему каждым последующим импульсом. Это количество энергии, конечно, зависит от скорости вращения оси  $5$  в тот момент, когда колесо регулятора хода было отпущено, а поскольку эта скорость определяется весом гири, то скорость вращения диска можно в определенных рамках варьировать с ее помощью. Замечено, что диск вращается гораздо быстрее оси, но его скорость нетрудно настроить при помощи гири таким образом, чтобы он делал один оборот на одно колебание маятника. При производстве вращательных движений таким способом воздействие инерции диска на период колебания маятника ничтожно. Такого результата, конечно, нельзя было добиться, соединив ось с диском жестко, даже если применить быстрый спуск, как предлагалось ранее. Равномерность хода, таким образом, по крайней мере с практической точки зрения, не оставляет желать лучшего. Устройство можно было бы и усовершенствовать, установив диск на шариковом подшипнике, либо вращая его горизонтально на камнях. Но при таком движении фрикционные потери были очень малы, поскольку, внезапно заклинивая ось, диск совершал еще до ста оборотов до полной остановки, и такое усовершенствование показалось нецелесообразным. Вертикальное положение было, однако, выбрано потому, что позволяло удобнее производить наблюдения. Для того чтобы свести массу диска к минимуму, из алюминиевой пластины была вырезана окружность с тонкими спицами, на которую наклеена черная бумага, а все метки и деления были, естественно, белыми. Я выяснил, что удобнее всего нарисовать четкие круги с несколькими метками таким способом, чтобы можно было считывать информацию о колебаниях. В дополнение к этому я применил резиновую сегментную пластину  $N$ , укрепленную на штоке  $T$ , с нанесенными делениями, для того чтобы считывать дробные данные и, соответственно, корректировать вращение в течение длительного периода времени.

В непосредственной близости от диска помещалась вакуумная трубка или вместо нее искровой разрядник /, который соединялся со вторичной обмоткой небольшого трансформатора, первичная обмотка которого контролировалась механической или электромагнитной системой, колебания которых требовали определения. В процессе подготовки пружины с определенным периодом колебаний для одного из описанных приборов, например, пружина предварительно крепилась на приборе и его включали. Диск, прерывисто освещавшийся разрядами вторичной обмотки, отпускался и вращался до тех пор, пока не достигалась синхронность, причем количество оборотов считывалось при помощи белой метки  $T$ . Физические параметры пружины затем изменялись после несложного подсчета первых результатов опыта, а во время второй попытки, как правило, колебания имели такой характер, что можно было использовать регулятор хода, и в целом, настройка заканчивалась, путем изменения веса молоточка пружины до тех пор, пока метки на диске, при нормальной скорости вращения, не устанавливались на одном месте.

Устройство, показанное на рисунке 13, очень удобно и экономит время при экспериментах во многих направлениях. При помощи такого устройства практически можно вращать предметы, имеющие значительную массу, с равномерной, управляемой скоростью, а также эксплуатировать контроллеры цепей, характеристики и иные приборы. Оно очень полезно при отслеживании кривых тока и эдс, а также разного рода диаграмм, и отлично помогает при исчислении различных физических параметров. Но наибольшая польза этого устройства при исследовании электрических колебаний заключается, возможно, в точном определении угловых скоростей динамо-машин, а в особенности генераторов переменного тока. Среди прочих величин есть в практике работы с переменными токами и их исследовании такие, которые приходится определять очень часто и которые даже в условиях лаборатории или мастерской, среди городских или фабричных помех, можно установить с достаточной точностью, в то время как остальные — лишь приблизительно, в особенности, как это часто случается, когда приходится прибегать к практическим методам измерения. Так, например, точное измерение сопротивления не составляет труда, равно как и измерение силы тока и эдс, хотя здесь степень точности гораздо ниже; но при определении емкости нетрудно сделать серьезную ошибку, и еще более серьезную — при измерении индуктивности, и, наконец, самую серьезную — при определении частоты. Повсюду используются такие неточные приборы, как спидометры и тахометры, и исследователь обычно очень разочарован тем, что точности результатов его длительных и кропотливых экспериментов нанесен ущерб невозможностью определения частоты. И хуже всего то, и так часто бывает, что частота и есть самый важный показатель. В свете вышесказанного описание метода определения угловых скоростей, взятого мной на вооружение, будет полезным.

Устройства, применяющиеся обычно, показаны схематично на рисунке 14 аб. На валу  $S$  (рисунок 14а) генератора укреплен коммутатор или контроллер цепи  $C$ , имеющий любое удобное количество секторов, в данном случае — восемь. Четыре из них — 1, 3, 5, и 7 — служат для замыкания цепи, в то время, как промежуточные — 2, 4, 6 и 8 — это полностью изолированные холостые сектора. Предположим, что генератор — это машина переменного тока и контакты  $t_1 t_2$  обмотки ротора, или любой обмотки или части ее, проходят сквозь полый вал, как это вполне может быть, и соединяются с диаметрально противоположными сегментами 3 и 7, а сегменты, расположенные к ним под прямым углом, то есть 1 и 5 замыкаются на провод  $w$ , имеющий крайне малое сопротивление. Две щетки  $b_1 b_2$ , закрепленные подвижно обычным способом, движутся по поверхности контроллера  $C$ . Эти щетки соединены с контуром, который состоит из конденсатора  $c$ , соответствующей емкости и первичной обмотки  $p$ , имеющей несколько витков провода очень малой самоиндукции, и соединенной последовательно с конденсатором.

Работа этих приборов подобна той, что мы уже описывали. Когда начинает вращаться вал  $S$ , щетки  $b_1 b_2$  входят в контакт с секторами 1 и 3, и конденсатор заряжается до потенциала, который можно настроить при помощи сдвига фиксатора щеток. Конденсатор сохраняет определенный заряд до тех пор, пока щетки  $b_1 b_2$  не вступят в контакт с секторами

1 и 5, что вызывает колебательный разряд через первичную обмотку  $p$ , в результате чего во вторичной обмотке индуцируется сильный импульс тока, который моментально зажигает вакуумную трубку или искру в разряднике  $/$ , помещенном в непосредственной близости от диска  $D$ , вращающегося равномерно, как уже описано выше. По мере вращения контроллера щетки вновь входят в контакт с секторами 1 и 3, и всё повторяется, причем при каждом обороте вала происходит несколько импульсов в вакуумной трубке или в разряднике. В показанном на рисунке устройстве происходит всего два импульса на каждый оборот вала, но можно получить и большее их количество путем увеличения числа секторов и соединив их таким же образом. Следует заметить, что импульсы тока, которые поступают на конденсатор тогда, когда щетки  $b_1, b_2$  в контакте с теми секторами, которые соединены с обмоткой ротора, обычно не дают ощутимого эффекта на вторичной обмотке  $s$ . Так может произойти, если количество секторов будет очень большим, и это сразу станет заметным. Правильная настройка контура, через который разряжается конденсатор, конечно, желательна, но не необходима.

Когда ради удобства надо использовать ток ротора, как показано на рисунке 14а, тогда контроллер  $C$  оборудуется двумя скользящими контактами  $r_1, r_2$  (рисунок 14б), по которым движутся две дополнительные щетки  $br_4$ . Последние тогда подключаются к источнику постоянного тока, как, например, обычная распределительная сеть, предпочтительно через катушку самоиндукции, которая служит для того, чтобы заряжать конденсатор до более высокого потенциала. Кольца  $r_1, r_2$  просто подают к секторам 1 и 3 ток для заряда конденсатора, в противном случае в конструкции ничего не надо менять.

Метки и деления на кромке диска  $D$  нанесены так, чтобы при нормальной скорости вращения генератора они оставались на одном месте. Если это так, то скорость можно тут же вычислить по количеству секторов на контроллере или делений на диске, а также по скорости вращения последнего. Частота колебаний тока динамо-машины тогда определяется исходя из количества меток.

Вооружившись такой методикой, экспериментатор может получить точное значение угловой скорости, независимо от того, как изменяется скорость вращения динамо-машины, если только он позаботится о том, чтобы показания эдс, силы тока и т. д. были сняты в тот момент, когда метки на диске неподвижны. Если снятие показаний отнимает значительное время, нетрудно сделать поправку на любое изменение, заметив на резиновой пластине  $N$ , количество делений, которое надо прибавить или отнять от скорости диска.

## 7.Тесла об электричестве (Выступление)

### ОБРАЩЕНИЕ ПО ПОВОДУ ПРАЗДНОВАНИЯ ГОДОВЩИНЫ ВВОДА В СТРОЙ НИАГАРСКОЙ ГЭС<sup>11</sup>

У меня всегда недоставало мужества обратиться к аудитории даже в тех случаях, когда я не мог этого не сделать, и то, что я переживаю сегодня вечером, даже не принимая во внимание причину нашей встречи, для меня ново. В тех редких случаях, о которых я храню добрые воспоминания, когда мои слова встречали великодушный прием, я никогда не обманывал себя и прекрасно понимал, что причиной были не мои успехи в риторике или искусстве демонстрации. И тем не менее мой долг принять предложение, которое я имел честь получить несколько дней назад, и пересилить опасения в отношении моей способности отдать должное той теме, о которой я собираюсь говорить. Это правда, иногда — даже и теперь — мне кажется, что мой ум заполнен темой беседы, но я знаю, что как только я начну выражать свои мысли, эфемерные идеи покинут меня и я испытаю хорошо мне знакомое

<sup>11</sup> Элликотт-клуб, Буффало, 12 января 1897 года.

чувство опустошенности, холода и немоты. И я уже вижу ваши разочарованные лица и могу прочесть по их выражению, что вы испытываете сожаление по поводу выбора докладчика.

Всё это было сказано, господа, не с тем чтобы добиться расположения и получить прощение за мои затруднения, но лишь с истинным намерением принести извинения за ваше разочарование. Итак, они принесены, как вы изволите видеть, шутливым тоном, к которому прибегает, к удовольствию слушателей, припозднившийся выступающий. Отнюдь, я совершенно серьезно испытываю желание, чтобы во мне пылало пламя красноречия, дабы я мог найти верные слова и описать эту потрясающую науку — электричество, многочисленные достижения на поприще которой уже вписаны в анналы истории, и которая, как справедливо заметил один из выступавших, дала свое имя этому веку, веку электричества, и особенно поговорить о том великом событии, годовщину которого мы сегодня отмечаем. К сожалению, мое желание невыполнимо, но я питаю надежду на то, что среди моих бесформенных и неполных высказываний, среди нескольких идей и фактов, которые я упомяну, найдется что-то интересное и полезное, что-то подобающее этому случаю.

Господа, есть несколько характерных черт, ясно различимых и присущих интеллектуальному прогрессу человека в последнее время, черт, которые приносят огромное удовлетворение тем, кто действительно болеет за развитие и благоденствие человечества.

## ОБОДРЯЮЩЕЕ ЗНАНИЕ

Проведенные с помощью высокоточных микроскопов и электроприборов исследования природы наших органов чувств — особенно тех, при помощи которых мы непосредственно сообщаемся с внешним миром и которые передают полученную информацию в мозг, — позволили выявить четкость их строения и функционирования, соответствующую простым и общеизвестным физическим принципам и законам. Поэтому наблюдения, которые мы делаем, и факты, которые мы принимаем с их помощью, — есть истинные факты и наблюдения и наше знание — это истинное знание. Для примера: наше знание о форме базируется на факте о том, что свет распространяется в окружающей среде в виде прямых лучей, и благодаря этому изображение, воспроизведенное хрусталиком, точно соответствует видимому предмету. И действительно, мои размышления в этом направлении привели меня к мысли о том, что большая часть человеческих знаний, основанных на этой простой истине, верна, так как любая идея и понятие, а следовательно, и все знания, предполагают визуальные образы. Но если бы свет не распространялся в соответствии с упомянутым законом, а в соответствии с любым другим законом, который мы могли бы в настоящее время понять, где не только изображение не имело сходства с самим предметом, но даже сами образы, воспринятые в разное время и с разного расстояния, не походили бы друг на друга, наше знание формы было бы неверным, ибо тогда мы могли бы видеть, к примеру, треугольную фигуру, как шести- или двенадцатиугольную. Ясно понимая механизм и метод работы наших органов, мы устраняем все сомнения относительно реальности и истинности впечатлений, полученных извне, и таким образом, избавляемся, надеюсь навсегда, от нездоровых спекуляций и скептицизма, в которые ранее были склонны впадать даже сильные умы.

Позвольте мне рассказать еще об одной ободряющей характерной черте нашего времени. Прогресс за единицу времени теперь совершается более быстро, чем когда-либо в прошлом. Это вполне соответствует закону движения, который диктует ускорение и наращивание темпа или накапливание энергии под действием постоянно приложенной силы или тенденции, и это тем более верно, так как каждый рывок вперед ослабляет работу элементов, создающих трение и замедление. Ибо, в конце концов, что такое прогресс или, точнее, развитие или эволюция, если не движение, бесконечно сложное и часто непостижимое, это верно, но тем не менее определенное количественно и качественно

физическими условиями и управляющими им законами? Это развитие нагляднее всего просматривается через призму быстрого совместного роста различных наук и прикладных областей знания вследствие устранения разделяющих линий и границ, некоторые из которых несколько лет назад казались непреодолимыми и которые, как Китайская стена, ограждали каждую область знаний и тормозили прогресс. Чувство нераздельности многих с виду различных сил и явлений, которые мы наблюдаем, овладевает нашими умами, и чувство более глубокого понимания природы в целом, еще не совсем ясное и определенное, вдохновляет нас, вселяя уверенность в огромные свершения в недалеком будущем.

## **ВЛИЯНИЕ ХУДОЖНИКА**

Все эти явления природы интересуют главным образом человека науки, мыслителя. Но есть характерная черта времени, которая приносит нам еще большее удовлетворение и радость и которая имеет всеобщий интерес, потому что она оказывает влияние на благоденствие всего человечества. Господа, это влияние усиливается день ото дня, оно всё более проникает во все сферы человеческой деятельности, влияние более чем продуктивное и благотворное — влияние художника. В счастливый день для человека художник почувствовал желание стать врачом, электриком, инженером или механиком или, почему бы нет, математиком или финансистом; ибо именно он создал все те чудеса и великолепие, свидетелями коих мы являемся. Именно он разрушил ту мелочную, педантичную, узколобую систему школьного образования, которая превращала страстного ученика в галерного раба, именно он провозгласил свободу выбора предмета обучения сообразно собственному удовольствию и наклонностям и тем самым ускорил прогресс.

Иные, кто находит удовольствие в критике, назовут это односторонним развитием, вырождением и отступлением от нормы, даже вырождением расы. Но они ошибаются. Это надо приветствовать, это благословение, широкое разделение труда, установление условий, наиболее способствующих прогрессу. Пусть один человек направит всю свою энергию на выполнение одного усилия, пусть он поймет одну истину, даже если его поглотит священный пламя, но тогда многие миллионы менее одаренных смогут пойти по его стопам. А значит, не столько количество, сколько качество труда определяет величину прогресса.

Именно художник пробудил тот широкий дух филантропии, который даже в древности сиял в трудах благородных реформаторов и философов, тот дух, который заставляет человека во всех сферах деятельности и на всех постах трудиться не во имя материальных благ или воздаяния, хоть разум подсказывает, что и это нужно человеку, но главное — во имя успеха, во имя восторга достижения цели, во имя добра, которое можно сотворить для своих сограждан. Благодаря его влиянию теперь вперед выходят люди, стремящиеся к знаниям, творящие чудеса каждый в своей области, чьей главной целью и радостью являются получение и распространение знаний, люди, взгляд которых простирается гораздо выше мирских забот, чей лозунг: «Всё выше!». Господа, будем же чтить художника, поблагодарим его; я пью за его здоровье!

## **МОЩНЫЙ ФАКТОР**

Ныне, с учетом всех этих радующих и вдохновляющих особенностей, характерных для современного развития мысли, электричество, экспансия науки об электричестве, является мощнейшим фактором. Наука об электричестве открыла нам истинную природу света, создала для нас бесчисленное многообразие устройств и точных приборов и тем самым в огромной степени прибавила точности нашим знаниям. Электротехника как наука выявила для нас более тесную связь, существующую между совершенно разными силами и явлениями, и, таким образом, дала возможность воспринять многие ее проявления и привела

нас к более полному пониманию природы. Кроме того, электротехническая наука с ее притягательностью, ее перспективами беспредельной реализации удивительных возможностей, главным образом в гуманистическом плане, привлекла внимание и притянула к себе созидательные энергии человека-творца; ибо где то поле деятельности, в котором его божественный дух, наделенный высшими силами, принес бы большее благо для своих братьев, чем это неисследованное, почти нетронутое царство, где, как бывает в безмолвном лесу, на каждый зов откликаются тысячи голосов.

При таких ободряющих, таких радующих перспективах нас ничто не вынуждает смотреть в будущее с некоторым чувством неуверенности или опасения. Есть пессимистического склада люди, которые с беспокойством на лице непрерывно шепчут нам в ухо, что страны тайно вооружаются, вооружаются до зубов, что все они готовы наброситься друг на друга, как только появится повод, и приступить к взаимоистреблению, что они все стремятся превзойти эту победоносную, великую, замечательную германскую армию, перед которой нет преград, потому что у каждого немца дисциплина в самой его крови, каждый немец есть солдат. Но эти люди заблуждаются. Вспомните наш недавний опыт с британцами в конфликте с Венесуэлой. Два других народа могли бы сгинуть, но не англо-саксы, они ушли очень далеко вперед. Говорящие вам это люди игнорируют силы, которые пребывают в неустанной работе, неслышно, но неуклонно, те силы, которые утверждают мир. Вот истинный художник, который вселяет в нас более высокие и благородные чувства и воспитывает в нас отвращение к раздорам и кровавой бойне. Вот инженер, который наводит мосты через пропасти и ущелья и способствует установлению контактов и уравниванию неоднородных масс человечества, и выдающийся механик со своими превосходными приборами, сберегающими время и энергию, который совершенствует свой летательный аппарат не для того, чтобы сбросить пакет динамита на город или корабль, но для того, чтобы способствовать развитию средств сообщения и облегчить путешествие, а вот и химик, который открывает новые возможности и делает жизнь более приятной и безопасной, а еще есть электротехник, который отправляет свое послание мира во все части света. Недалеко то время, когда те люди, которые направляют свой пылкий ум на изобретение скорострельных пушек, торпед и других средств уничтожения, однако заверяя вас, что это [делается] во имя любви и блага человечества, не найдут покупателей для своих гнусных изделий и осознают: используйте свой изобретательский талант в других сферах, они, возможно, заслужили бы куда более высокую награду, чем полученные ими тысячи сестерций. И тогда — самое время для этого — повсюду будет эхом повторяться призыв: «Братья, остановим эти деспотические методы сильных мира сего, эти пережитки варварства, столь враждебные прогрессу!»

## **НОВЫЙ ВОИН**

Дайте этому отважному воину возможность продемонстрировать мужество, более достойное похвалы, чем то, когда он, опьяненный победой, мчится по полю битвы, сокрушая себе подобных. Пусть изнурит он себя трудом ежедневным и еженощным, не сулящим скорых свершений, и всё же останется непреклонным в своем стремлении. Пусть встретит он лицом к лицу опасности, что подстерегают его на пути исследования небесных высот и морских глубин. Пусть не убоится он немощи телесной, зноя пустыни и холода полярных льдов. Направьте свои усилия на то, чтобы расчистить свой путь от врагов и опасностей, окружающих вас, наполняющих воздух, которым вы дышите, воду, которую вы пьете, и пищу, которой насыщаетесь! Не странно ли, не достойно ли сожаления то, что мы, существа самые высокоразвитые на этой планете, существа, обладающие такой силой мысли и действия, мы, повелители Земли, находимся в абсолютной зависимости от наших незримых недругов настолько, что не можем знать наверняка, принесут ли нам пища и влага радость жизни или боль и тлен! В этой современной и доступной нашим ощущениям войне, где

главенствующую роль играют бактериологи, услуги, которые может нам оказать электричество, будут поистине неоценимы. Экономичное производство токов высокой частоты, что уже является свершившимся фактом, позволяет нам вырабатывать легко и в больших количествах озон для нужд дезинфекции воды и воздуха, а некоторые виды излучений, открытые недавно, дают надежду наконец-то овладеть лекарством от недугов, имеющих микробиологическую природу, и до настоящего времени сводивших на нет все усилия врачей. Но позвольте мне обратиться к теме более приятной. Я уже говорил о слиянии нескольких наук и областей исследования, а также о том, что имею некоторое понятие о глубинной связи между некоторыми, на первый взгляд, весьма отдаленными силами и явлениями. Нам уже известно, во многом благодаря усилиям дерзновенных пионеров-исследователей, что свет, тепловое излучение, электрические и магнитные поля очень тесно связаны, если не сказать идентичны. Химики со знанием дела утверждают, что процессы слияния и отторжения тел имеют электрическую природу, а врачи и физиологи скажут вам, что и сам жизненный процесс есть электричество. Таким образом, наука об электричестве приобрела всеобщий характер и с полным правом наш век может претендовать на имя «Века электричества».

Я многое хочу сказать вам сегодня, откровенно говоря, я стораю от желания поведать вам о том, что такое электричество, но есть серьезные причины, и мои сподвижники их вполне оценят, чтобы следовать порядку, установленному древними великими философами, и я не стану заострять ваше внимание на чисто научном аспекте понятия «электричество».

## **БУРНОЕ РАЗВИТИЕ**

Есть и другая причина для заявления, которое я только что сделал, и она даже более убедительна, чем предыдущая, а именно: то бурное развитие всех областей знания об электричестве, которое мы наблюдаем в последние годы и влияние его на все отрасли науки и промышленности. Для того чтобы проиллюстрировать это влияние, мне надо просто обратиться к паровому или газовому двигателю. На протяжении более полувека паровой двигатель удовлетворял различные и многочисленные потребности человека. Задачи, которые он выполнял, и условия его работы были настолько разнообразны, что в итоге мы имеем огромное количество видов этой машины. В большинстве случаев задачей инженера было не преобразовать наибольшее количество энергии пара в механическую энергию, как это должно было быть, он скорее старался получить механическую энергию в такой форме, которая была бы пригодна для общего употребления. Поскольку возвратно-поступательное движение поршня было неудобно для практического применения, за редким исключением, поршень соединялся с коленчатым валом, и таким образом достигалось вращательное движение, что было более приемлемо, несмотря на большие неудобства и огромные затраты. Но до недавнего времени в распоряжении инженеров не было средств для преобразования и передачи энергии движения поршня, кроме жестких механических сочленений. Последние несколько лет представили вниманию производителей моторов электродвигатель с его идеальными свойствами. Это был способ производства механического движения гораздо более простой, а также более экономичный. Если бы этот способ производства был усовершенствован раньше, то, без сомнения, такого количества видов двигателей просто бы не существовало, поскольку, как только его соединили с электрогенератором, появился универсальный тип двигателя. С этого момента отпала необходимость затрачивать усилия на совершенствование двигателей специальной конструкции, способных выполнять отдельные виды работ. Задача инженеров теперь — концентрация усилий на совершенствовании одного типа мотора, самого лучшего, универсального, мотора ближайшего будущего, мотора, способного производить электричество. Первые усилия в этом направлении дали мощный толчок развитию двигателей с высокоскоростным возвратно-поступательным движением поршня, а также турбин, последние же явились типом двигателя с очень ограниченным

кругом практического применения, но были очень полезны в связи с развитием электрогенератора и мотора. И всё же, даже предыдущий тип двигателя, хотя и вполне усовершенствованный в деталях, радикально не изменился и даже до сей поры имеет те же нежелательные свойства и ограничения. Для того чтобы избавиться от них, насколько это возможно, совершенствуется новый тип двигателя, в котором предусмотрены более экономичные рабочие характеристики, который расширяет рабочую жидкость с большей скоростью и дает меньшую теплотерю на стенках рабочих объемов, двигателя, освобожденного от обычного регулирующего механизма, уплотнителей, смазывающих и прочих приспособлений, двигателя, образующего часть электрогенератора, и именно в развитии этого типа двигателя я уверен.

## **БОЛЬШИЕ ДВИГАТЕЛИ**

Газовый двигатель, или двигатель внутреннего сгорания, также претерпел сильные изменения вследствие начала коммерческого использования электрического освещения и производства электроэнергии, в особенности в течение последних нескольких лет. Инженеры всё больше усилий прилагают в этом направлении с целью достижения более высокой термодинамической отдачи. Строятся двигатели гораздо больших размеров, технологии совершенствуются, и абсолютно новый тип двигателя, наиболее пригодного для выработки электричества, рождается на свет.

Есть и другие отрасли производства, в которых влияние развития электричества еще более заметно. Например, изготовление огромного количества металлических изделий и продуктов химической отрасли. Сварка металлов с помощью электричества — процесс, протекающий с большими потерями, — тем не менее стала полноправным ремеслом, в то время как производство металлопроката, бесшовных труб и подобных изделий сулят большие перспективы. Медленно, но верно мы приближаемся к производству сплавов и сокращению потребления природной руды — даже железной руды — при помощи электричества, и по всем этим направлениям ожидаются важные прорывы. Повторюсь и скажу, что экономичное преобразование обычных токов в токи высокой частоты открывает новые возможности, например соединения атмосферного азота и его производных, выпуск селитры и азотной кислоты и ее солей при помощи совершенно новых технологий.

Высокочастотные токи ведут нас по пути внедрения более экономичной системы освещения при помощи люминесцентных ламп и трубок, и позволяют создавать осветительные приборы практически любой мощности. Что касается других открытий в области электричества, то все мы с радостью наблюдаем быстрое продвижение, особенно в последние годы, и они превосходят наши самые смелые ожидания. Перечисление этих открытий — это задача научных обозревателей, но я не могу обойти вниманием выдающиеся достижения Ленарда и Рентгена, в особенности последнего, чей труд вызвал настолько высокий интерес во всём научном мире, что на время заставил нас забыть о значительном открытии Линде в Германии, который разработал промышленный процесс сжижения воздуха путем постоянного охлаждения, об открытии аргона лордом Рэйли и профессором Рамсеем, а также о потрясающем труде первопроходца профессора Дьюара, который экспериментировал с низкими температурами. Тот факт, что Соединенные Штаты внесли весьма весомый вклад в этот процесс, должен вызывать у нас огромное удовлетворение. Отдавая дань уважения труженикам науки в других странах и всем тем, кто профессионально или по склонности характера посвятил себя научным изысканиям, мы с благодарностью назовем имена тех, кто своими достижениями способствовал развитию электрической отрасли в нашей стране.

## **ИЗОБРЕТАТЕЛИ**

Белл, чье восхитительное изобретение позволяет нам передавать речь на огромные расстояния, оказал большое влияние на общественные и деловые отношения, включая и сам наш образ жизни; Эдисон — который, даже если бы он и ничего не сделал, кроме исследований в области ламп накаливания, — доказал, что является одним из величайших благодетелей нашего века; Вестингауз, основоположник коммерческой системы производства переменного тока; Браш, пионер освещения дугowymi лампами; Томсон, подаривший нам первый практически применяемый сварочный аппарат и серьезно поучаствовавший в развитии науки и производства; Уэстон, ведущий конструктор динамо-машин, а ныне ведущий конструктор электроприборов;

Спрейг, чья неутомимая энергия позволила теоретически и практически решить проблему электрификации железных дорог; Ачесон, Холл и другие, совершающие революционные прорывы здесь, на наших глазах, на Ниагаре. Труды этих одаренных людей не закончены и по сей день. Многого еще предстоит достичь, и, к счастью, большинство из них полны энтузиазма и энергии. Все эти люди и многие другие неустанны в труде, открывают новые горизонты, за которыми скрыты большие возможности. Каждую неделю, если не каждый день, из журналов мы узнаем о новых достижениях в новых областях знания, где каждый шаг призывно манит труженика науки и зовет к решению новых, всё более сложных задач.

Но среди всех многочисленных областей исследования, всех отраслей индустрии, новых и старых, ныне быстро развивающихся, есть одна, превосходящая всех по важности, — одна, особо значимая для удобства и благосостояния, если не сказать выживания, человечества — это передача электрической энергии на расстояние. И именно в этой наиважнейшей из областей, господа, в далеком будущем, когда время расставит все события по местам, и всем ученым воздаст должное, то великое событие, которое мы отмечаем сегодня, возвысится, знаменуя славную эпоху в истории человечества, эпоху более великую, чем та, что ознаменовалась появлением паровой машины. У нас есть много памятников прошлого; у нас есть дворцы и пирамиды, греческие храмы и христианские соборы. В них проявились мощь человеческого разума, величие народов, любовь к искусству и религиозный порыв. Но тот памятник, что возводится на Ниагаре, неповторим в своем согласии с мыслями и устремлениями настоящего. Этот памятник, достойный нашего века науки, — истинный монумент просвещения и мира. Он означает, что силы природы стоят на службе человеку, что закончились времена варварства, что миллионы людей свободны от нужды и страданий.

## **ЗАВИСИМОСТЬ ОТ ЭНЕРГИИ**

Не важно, что мы намерены предпринять, не важно, на что мы обратим наши усилия, мы зависим от энергии. Наши экономисты могут предлагать более экономичные системы управления и использования ресурсов, наши законодатели могут создавать более мудрые законы и уставы, всё это не очень важно, всё это — временные меры. Если мы хотим бороться с бедностью и нищетой, если мы хотим дать достойному гражданину всё, что необходимо для безопасного существования человека, мы должны создавать больше машин и больше энергии. Электрическая энергия — это оплот нашего существования, первичный источник для производства других видов энергии. При условии достаточного количества электроэнергии мы можем удовлетворить большую часть наших потребностей и обеспечить безопасное и удобное существование всем, за исключением, возможно, тех, кто является самыми злостными преступниками, — добровольных лентяев. Развитие и благосостояние городов, успех народов, прогресс всей человеческой расы определяется наличием энергии.

Вспомните победоносное шествие Британской империи, какого не знала еще история человека. Помимо человеческих качеств этого народа, весьма возвышенных, они многим обязаны в своих завоеваниях каменному углю. Ибо именно с помощью угля они производят

железо, уголь дает им свет и тепло, уголь раскручивает маховики их заводов и фабрик, уголь толкает вперед их победоносный флот. Но залежи угля постепенно иссякают, труд становится всё дороже, а потребление всё возрастает. Каждому должно быть ясно, что в скором времени потребуются освоить новый источник энергии или, по крайней мере, существующие источники надо будет существенно модернизировать. Большие надежды возлагаются на экономичное использование запасов энергии в угольных батареях, но, хотя достижение такого результата будет отмечено как большой прорыв, это всё же не явится значительным шагом на пути поиска окончательных и постоянных методик производства энергии, как полагают сегодня некоторые ученые. По многим причинам, в частности по причинам экономии и удобства, мы движемся по пути всеобщего использования системы централизованного энергоснабжения, и по тем же причинам нельзя переоценить достоинства механического способа производства электроэнергии. Преимущества этой общепринятой методики настолько очевидны, что вероятность замены динамо-машин на накопительные батареи, по моему мнению, достаточно отдалена, тем более что вполне вероятно скорая замена паровых и газовых турбин высокого давления на более экономичные агрегаты, использующие принцип термодинамического преобразования.

Даже если бы сегодня в нашем распоряжении была такая экономичная угольная батарея, она ни в коем случае не устанавливалась бы на центральных электростанциях, так как ее применение было бы связано с большими неудобствами. Скорее всего уголь в ней не может сжигаться естественным путем, как в котельной, а должен быть специально подготовлен, для того чтобы обеспечить единообразие процесса производства электроэнергии. Эта батарея состояла бы из множества элементов, чтобы получить потребную эдс. Процессы очистки, обработки отработавших газов и жидкостей, а также большие площади, требуемые для таких батарей, значительно осложнили бы процесс и сделали его слишком сложным и коммерчески невыгодным для размещения подобной станции в городе или густонаселенном районе.

## **РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ**

Я вновь обращаю ваше внимание на то, что, когда электростанция строится вдалеке, преобразование при помощи вращающихся трансформаторов или иным способом, становится серьезным и неизбежным недостатком. Более того, регуляторы и другие приспособления, которые потребуются использовать, скорее всего до предела усложнят конструкцию станции. Можно, конечно, расположить батареи возле угледобывающего предприятия и оттуда передавать энергию на дальние расстояния в виде переменного тока высокого напряжения, полученного от вращающегося трансформатора, но и при таком наиболее удачном решении это будет варварский метод работы, еще более варварский, чем теперь, поскольку потребует значительного расхода материалов, с одной стороны, а с другой — не позволит инженерам и механикам реализовать красивые творческие решения. Что же касается небольших, изолированных мест проживания, например частных домов, то я полностью уверен в необходимости разработки для них легких аккумуляторных батарей, с применением химических компонентов, производимых посредством дешевой энергии воды, например, карбидных или водородно-кислородных.

Но нам недостаточно просто усовершенствовать паровые двигатели или двигатели внутреннего сгорания, либо придумывать новые аккумуляторы; перед нами стоят более масштабные задачи. Мы стоим перед необходимостью разработки средств получения энергии из неисчерпаемых источников, открытия методики, которая бы исключила расход каких-либо материалов и любые отходы. Я давно понял, что именно здесь кроются огромные возможности, и именно решению этой, крайне важной для всего человечества проблемы, я отдаю все свои силы вот уже несколько лет, а счастливые идеи, пришедшие ко мне, вдохновили заняться вопросами наиболее трудными и дали мне силы и мужество преодолеть

все неприятности. Около шести лет назад моя уверенность окрепла настолько, что у меня появилась твердая надежда окончательно решить эту наиважнейшую из задач. С тех пор я значительно продвинулся на этом пути и уже прошел этап простой убежденности, которая возникает из скрупулезного изучения известных фактов, выводов и подсчетов. Теперь обрел уверенность в том, что практическая реализация этой идеи не за горами. Но именно по этой причине я испытываю необходимость указать сейчас на один важный факт, о котором, надеюсь, вы не забудете. Долгое время изучая возможность таких разработок, в частности запитывания двигателей, расположенных в любой точке земного шара, энергией окружающей среды, я обнаружил, что даже при теоретически наилучших условиях такой способ получения энергии по экономичности, простоте и другим параметрам не сможет сравниться с уже существующим способом преобразования механической энергии текущей воды в электрическую энергию и передачи последней в виде тока высокого напряжения на большие расстояния. Следовательно, если мы можем получать ток достаточно высокого напряжения, то падающая вода дает нам наиболее удачный источник получения энергии Солнца, способный удовлетворить все наши потребности. Понимание этого произвело на меня огромное впечатление, тем более что в будущем важность гидроэлектроэнергетики будет определяться не коммерческими потребностями, хотя они и велики, а нашей безопасностью и благодеянием. Я очень рад тому, что в этом направлении мои усилия были небезрезультатны, поскольку мне удалось изобрести средства передачи энергии, способные использовать эдс гораздо более высоких значений, чем те, которых мы добиваемся при обычных технических решениях.

## **ИСПОЛНЕНИЕ МЕЧТЫ**

В сущности, продвижение по этому пути вдохнуло в меня надежду на то, что я увижу, как исполняется моя самая заветная мечта — беспроводная передача энергии от станции к станции. И всё же, какой бы метод передачи ни применялся, близость к источнику энергии будет оставаться важным преимуществом.

Джентльмены, какие-то идеи из тех, что я перечислил, могут показаться вам трудновоплотимыми, и тем не менее все они — результат долгих размышлений и практического труда. Вы судили бы о них более объективно, если бы, как и я, посвятили им всю свою жизнь. Идеи подобны головокружительным высотам на вашем пути. Поначалу они смущают вас и вы готовы отказаться от пути, не веря в собственные силы; но затем повседневная суета отступает и вдохновенная высота успокаивает вашу кровь, шаг становится тверже и уверенней, и вы готовы к поиску еще более неприступных высот.

Я попытался рассказать вам об электричестве, его развитии и влиянии, но боюсь, что мою попытку можно сравнить с тем, как мальчик рисует нечто несколькими прямыми линиями. И всё же в своем выступлении я выделил один аспект, который, я уверен, найдет отклик в ваших сердцах, единственный аспект, который стоит выделить в данном случае, — гуманитарный. Великое предприятие на Ниагаре не только дерзновенный инженерный и коммерческий проект, это огромный шаг в верном направлении как с точки зрения науки, так и филантропии. Успех этого предприятия сигнал всему миру использовать силу воды, а значение его для развития промышленности нельзя переоценить. Мы все должны возрадоваться этому огромному достижению, и поздравить отважных первопроходцев, сумевших соединить силы и средства, чтобы воплотить его в жизнь.

Очень приятно, что жители города Буффало отнеслись к нам с дружеской симпатией, а канадские власти оказали такую поддержку нашему предприятию. Будем надеяться, что и такие города, как Рочестер по эту сторону границы, и Гамильтон и Торонто в Канаде, вскоре последуют примеру Буффало. Нам стоит поздравить этот город. Он теперь обладает ни с чем не сравнимыми ресурсами, а коммерческие возможности и преимущества, которых нет у

других городов, вкупе с энтузиазмом и прогрессивным духом его обитателей, несомненно, сделают его одним из величайших промышленных центров планеты.

## 8. Речь по случаю вручения медали Эдисона<sup>12</sup>

*Никола Тесла:* Г-н президент, дамы и господа! Позвольте мне сердечно поблагодарить вас за понимание и поддержку. Меня не вводит в заблуждение тот факт — я это прекрасно осознаю, — что предыдущие ораторы сильно преувеличили мои скромные заслуги. В таком случае не нужно быть излишне робким, но и не стоит задира́ть нос. Исходя из этого скажем, что некий кредит доверия я заслужил, сделав несколько шагов в новом направлении; но идеи, которые я выдвинул, переживают триумф, силы и процессы покорились, и мы являемся свидетелями великого момента в истории только благодаря совместному труду многих могучих умов, некоторые из которых сегодня здесь присутствуют. Изобретатели, инженеры, конструкторы, производственники и финансисты — все они внесли свой вклад в дело, как сказал г-н Беренд, свершения гигантского революционного витка в развитии передачи и преобразования энергии. Воодушевленные полученным результатом, и понимая, что находимся в начале пути, мы стремимся к новым еще более великим свершениям.

Сегодня вам наверняка хотелось бы, чтобы я поведал кое-какие факты личного характера и рассказал о том, как они повлияли на мой труд. Один из выступавших предложил: «Расскажите что-нибудь о себе, о своих ранних трудах». Если я правильно понял его желание, я, с вашего позволения, вкратце освещу эту деликатную тему.

Кто-то из вас под впечатлением рассказанного г-ном Терри, видимо, задается вопросом: как всего этого мог добиться человек столь молодой, как я? Позвольте мне объясниться. Я нечасто выступаю на публике и хочу сказать несколько слов своим товарищам по профессии, с тем чтобы впоследствии не было никаких ошибок. Во-первых, я являюсь представителем очень крепкой народности, народности долгожителей. Некоторые из моих предков дожили до ста лет, а один прожил до ста двадцати девяти. Я надеюсь в этом смысле не ударить лицом в грязь. К тому же природа даровала мне яркое воображение, которое благодаря неустанным упражнениям, изучению наук и практическому подтверждению моих теорий, стало очень точным, настолько, что я смог отказаться, в большой степени, от медленного, трудоемкого, неэкономичного и высокзатратного процесса практического воплощения тех идей, которые ко мне приходят. Я смог исследовать широчайшие области знания очень быстро и получать результаты, не затрачивая большого количества жизненной энергии. Таким образом, способность видеть желаемые объекты реально и осязаемо избавила меня от болезненной тяги к обладанию брэнной собственностью, которой подвластны многие. Могу также сказать, что я очень религиозен, хотя и не в традиционном понимании, и мне доставляет большое наслаждение вера в то, что величайшие тайны бытия еще не исследованы, а свидетельства, предлагаемые нашими органами чувств, равно как и изучение сухих и точных наук, даже и сама смерть, не являются конечной точкой тех удивительных превращений, которые мы наблюдаем. На этом пути мне удалось обрести ничем не нарушаемое спокойствие ума, которое защищает меня от неприятностей, и добиться согласия и счастья до такой степени, что я получаю удовлетворение даже от темной стороны жизни, от тягот и невзгод существования.

Теперь, когда я объяснил вам, почему мирским наградам я предпочел труды, я перейду к теме, которая затем позволит мне сказать нечто более важное и поможет мне пояснить вам, как я изобретаю и развиваю свои идеи. Но сначала позвольте сказать несколько слов о моей жизни, довольно необычной и удивительной, полной разнообразных впечатлений и происшествий. Начнем с того, что я заколдован. Все вы слышали о том, что непременным условием вручения медали Эдисона является то, что ее получатель должен быть жив. И конечно же, все, кто получил эту медаль, на упомянутом основании полностью ее

<sup>12</sup> Речь произнесена перед собранием Американского института инженеров 18 мая 1917 года.

заслуживали, ибо были живы в тот момент, когда она была им присуждена. Но никто из них не был достоин этой награды в той мере, в какой заслужил ее я. В юности из-за невежества и беспечности я попадал во всякого рода трудные, опасные ситуации и переделки, из которых выбирался просто чудом. Это крайне беспокоило моих родителей более всего потому, вероятно, что я был последним ребенком мужского пола в семье, и в меньшей степени потому, что я был их плотью и кровью. Вам следует знать, что сербы очень ревностно следят за продолжением рода. Несколько раз я чуть было не утонул. Три или четыре раза меня почти кремировали и один раз я едва не был сварен заживо. Меня хоронили, теряли и замораживали. Я был на волосок от смерти, спасаясь от бешеных собак, кабанов и других диких животных. Я переболел ужасными болезнями — три или четыре раза в жизни врачи полностью отказывались от меня. На мою долю выпадали всяческие нелепые случайности — не могу даже вообразить что-то, чего со мной не было; и всё же то, что я сегодня вечером здесь, крепок и бодр, молод душой и телом, а позади все эти ужасные годы, — маленькое чудо.

Но жизнь моя была удивительной и в ином отношении — как изобретателя. Я не говорю сейчас о сосредоточенности, физической выносливости и энергии; все эти качества довольно обычны. Если вы изучите жизнеописания успешных изобретателей, вы обнаружите, что они были, как правило, замечательно сильны и умственно, и физически. Красноречивое подтверждение тому — моя работа в компании Эдисона. Мы начинали свой день в половине десятого и заканчивали в пять утра на следующее утро. Продолжалось это в течение девяти месяцев каждый день; все сдались. Остался я и Эдисон, но он иногда дремал на рабочем столе. И тогда он сказал мне: «Такого я никогда не видел, торт победителя Ваш». Этим я хочу сказать, что моя прошлая жизнь наполнена необычным опытом, который обусловил все последующие достижения. Мне было очень важно объяснить это вам, поскольку иначе вы бы не поняли, как я открыл вращающееся поле. С самого детства меня одолевал странный недуг — я видел образы и предметы, и даже целые сценки, являвшиеся мне в сопровождении вспышек света; они были гораздо живее тех, что я видел ранее. Я видел их в реальности, никогда не выдумывал. Меня консультировали у исследователей-психологов и физиологов, а также у других специалистов, и никто из них не смог объяснить этих явлений, они казались уникальными, хотя к ним предрасположен был не только я, мой брат тоже видел образы. Я объясняю это явление отражением сигнала мозга на сетчатку глаза. Вы можете подумать, что у меня были галлюцинации. Это невозможно. Галлюцинации возникают только в больном, воспаленном мозгу. Моя голова всегда была чиста и я не испытывал страха. Желаете ли вы выслушать мои воспоминания по этому поводу? (Поворачивается к господам в президиуме.) Как я уже говорил, я не испытывал страха. Меня иногда спрашивали: «Ты боишься грабителей?» Я отвечал: «Нет». «Волков?» — «Нет». Меня спрашивали: «Ты боишься сумасшедшего Луку?» — «Нет, я не боюсь Луку». «Ты боишься гусака?» — «Да, боюсь», — отвечал я и прижимался к матери. А боялся я потому, что меня однажды оставили во дворе без одежды, а эта зверюга подбежала ко мне и так ущипнула за живот, что у меня до сих пор остался шрам.

Образы, которые я видел, сильно беспокоили меня. Приведу такой пример: предположим я был свидетелем похорон. В моей стране такая церемония — настоящая пытка. Мертвое тело покрывают поцелуями, затем обмывают и оставляют для прощания на три дня, потом слышатся тяжкие звуки падающей земли, и наконец всё заканчивается. Некоторые картинки, например гроб, были не просто яркими, но иногда настолько реальными, что когда я протягивал руку, я видел, как она пронзает изображение. Теперь я смотрю на это так: эти образы были просто результатом обратного воздействия глазного нерва на сетчатку, и производили эффект, подобный проекции через линзу, и если мое мнение верно, то возможно (и мой опыт это доказал) проецировать образ любого предмета, представленного мысленно, на экран и видеть его. Такая разработка произведет революцию во всех сферах человеческой деятельности. Я убежден, что это можно сделать и это будет сделано.

Чтобы освободиться от этих мучительных явлений, я пытался сконцентрировать свои мысли на чем-нибудь другом, виденном мною раньше, и, поступая таким образом, часто добивался временного облегчения; но для этого мне приходилось быстро менять воображаемые образы. Вскоре я обнаружил, что мой запас образов иссяк, «бобина с кинолентой» кончилась. Я так мало видел в этом мире — только предметы домашнего обихода и ближайшего окружения. Пока я проводил такие мысленные операции во второй и третий раз, я обнаружил, что лекарство потеряло свою силу. Тогда я начал совершать экскурсии за пределы известного мне мирка, и увидел новые пейзажи. Сначала они были расплывчатыми и мутными и таяли, когда я пытался сосредоточиться на них, но постепенно я научился фиксировать их; они приобрели яркость и отчетливость и в конце концов приняли форму реальных предметов. Вскоре я сделал открытие, что лучше всего себя "чувствовал, если просто продолжал двигаться по видеоряду всё дальше и дальше, получая всё новые и новые впечатления, и таким образом я начал путешествовать — мысленно, конечно. Вы знаете о великих открытиях: одно из них — это открытие Колумбом Америки, но когда мне в голову пришла идея так путешествовать, мне казалось, что я совершил величайшее открытие, какое может совершить человек. Ежедневно (а иногда и днем), оставаясь один, я отправлялся в свои путешествия. Я видел новые места, города и страны, я жил там, знакомился с людьми, заводил друзей, и они были мне так же дороги, как и те, что были в реальной жизни, и ничуть не менее яркими. Этим я занимался до тех пор, пока не повзрослел. Когда я обратился к изобретательству, то обнаружил, что могу мысленно представлять свои идеи, и притом очень отчетливо. Мне не нужны были модели, чертежи или опыты, я мог создавать их в уме, что я и делал. Таким образом я, не осознавая этого, подошел к развитию, как считал, нового метода материализации изобретательских концепций и идей, который радикально отличается от чисто экспериментального, непревзойденным мастером коего является, без сомнения, Эдисон. В тот момент, когда изобретатель конструирует какое-либо устройство, чтобы облечь в форму незрелую идею, он неизбежно оказывается в полной власти своих мыслей о деталях и недостатках этого механизма. Пока занимается исправлениями и переделками, он отвлекается, и из поля зрения уходит важнейшая идея, заложенная первоначально. Вы получаете результат, но жертвуете качеством. Мой метод иной. Я не спешу приступить к конструированию. Когда у меня рождается идея, я сразу же начинаю развивать ее в своем воображении. Я меняю конструкцию, улучшаю ее, ставлю опыты, привожу всё в движение. Для меня совершенно неважно, запускаю я свою турбину в мыслях или в мастерской. Разницы никакой, результат тот же. Таким способом я могу быстро совершенствовать свое изобретение, ни к чему не прикасаясь. Когда учтены все возможные и мыслимые усовершенствования и не видно никаких слабых мест, я строю окончательное изделие. Изобретенное устройство неизменно работает так, как, по моим представлениям, ему надлежит работать, и опыт проходит именно так, как я планировал. За двадцать лет не было ни одного исключения. Почему должно быть иначе? Инженерной работе в области электричества и механики свойственны точные результаты. Почти каждый объект можно представить математически и просчитать результаты, но если ситуация такова, что результаты эксперимента нельзя получить простыми математическими методами или при помощи упрощенных вычислений, у нас всё же есть весь наш опыт, и все знания, из которых мы можем исходить и строить наши модели. Зачем же облечь в форму незрелую идею? В этом нет необходимости, это пустая трата энергии, денег и времени. Именно так я получил свое вращающееся поле.

Для того чтобы в нескольких словах рассказать вам историю этого изобретения, я должен начать со времени своего рождения, и вы всё поймете. Родился я точно в полночь, у меня нет дня рождения и я никогда его не отмечаю. Но в этот день, видимо, случилось и кое-что еще. Я узнал, что мое сердце бьется справа, и думал так многие годы. По мере того, как я рос, оно билось уже с обеих сторон и наконец утвердилось слева. Помню, когда я стал уже крепким, сильным мужчиной, для меня было большим удивлением обнаружить, что мое сердце слева. Никто не понимает, как это произошло. Я два или три раза падал и один раз

кости грудины были раздавлены и вошли внутрь. Во время моего рождения случилось нечто необычное и именно тогда родители определили мне судьбу священника. Когда мне было шесть, я умудрился оказаться закрытым в небольшой часовне в горах, куда люди приходили один раз в году. На этом месте происходили леденящие кровь встречи, а рядом было кладбище. Меня закрыли там, когда я искал воробьиные гнезда, и мне пришлось провести самую страшную в жизни ночь в компании призраков умерших людей. Американские мальчики вряд ли поймут меня, поскольку в Америке нет призраков — люди здесь слишком практичны; но в моей стране их было полным-полно, и каждый, от мальчишки до величайшего героя, со всех сторон увешанного медалями за храбрость, все боялись призраков. Наконец, как по волшебству, я был спасен, и тогда мои родители сказали: «Истинно, он должен стать священнослужителем». Что бы ни случилось после этого, не важно что, всё только утверждало их в своем решении. Расскажу вам небольшую историю. Однажды я упал с крыши фермы в котел с кипящим молоком, под которым ревели пламя. Я сказал «с кипящим»?

— Нет, молоко не кипело — во всяком случае термометр этого бы не показал, — хотя я бы поклялся, что это был кипяток, когда я в него свалился, но меня быстро вытащили. И оказалось, что у меня всего один волдырь на колене в том месте, каким я ударился о горячий котел. Родители сказали: «Ну не чудо ли? Вы слышали о таком когда-нибудь? Он точно станет епископом, митрополитом, может быть, и патриархом». На восемнадцатом году жизни я оказался на перепутье. Я уже окончил школу и должен был решить, присоединиться к клану духовенства или сбежать. Я глубоко уважал своих родителей, поэтому решил заниматься духовными науками. Именно тогда произошло нечто, что впоследствии связало мое имя с сегодняшним событием. Разразилась ужасная эпидемия холеры, которая выкосила десятую часть населения, и, конечно, я ее сразу подхватил. Позже холера привела к водянке, проблемам с легкими и прочим заболеваниям, и в конце концов мне заказали гроб. Во время одного из приступов, когда все думали, что я умираю, отец подошел к моей постели, чтобы подбодрить меня такими словами: «Ты поправишься». «Возможно, — ответил я, — если ты позволишь мне изучать инженерное дело». «Конечно позволю, — заверил меня отец, — ты поступишь в лучшее техническое учебное заведение в Европе». Мой отец сдержал слово, и после года прогулок в горах и физических упражнений я поступил в политехническую школу в Граце, в Стерии, одно из старейших учебных заведений. Произошло еще кое-что, о чем я должен рассказать, так как это событие имеет непосредственное отношение к этому открытию. В реальном училище, которое я посещал, ученика, не имевшего удовлетворительных оценок по всем предметам, не переводили в следующий класс. Я не умел рисовать. Мое умение воображать предметы парализовало даже тот скромный навык, который я мог иметь по этой дисциплине. Конечно, я немного чертил механизмы; после стольких лет практики невозможно не научиться выполнять несложные чертежи, но если я занимаюсь этим в течение получаса, я выбиваюсь из сил. Вследствие этого мои отметки не позволяли мне переходить в следующий класс и меня переводили только благодаря влиянию отца. Теперь же, когда я поступил в политехническую школу, я мог выбирать предметы по собственному желанию, и я решил продемонстрировать родителям свои способности. Первый год провел так — вставал в три утра и занимался до одиннадцати ночи, без выходных. Что ж, когда достаточно разумный человек так работает, он должен чего-то достичь. Естественно, я достиг. Я сдал девять экзаменов за год и некоторые преподаватели были не удовлетворены самой высокой оценкой, которую они могли мне поставить, поскольку считали, что такая оценка не отражает проделанного мной объема работы, и вот тут мы подходим к вращающемуся полю. В дополнение к диплому об окончании я получил дополнительные свидетельства, которые привез домой в надежде продемонстрировать отцу свой триумф. Он взял эти свидетельства и швырнул их в мусорное ведро, презрительно бросив: «Я знаю, чего стоят эти бумажки». Мои амбиции были почти растоптаны, и только позже, после смерти отца, я испытал смертельную боль, найдя связку писем, из которой следовало, что отец вел довольно оживленную переписку с моими профессорами они и

предупреждали его, что я могу погибнуть от переутомления. Тогда я понял, почему он так пренебрег моим успехом, какого еще никто в этой школе не добивался; на самом деле студенты сдавали в лучшем случае два экзамена. В первый же год я установил такой рекорд, что заслужил благоприятные отзывы и дружбу некоторых преподавателей, а именно трех: профессора Рогнера, читавшего курс арифметических наук и геометрии; профессора Алле, великолепнейшего лектора из всех, кого я встречал, специалиста по дифференциальным уравнениям, о которых он опубликовал несколько трудов на немецком языке; и профессора Пешля, моего наставника по физике. Профессор Пешль был очень любопытной личностью. Такого размера ступней я в жизни не видел. Они были вот такие (показывает). Его руки были как лапы зверя, но когда он ставил опыты, всё было так убедительно и работало так красиво, что нельзя было понять, как он это проделывает. Всё дело было в методе — всё выполнялось с точностью часового механизма, потому и удавалось.

Я учился на втором курсе, когда мы получили из Парижа динамо-машину Грамма с пластинчатым статором подковообразной формы и ротором с катушкой и коллектором. Динамо собрали и смотрели, как по-разному может проявляться действие тока. Когда профессор Пешль проводил демонстрационные опыты, используя машину в качестве двигателя, возникли неприятности со щетками — они сильно искрили и я заметил: «Почему бы нам не привести мотор в действие без щеток?» Профессор Пешль заявил, что этого нельзя сделать, но помня о моих успехах на первом курсе, оказал мне честь и прочитал лекцию о данном предмете. Затем он объявил: «Г-н Tesla может совершать великие дела, но этого он, несомненно, никогда не сделает». И далее заметил, это было бы подобно тому, чтобы превратить некую постоянно-действующую силу, например гравитацию, во вращательное движение, некий вечный двигатель, а это — неосуществимая идея. Но интуиция есть нечто, выходящее за пределы знания. Мы, несомненно, имеем более тонкую материю, которая дает нам возможность постигать истины, когда логическая дедукция или любое другое волевое усилие мозга тщетны. Размышляя логически, мы не можем выйти за пределы определенных областей, но интуиция позволяет преодолевать громадные расстояния. Я был убежден в своей правоте и взялся за реализацию задачи немедленно.

Не буду утомлять вас подробным описанием этого предприятия, скажу только, что я начал работу летом 1877 года и дело продвигалось так: сначала я представил себе машину постоянного тока и то, как токи изменяются в якоре, затем генератор переменного тока и процесс изменения тока в нем. Потом вообразил систему, сочетающую моторы и генераторы и так далее. Все устройства я мысленно собирал приводил в действие и работал с ними в разных режимах. В 1882 году я каким-то образом почувствовал, что прозрение недалеко. Я еще не видел точного решения, но знал, что близок к нему. В этом году во время каникул, совершенно точно, решение пришло ко мне, и я никогда не забуду этого момента. Я гулял с другом в городском парке Будапешта и читал что-то наизусть из Фауста. Для меня не составляло труда читать по памяти даже и всю книгу целиком, слово за словом, от первого до последнего. Мои брат и сестра могли делать это гораздо лучше меня. Хотел бы я знать, обладает ли кто-либо из присутствующих такой памятью? Это довольно необычно, процесс совершенно визуален и имеет обратную связь. Поясню — когда я сдавал экзамены, мне приходилось читать книги за три, четыре дня, если не за неделю до этого, так как этого времени мне было достаточно для того, чтобы реконструировать и воспроизвести образы; но если экзамен следовал на следующий день после прочтения книги, образы были неяркими и запоминание неполным. Как я только что говорил, я цитировал поэму Гёте, солнце клонилось к закату, я почувствовал эмоциональный подъем и идея пришла ко мне, как вспышка. Я увидел все механизмы очень четко: генератор, мотор, соединительные провода, я увидел, как она работает и всё выглядело как в реальности. Палочкой на песке я нарисовал чертежи такими, какими они представлены в лекции в Американском институте инженеров и описаны в патентах, очень четко, и этот образ с тех пор всегда в моем сознании. Если бы я обладал практическим талантом Эдисона, я бы немедленно начал экспериментировать и продвигать свое изобретение, но мне это было не нужно. Мое воображение было настолько

ярким, а то, что я представлял себе, настолько реальным и осязаемым, что мне не нужны были эксперименты, мне это было неинтересно. Я продолжал вносить усовершенствования в мой план. Изобретал новые типы машин, и в тот день, когда я приехал в Америку, практически каждая форма, каждый тип конструкции, каждое устройство, описанные в моих тридцати или сорока патентах, были доведены до совершенства, за исключением только двух или трех типов моторов, которые явились результатом более поздних разработок.

В 1882 году я кое-что протестировал в Страсбурге, как указывал г-н Терри, и тогда на железной дороге получил первое вращение. Этот эксперимент был повторен дважды.

Теперь я подхожу к очень интересной главе моей жизни — приезду в Америку. Я произвел некоторые доработки динамо-машин, которые некая французская компания завозила отсюда. Доработанные варианты были настолько хороши, что управляющий сказал мне: «Вы должны отправиться в Америку и конструировать машины для компании Эдисона». Итак, после неудачных попыток финансово заинтересовать кого-то по ту сторону океана, я прибыл в эту страну. Вряд ли вы поймете, насколько я был поражен увиденным. Вы бы очень удивились. Наверняка вы читали очаровательные сказки «Тысячи и одной ночи», в которых духи переносят людей в удивительные края, где они переживают разнообразные восхитительные приключения. Со мной всё было наоборот. Духи перенесли меня из мира мечтаний в мир реальности. Мой мир был прекрасным, эфемерным, именно таким я его себе представлял. Здесь я обнаружил мир машин; соприкосновение было грубым, но мне понравилось. С того самого момента, как я увидел Кастрл-Гарден, я понял, что был хорошим американцем еще до того, как прибыл сюда. Затем произошло кое-что еще. Я познакомился с Эдисоном и он произвел на меня необычайное впечатление. Когда я увидел этого выдающегося человека, не имевшего теоретической подготовки, никакой поддержки, достигшего столь многого благодаря невероятному усердию и применению своих талантов на практике, я ужаснулся тому, как бездарно растратил свою жизнь. Я изучил несколько иностранных языков, перерыл горы книг по литературе и искусству и провел свои лучшие годы в библиотеках, читая всё, что попадало в руки. Мне подумалось: если бы я приехал в Америку раньше и посвятил все свои мысли изобретательству, чего бы я смог достичь? Позже я осознал, что не произвел бы ничего без научной подготовки, которую получил, и большой вопрос, верна ли моя теория относительно более раннего приезда. В мастерских Эдисона я провел целый год в напряженном труде, а затем получил предложения от неких бизнесменов основать собственное дело. Я откликнулся на их предложение и занялся разработкой дугового освещения. Чтобы вы поняли, насколько велики были предрассудки в отношении переменного тока, как уже заметил господин президент, скажу вам только, что, упомянув моим друзьям о совсем невероятном изобретении в области передачи переменного тока, получил ответ: «Нет, нам нужна дуговая лампа. Нам не нужен переменный ток». В конце концов я усовершенствовал свою систему освещения и город принял проект. Затем мне удалось создать еще одну компанию, в апреле 1886 года была организована лаборатория, где я усиленными темпами дорабатывал мои моторы, и настал тот момент, когда к нам обратились люди из компании «Вестингауз электрик», и мы были готовы представить их миру. Вы знаете, что случилось потом. Это изобретение покорило мир.

Мне хотелось бы сказать пару слов о предприятии на Ниагарском водопаде. Сегодня здесь вместе с нами тот человек, которому принадлежит заслуга поддержки проекта с самых ранних шагов и финансирования его в самый трудный момент. Я говорю о г-не Э.-Д. Адамсе. Когда я узнал, что такие авторитетные господа, как лорд Кельвин и профессор У.К. Ануин, рекомендовали: один — постоянный ток, а другой — сжатый воздух для передачи энергии от Ниагарского водопада в Буффало, я подумал, что дело принимает опасный оборот, и отправился к г-ну Адамсу. Я очень хорошо помню нашу беседу. То, что я рассказал, произвело на него большое впечатление. Впоследствии между нами завязалась переписка, и то ли вследствие моих объяснений, то ли в силу других обстоятельств, моя система была принята. С той поры в предприятии участвовали другие люди с иными интересами, что

происходило потом, я не знаю, кроме того, что станция на Ниагарском водопаде дала толчок процессу развития системы передачи и преобразования энергии в огромных объемах.

Г-н Терри упомянул и о других моих изобретениях. О них я скажу вкратце, поскольку некоторые мои труды вызвали недопонимание. Мне кажется, следует рассказать о том, в каком направлении я сконцентрировал свои усилия впоследствии. В 1892 году я прочел лекцию в Королевском научном обществе и лорд Рейли, признав мои заслуги в форме щедрой похвалы, что само по себе необычно, среди прочего заявил, что у меня редкий дар изобретателя. До этого момента, уверяю вас, я вряд ли предполагал, что вообще им являюсь. Открытие вращающегося поля я рассматривал всего лишь как математическую, логическую, пошаговую дедукцию. К этому изобретению пришел при помощи силы или энергии, так сказать, болтов и рычагов.

Мне казалось, что вдохновение тут ни при чем. Мои механизмы были полностью разработаны мной мысленно — от начала до конца. Когда я начал проводить первые эксперименты, они ничего не значили для меня: ведь я превосходно провел их до этого. Итак, вернувшись домой после той лекции 1892 года и прочтя эти замечания лорда Рейли, я задумался и убедил себя в том, что я — изобретатель. Например, я вспомнил о том, что, будучи еще мальчишкой, мог отправиться в лес и поймать сколько угодно ворон, чего никто другой не мог сделать. Однажды, семи лет от роду, я починил пожарную машину, когда этого не удалось сделать инженерам, и меня, как триумфатора, пронесли на руках по городу. Я конструировал часы, турбины и такие приспособления, которые не мог придумать ни один мальчик в нашей деревне. Я сказал себе: «Если у меня действительно талант изобретателя, пусть он послужит великой цели, я не буду транжирить его по мелочам». И я начал размышлять, за какое же великое дело мне взяться. Однажды, когда я гулял по лесу, разразилась гроза, и я укрылся под деревом. Воздух сделался тяжелым; вдруг ударила молния и сразу после этого хлынул ливень. Тогда у меня появилась первая идея. Я понял, что солнце поднимает ввысь водяные испарения, ветра гонят их в отдаленные регионы, где они собираются и достигают того состояния, когда легко сгущаются и вновь проливаются на землю. Этот животворный поток поддерживается исключительно энергией солнца, и молния, или иной подобный фактор, служит только спусковым крючком, для того чтобы высвободить энергию в нужный момент. Я начал работать над проблемой создания машины, которая позволила бы высвобождать потоки воды в нужном месте и в нужное время. Если бы это стало возможным, мы могли бы извлекать неограниченное количество воды из океанов, создавать озера, реки и водопады, и безгранично увеличить количество гидроэлектроэнергии, которой сейчас недостает. Всё это привело меня к созданию электрических эффектов необычайной силы. В это же время, работая над беспроводными приборами в том же направлении, я немало времени посвятил их усовершенствованию. В 1908 году я подал заявку на патент с описанием устройства, которое, как я думал, могло сотворить чудо. Инспектор-испытатель Патентного бюро был из Миссури, он не верил, что это можно сделать, и патент мне не выдали. Но в Колорадо я построил передатчик, при помощи которого получал эффекты в некотором роде даже более мощные, чем молния. Я не имею в виду потенциал. Высочайший потенциал, который я получил, составил около 20 000 000 вольт, что не идет ни в какое сравнение с молнией, но некоторые эффекты, производимые моим устройством, были мощнее эффекта молнии. Например, в моей антенне я получал ток силой от 1 000 до 1 100 ампер. Это было в 1899 году, а вы все знаете, что в самых больших беспроводных установках сегодня используется ток силой всего 250 ампер. Однажды в Колорадо мне удалось вызвать сильный туман. За окном была легкая дымка, но когда я включил ток, облако в лаборатории стало настолько густым, что руку, вытянутую на расстояние нескольких дюймов от лица, уже нельзя было разглядеть. Я совершенно убежден в том, что мы можем возвести в засушливом регионе станцию определенной конструкции, которая работала бы в соответствии с наблюдениями и некоторыми правилами, и позволила поднимать из океана любое количество воды для нужд ирригации и производства энергии.

Если я при жизни не смогу завершить эту работу, ее сделает кто-то другой, но я уверен в своей правоте.

Что же касается передачи энергии через пространство, то я уже давно считаю, что этому проекту обеспечен успех. Несколько лет назад мне приводилось передавать энергию без проводов на любое расстояние, ограниченное только размерами земного шара. Моей системе всё равно, какое задано расстояние. КПД передачи может достигать 96 или 97 процентов, а потеря практически не существует за исключением тех, что возникают при работе машин. Когда нет приемника, нет и потребления энергии. Когда мы включаем приемник, он потребляет энергию. Это как раз противоположно волновой теории Герца. В этом случае, если у вас имеется передатчик мощностью 1 000 л. с, он излучает постоянно, и не важно принимается ли где-либо энергия, но в моей системе энергия не теряется. Когда нет приемников, передатчик потребляет только несколько л. с, необходимых для поддержания электрических колебаний; он работает вхолостую, как электростанция Эдисона, когда моторы и лампы выключены.

За последние несколько лет я несколько улучшил систему, что позволит сделать ее более практичной. Недавно я получил патент на передатчик, при помощи которого можно на практике передавать любое количество энергии на любое расстояние. Мы поставили несколько опытов совместно с г-ном Стоуном, которого я считаю если не самым одаренным, то уж точно одним из самых одаренных из ныне здравствующих специалистов. Я сказал г-ну Стоуну: «Вы видели мой патент?» Он ответил: «Да я его видел, но подумал, что Вы сошли с ума». Когда я объяснил суть дела, он сказал: «Теперь я понимаю его величие» — ему стал понятен принцип передачи энергии.

В заключение я хочу сказать, господа, что мы движемся к великим свершениям, но мы должны быть готовы к состоянию, так сказать, временного паралича. Мы стоим перед кризисом, какого мир еще не видел, и до тех пор, пока ситуация не прояснится, лучшее, что мы можем сделать, — разрабатывать некоторые методы борьбы с подводными лодками, и как раз этим я в настоящее время занят. (Аплодисменты.)

*Альфред Г. Коулз:* Вот фотографии, которые Вы дали мне почти двадцать лет назад, на них показаны эксперименты 1889 года. Думаю, Вам интересно будет на них взглянуть. (Передает фотографии г-ну Тесле.)

*Никола Тесла:* Я изобрел установку, которая выдает напряжение в 100 000 000 вольт и делает это совершенно безопасно. Эта установка (показывает) находилась в Колорадо. Если бы кто-либо, кто не погружался в эти эксперименты так долго, как я, занялся этой работой, он бы скорее всего погиб. На этой установке я был ближе всего к смерти. Это было квадратное здание, в котором находилась катушка диаметром 52 фута, высотой примерно девять футов. Когда она входила в резонанс, стримерные потоки пронизывали ее сверху вниз, и это зрелище было прекрасным. Видите ли, площадь потоков составляла около 1 500-2 000 квадратных футов. Чтобы сэкономить деньги, я рассчитал габариты насколько возможно точно, и стримеры проходили в шести или семи дюймах от стен здания. Поскольку в оконце в задней стене всё время подглядывали мальчишки, я его заколотил. У меня был особый рубильник для управления сильными токами. Он был очень тугой, и я придумал специальную пружину, которая поворачивала его при легком нажатии пальцем. Отослав одного из помощников в город, я экспериментировал в одиночестве. Выключил цепь и зашел за катушку, чтобы кое-что проверить. Внезапно цепь замкнулась и вся комната озарилась потоками, и я понял, что мне не выбраться. Попытался вскарабкаться в окошко, но тщетно, у меня не было инструментов. Мне ничего не оставалось, как лечь на живот и ползти. Напряжение в первичной обмотке было около 500 000 вольт, и мне пришлось пролезать через такой узкий проход (показывает), потоки в это время жили. Концентрация азотистой кислоты была так велика, что я с трудом дышал. Эти стримерные потоки быстро окисляют азот из-за большой площади своей поверхности, которая с лихвой компенсирует недостаток напряжения на них. Когда я достиг узкого участка, они замкнулись на моей спине. Я выбрался и едва успел отключить установку, как всё здание загорелось. Я схватил

огнетушитель и мне удалось погасить пламя. Тогда мои силы иссякли, я выдохся. Но зато теперь я знаю, как управлять установкой и не бояться сжечь ее. За этот маленький экскурс несет ответственность г-н Коулз.

*Президент:* Если наша повестка исчерпана, позвольте считать заседание оконченным. На этом заседание закрылось.

## Эпилог

Для того, чтобы понять всю важность и по достоинству оценить масштаб той борьбы, которую Никола Тесла вел за идею переменного тока, нам следует попытаться вспомнить те времена. Цивилизованный мир, старая и новая его части, находился в полной зависимости от постоянного тока, поскольку он мог вырабатываться и поставляться в сеть постоянно и в одинаковом количестве. А началось всё с изобретения электрических аккумуляторных батарей. Позже, когда возникла потребность в электрическом моторе большей мощности и появились местные электростанции, были сконструированы динамо-машины для производства такого тока и двигатели, питающиеся им. Однако это привело к созданию линий электропередачи и опор для них. Развитию такой системы передачи энергии очень способствовала лампа Эдисона с тонкой графитовой нитью, склонной к перегоранию. В развитие таких систем и приспособлений были вложены огромные средства, в особенности в последние десятилетия XIX века. Когда Никола Тесла прибыл в Нью-Йорк в 1884 году, казалось, что процесс усовершенствования таких систем бесконечен.

Однако такая система имела много ограничений в техническом плане и, как следствие, в экономическом. Напряжение на выходе динамо-машин не могло быть достаточно высоким для использования длинных и тонких проводов. Так, длина проводов не могла быть более 1 000 км и они были достаточно толстыми для того, чтобы избежать больших потерь энергии. Вот почему города были буквально напичканы небольшими термоэлектрическими станциями, способными питать не более 100 ламп или, в лучшем случае, два электромотора. Над городскими улицами висела паутина проводов постоянного тока. В те времена большим достижением для Европы была линия электропередачи длиной 57 км мощностью всего 300 ватт.

Единственной сферой применения однофазного переменного тока было электрическое освещение, которое стало возможным благодаря изобретению Голлардом однофазного трансформатора.

Однако такой ток был непригоден для электромоторов до тех пор, пока Никола Тесла не открыл вращающееся магнитное поле и не построил на этой основе свой асинхронный электромотор, а затем и генераторы многофазного переменного тока и трансформаторы для них. Тесла описал свои изобретения в патентах за номерами 381.968, 381.969 и 382.279 (электромагнитные двигатели); 390.414, 390.721, 390.415 (электрические динамо-машины); 555.190 (двигатели переменного тока) и 382.280, 382.281, 381.970, 390.413, 487.796, 511.915, 511.559 (передача и распределение электроэнергии), но перед этим он прочел лекцию в Американском институте инженеров (16 мая 1888 г.), которая называлась «Новый принцип устройства двигателей и трансформаторов переменного тока».

После этой лекции стало ясно, что открылась новая эра в производстве, преобразовании и передаче многофазных электрических токов и применении их в электродвигателях. Все научные и профессиональные журналы в Америке и Европе опубликовали эту лекцию целиком или ее наиболее важные моменты. В лекции Тесла рассказал о двух типах асинхронных двигателей: первый тип вращается с постоянной скоростью и любой нагрузкой (синхронные моторы), но имеет низкий пусковой момент; второй тип хорошо работает с любой переменной нагрузкой, пропорционально понижая количество оборотов (от синхронного количества), но имеет значительный пусковой момент. Тесла особо

подчеркивал, что оба полезных свойства могут с успехом применяться в одном комбинированном двигателе, при условии правильного построения цепи.

В подтверждение теоретических выкладок в заключительной части лекции многоуважаемый профессор Энтони продемонстрировал два небольших электромотора конструкции Теслы и доказал их простоту и способность бесперебойно работать.

Эти разработки были основаны на вращающемся магнитном поле, о котором Тесла размышлял еще будучи студентом в Будапеште в 1882 году. Именно тогда у него зародилась идея создать такое поле при помощи переменного тока.

В своей лекции Тесла, во-первых, упомянул о бесполезности коллекторов в машинах постоянного тока и потерях, которые они вызывают при неизбежном искровом повреждении во время перегрузок, а также о повреждении изоляции между медными пластинами коллектора.

Когда ротор вращался в постоянном магнитном поле, коллектор преобразовывал фактически возникающий в генераторе переменный ток в постоянный, в то время как мотор преобразовывал постоянный ток, возникающий в генераторе, обратно в переменный, в результате чего ротор вращался в постоянном магнитном поле. Тесла интуитивно уловил эту идею и поделился ею со своим профессором в Граце. Тот убеждал его в несостоятельности этой идеи, но Тесла не отказался от нее совсем, как он позже рассказывал своим друзьям.

Что касается теоретического обоснования идеи вращающегося магнитного поля, которая представляется нам сегодня довольно простой и легкой для понимания, то мы видим, что два переменных тока с синусоидальным изменением во времени, с разницей по фазе в 90 градусов или  $\frac{1}{4}$  полного оборота дают две составляющих переменного магнитного поля, приводящих к возникновению магнитного поля постоянной напряженности, которое вращается с постоянной угловой скоростью, пропорциональной частоте этих токов.

После того как знаменитый инженер Джордж Вестингауз посетил лекцию Теслы, он, будучи изобретателем (тормозные системы локомотивов и вагонов) и владельцем электрической компании, за значительную сумму выкупил около 40 патентов Теслы в области производства электроэнергии. А когда компания «Вестингауз электрик» на Всемирной выставке в Чикаго в 1893 году продемонстрировала машины, построенные по чертежам Теслы, а сами павильоны выставки ярко освещались при помощи высокочастотных токов, с которыми работал Тесла, а также после прошедшего вскоре Конгресса электриков, сопротивление защитников постоянного тока сошло на нет. Вслед за этими событиями Комитет по выбору системы преобразования энергии воды на Ниагарском водопаде после долгих и бурных дискуссий одобрил систему Теслы, и именно тогда переменный ток, в который ученый верил, несмотря ни на что, и которому посвятил всё свое время и силы, триумфально победил в «войне двух токов».

Михайло Пупин, заговоривший в своих лекциях о преимуществах переменного тока перед постоянным, столкнулся с неодобрением своих коллег, которые грозили лишить его финансирования для создания лаборатории и подвергли сомнению его соответствие занимаемой должности профессора.

С другой стороны, отдельные личности, специалисты и даже некоторые ученые с готовностью бросились оспаривать приоритет Теслы в открытии вращающегося магнитного поля, асинхронного двигателя и применении многофазного переменного тока в электрических приборах. Начались многочисленные судебные процессы, инициированные профессором Феррари-сом и инженером Шелленбергом. Феррарис опубликовал небольшой труд о возможности создания подобного поля 18 марта 1888 года, тогда как Тесла запатентовал свое открытие 12 октября 1887-го. Феррарис в своей публикации не указывал на возможность применения такого поля в электромоторе и рассматривал свою находку как нечто вроде лабораторной игрушки, и КПД его устройства не превышал 50%. Пупин написал Тесле письмо касательно этого разбирательства, где, помимо прочего, говорил: «Мой дорогой г-н Тесла... Шарлатанству Феррариса оказали немалую поддержку Ваши оппоненты. Насколько я понимаю вопрос, совершенно нетрудно продемонстрировать

гигантскую разницу, которая существует между беспорядочным чередованием полюсов Феррариса и вращением магнитного поля Теслы. Эти две вещи представляются мне абсолютно разными и на этом следует заострить внимание и показать в нужном свете». Что же касается Шел-ленберга, то он обнаружил вращение совершенно случайно, когда работал с трансформатором Голларда и Гиббса, и никак не мог объяснить его. Но все споры закончились после постановления, вынесенного Верховным патентным судьей Таунсендом, который, к своей чести и помимо прочего, заявил: «Именно гению Николы Теслы принадлежит честь обуздать силы природы и заставить их работать в машинах, созданных человеком. Он первым продемонстрировал, как дикая стихия может быть преобразована в машину, дающую нам энергию».

Вообще говоря, инженер Доливо-Добровольски, применивший систему передачи электроэнергии Теслы в Германии (между Франкфуртом и Лауфе-ном), пренебрег тем, что эта система была запатентована Теслой 17 декабря 1889 года в Германии. В свою защиту тот сослался на Феррариса, который ранее ни разу не упоминался в связи с этим изобретением.

Миллионы моторов Теслы работают сегодня по всему миру, а удаленные линии электропередачи проводят трехфазный электрический ток напряжением более 400 000 вольт от электростанций на расстояния более 1 000 км.

Однако в настоящее время постоянный ток высокого напряжения всё же используется благодаря ртутному преобразователю с низкими потерями, хотя очень редко и только при условии, что непосредственно перед конечным потребителем он снова преобразуется в переменный ток напряжением 120, 230 или 400 вольт.

Один известный ученый и современник Николы Теслы сказал: того, что он сделал в области энергетики и электротехники, достаточно, чтобы обеспечить ему всемирную известность и благодарность всего человечества.

Помимо наиболее важных характеристик гнѢИѢфазных токов Тесла определил и их точную частоту. Работая в «Вестингауз электрик» в качестве консультанта над созданием генератора переменного тока, он столкнулся с определенными трудностями, когда пытался убедить своих коллег отказаться от заданной частоты 133 Гц и принять частоту 60 Гц, поскольку низкая частота обеспечивала наименьшие потери в металлических частях оборудования. На сегодняшний день именно эта частота, предложенная в свое время Теслой, применяется во всѢм мире (в Америке и Японии 60 Гц, в Европе — 50 Гц).

Помимо вышесказанного, Тесла решил и довольно трудную проблему изоляции в высоковольтных трансформаторах. Он первым предложил применять для изоляции обмоток мощных трансформаторов вываренное льняное масло, которое широко используется и по сей день. Таким же образом Тесла предложил охлаждать токопроводящие части в кабелях с высокой силой тока для того, чтобы уменьшить их сопротивление и, соответственно, потери.

Тесла недолго сотрудничал с компанией Вестингауза. Он хотел полностью отдаться изучению переменных токов, но более высокочастотных, а не с промышленной частотой в 50 и 60 Гц. Тесла интуитивно чувствовал, что высокочастотные токи обладают свойствами, открывающими возможности по их применению, о которых нельзя было и мечтать. Поскольку такие токи физиками были совсем не изучены, у Теслы появлялась возможность заняться фундаментальными научными исследованиями. Результаты таких исследований были защищены патентами за номерами 455.069 и 454.622 (электрические лампы и системы электрического освещения) перед выступлением с лекцией в Колумбийском университете 20 мая 1891 года. Тема ее — «Эксперименты с переменными токами очень высокой частоты и их применение в искусственном беспроводном освещении».

Поначалу Тесла наращивал количество магнитных полюсов в генераторах переменного тока исходя из собственного опыта, а также увеличивал скорость вращения до тех пор, пока это позволяли сделать центробежные силы. При этом частота тока доходила до 10 000, 20 000 и даже 30 000 Гц. Уже при этих частотах удавалось получать, при условии применения соответствующих контуров и дополнительных приборов, электромагнитные волны большой длины (от 10 до 30 км).

Над такими генераторами в дальнейшем работали инженеры Фессен-ден и Александерсон. Они развивали идеи Теслы, не упоминая его имени. Интересно отметить, что первый радиотелеграф близ Белграда (в Раковице) работал именно от такого генератора.

И всё же Тесла быстро осознал тот факт, что подобные аппараты не имеют дальнейшей перспективы по линии увеличения частоты и сконцентрировался на совершенно новом способе получения высокочастотных токов. 15 лет упорного и плодотворного труда привели к совершенно неожиданным и невиданным доселе результатам. В это время Тесла выступил с двумя знаменитыми лекциями на тему высокочастотных токов — «Эксперименты с переменными токами высокого напряжения и высокой частоты» и «О свете и других высокочастотных явлениях».

В сущности, Тесла начал использовать свойства конденсатора, который накапливает и отдает большое количество электроэнергии. Соединив конденсатор с искрящим контактом и быстро гася искры при помощи магнита или воздушной струи, Тесла смог получить в большом количестве очень быстрые колебания тока от самих искр. Так Тесла преобразовал электрическую энергию от простого источника постоянного или переменного тока в колебания высокой частоты. Задействовав свой трансформатор без железного сердечника и применив явление электрического резонанса, Тесла получил, помимо высокой частоты, и огромное напряжение.

Тесла смог получить такие результаты, потому что был хорошо знаком с трудами первопроходцев в этой области — Максвелла, Генри, Гельмгольца, Лоджа, Герца и лорда Кельвина, которые выдвинули постулаты теории колебаний электрических цепей, содержащих индуктивность, конденсатор и резистор, и описали процессы возникновения резонантной частоты в таких цепях.

Здесь стоит отметить, что Герц в своих опытах подтвердил теорию света Максвелла как отдельное проявление электромагнитных волн сверхкороткой длины, но не смог при помощи своего биполярного осциллятора получить ни непрерывные и незатухающие колебания, ни такие высокочастотные токи, которые Тесла впоследствии легко получил с помощью своего всемирно известного высокочастотного осциллятора и высоковольтного высокочастотного трансформатора. Эти токи стали называться токами Теслы и в дальнейшем получили применение во многих приспособлениях. Тесла ставил опыты с такими токами, чтобы изучить их свойства и возможности применения, в первую очередь для искусственного освещения, что и было темой трех его лекций в Америке, Англии и Франции в 1891 и 1892 годах. К примеру, содержание его лекции в Нью-Йорке было настолько новым и оригинальным, что в него с трудом верилось, и он получил приглашение выступить с этой лекцией от многих европейских стран. Затем последовали лекции в Лондоне и Париже, сопровождавшиеся многочисленными опытами, столь разносторонними и оригинальными, что становилось ясно, как и на что тратились деньги, заработанные им на патентах. То любопытство, которое Тесла проявлял при изучении свойств вакуума, температуры и разреженного воздуха, различных материалов и их способности к свечению в его сияющих шарах и трубках, было вознаграждено многочисленными достижениями, многие из которых сегодня применяются в электрическом освещении.

Теслу поражали свойства человеческого глаза, его бесконечная чувствительность и способность к декомпозиции и воспринимать малейшие изменения в положении предмета. Как утверждал Тесла, картины, создаваемые глазом, передаются в человеческий мозг и составляют фундамент знания о мире, приводят к осознанию самого человеческого существования, а также служат отправной точкой мышления в целом, как говорил об этом французский философ Декарт: «Я мыслю, следовательно, я существую». Это высказывание Тесла полностью разделял и часто цитировал. Потому Тесла считал изучение и производство света одной из основных задач науки. Вот как он высказывался по этому поводу: «Свет, который мы получаем от окружающей среды, силы, которые мы из нее черпаем, любая форма энергии, которую мы получаем, не прикладывая никаких усилий, из бескрайних кладовых природы, позволят человечеству идти вперед семимильными шагами».

После лекции в Лондоне научный мир был настолько поражен опытами Теслы и пояснениями к ним, что весьма уважаемый научный журнал «Engineering» писал: «Труды г-на Теслы находятся на границе, где свет, теплота, электричество, химические процессы и иные формы энергии встречаются и сливаются воедино». В Париже член Французской академии наук Андре Блондель писал: «Я посетил открытое заседание Электрического общества, на котором Тесла перед замороженной аудиторией и высочайшими научными кругами продемонстрировал свои выдающиеся опыты, в ходе которых он зажигал светящиеся трубки от одного контакта». Более того, Тесла зажигал свои трубки и вовсе не прибегая к помощи контактов, а используя переменные электрические поля.

Великий английский физик Крукс, которого Тесла особенно почитал как ученого и часто цитировал его в своих лекциях, которому он обязан многим в своем инженерном образовании, писал в своем письме Тесле (5 мая 1892 г.):

«Тесла — настоящий пророк, когда он говорит о явлениях, связанных с током высокой частоты». В сущности Крукс привлек внимание Теслы своими опытами 1875 года; в дальнейшем Тесла развил и детально разработал ранние достижения Крукса. Тесла много внимания уделял стримерным разрядам, производимым высокочастотными контурами, а также кистевым разрядам в вакуумных лампах, поскольку они позволяли очень тонко улавливать малейшие электрические и магнитные воздействия и, таким образом, предвосхитил создание современных катод но-лучевых трубок. Получив очень высокие частоты при помощи быстро вращающихся механических ртутных переключателей, Тесла добился значений в несколько сот тысяч герц, хотя и не озвучивал этих цифр во время своих лекций. Как следует из его объяснений, он соединял обычные лампы, обрезанные по концам или даже короче и запитанные от высокочастотного генератора, с двумя параллельными медными стержнями, между которыми подавалось напряжение, при этом одна из ламп ярко светилась, а другая оставалась почти темной, из чего, зная, что лампы находились друг от друга на расстоянии от 1 до 2 метров, можно сделать вывод, что значения частот были гораздо выше. Иными словами это были частоты от 150 до 300 МГц, но если имело место влияние третьей гармоники, то значения частоты находились в границах от 50 до 100 МГц\*.

Интересно также отметить, что Тесла, занимаясь проблемой электростатического экранирования, поместил провод в оплетку и таким образом создал нечто вроде коаксиального кабеля, который применяется сегодня во всех высокочастотных устройствах. Один из наиболее оригинальных опытов Теслы заключался в следующем: он получал искусственный свет (не прибегая к помощи горячих материалов), помещая игольчатые электроды, изготовленные из графита, алмаза или карборунда, в центр лампы. Электрод интенсивно светился, бомбардируемый молекулами воздуха под воздействием тока высокой частоты.

В действительности он много размышлял над загадкой природы электричества и его ролью в производстве света, что становится ясным, когда читаешь лекции Теслы о явлениях, порождаемых токами высокой частоты. Ученый ставил опыты, нагревая диэлектрики под воздействием мощных переменных полей, высокого напряжения, помещая их в газы под давлением или в вакуум; нашел объяснение свечению некоторых материалов в результате бомбардировки молекулами электрода или газа, что приводило к быстрым колебаниям частиц этих материалов, причем частота колебаний поражала воображение. Тесла вплотную подошел к открытию фотонов — носителей светового излучения.

\* Лекер ранее ставил такой опыт.

Для Теслы все эти исследования означали начало нового этапа в разработке технологий эффективного и экономичного электрического освещения, но они также означали и новый этап в технике беспроводной передачи информации, что и было вкратце описано в его лекции в Институте Франклина в Филадельфии в феврале 1893 года.

Тесла проводил свои эксперименты при помощи трансформатора, во вторичной обмотке которого создавались две высокие частоты — одна со значением выше, а другая — ниже значения резонансной частоты электрической цепи, как первичной, так и вторичной.

Чем менее плотно соединялись обмотки, тем ближе были значения обеих частот, так что весь процесс сводился к резонансной частоте, которая непосредственно зависела от физической длины провода обмотки. Очень важную роль играла продолжительность искры и количество искр в секунду, которое Тесла успешно регулировал и контролировал при помощи механического прерывателя, а также приспособлений для быстрого гашения искр. В настоящее время такие прерыватели работают от электронных ламп и транзисторов, но основной принцип Теслы в области создания высокочастотных генераторов остался прежним.

Во время лекций, посвященных токам высокого напряжения и частоты, Тесла демонстрировал, как стримерные разряды испускаются не только из вторичной обмотки высокочастотного трансформатора и не только из проводов, соединенных с этой обмоткой, но также и из рук докладчика, а именно из его пальцев, и устремляются к металлической пластине поблизости. Слушатели с тревогой наблюдали за тем, что же случится с рукой Теслы, но по мере продолжения лекции, они привыкли к таким явлениям.

Тесла пояснил, что токи высокой частоты проходят по поверхности руки и даже всего тела, но не сквозь внутренние ткани. Таким образом, распределяясь по максимально большой поверхности, они становятся не опасны. В наши дни это явление известно, как поверхностный эффект, имеющий место в токопроводящих частях, когда используются токи высокого напряжения и частоты.

Однако Тесла заметил, что части тела, помещенные между близко расположенными электродами, всё же нагреваются, но не слишком сильно, и степень нагревания зависит от напряжения и силы тока. Он сделал вывод о том, что данное явление можно применять в медицине, когда тепло и соответствующие электрические колебания оказывают благотворное влияние на пациента. Тесла указывал, что такие токи можно применять в хирургии.

Своими опытами Тесла окончательно опроверг заявление Эдисона о том, что высокочастотные токи опасны для человека. Полагают, что Эдисон так аргументировал свою позицию в «войне токов». Тесла особо подчеркивал, что переменные токи низкой частоты, а именно промышленный ток частотой 60 Гц, и в самом деле могут быть опасны, если их напряжение превышает, к примеру, 100 В. Но всё далеко не так в случае с высокочастотными токами даже напряжением более 100 В. Однако при таком напряжении даже постоянный ток очень опасен, в особенности если дотронуться слегка влажной рукой или другой частью тела до незаземленного контакта динамо-машины или электрической цепи.

С тех пор, как Тесла еще в декабре 1891 года в журнале «Electrical Engineer» написал о физиологическом воздействии токов высокой частоты, он получал много писем от врачей с просьбой подробнее объяснить природу этих явлений.

Именно поэтому Тесла решил выступить с лекцией 13–15 сентября 1898 года в Американской электротерапевтической ассоциации в Буффало. Лекция называлась «Высокочастотные генераторы для электротерапевтических и иных целей». Тесла защитил свои генераторы восемью патентами в 1896 и 1897 годах.

В сущности, Тесла разъяснил врачам, что высокочастотные токи могут применяться в том случае, если они небольшой силы и высокого напряжения и наоборот, в зависимости от того, какого эффекта требуется достичь в определенной части тела — нагревания или вибрации. Что касается последнего, Тесла высказал очень необычную идею быстрого очищения тела от грязи и посторонних частиц при помощи токов высокой частоты, то есть мытья без воды, когда возникнет, к примеру, такая необходимость.

Однако в лекции Теслы есть еще один важный момент. Металлические предметы, помещенные внутрь катушки, через которую пропускаться ток высокой частоты, нагревались, раскалялись докрасна и плавилась от наведенного тока, такое явление, несомненно, может применяться в металлургии и при горных разработках, даже если частота тока не слишком велика — несколько десятков килогерц.

Диэлектрик и человеческое тело могут нагреваться до нужной температуры в зависимости от силы магнитного поля. В наши дни, например, около 50 % всей получаемой

электроэнергии расходуется для обогрева. Этим открытием Теслы вновь воспользовались многие для того, чтобы создать себе имя. Например, сегодня часто упоминается методика лечения токами Теслы, но наряду с ними и такой метод, как дарсонвализация, или коротковолновая терапия. Методика названа в честь французского врача Д'Арсонваля, применявшего свою методику с апреля 1892 года, то есть сразу после того, как Тесла поставил свои знаменитые опыты на собственном теле. Однако вначале Д'Арсонваль работал с токами низкой частоты.

В настоящее время, помимо медицины, токи Теслы применяются в микроволновых печах, где можно варить и запекать продукты, помещенные в стеклянную или фарфоровую тару, то есть в диэлектрики.

В конце 1895 года Конрад Рентген сообщил в печати о своем открытии — неизвестных лучах (теперь они называются рентгеновскими), которые могли проникать сквозь твердые предметы и человеческое тело (кроме костей). Научные круги очень заинтересовались этим открытием и многие ученые начали разработки с целью их получения и применения. В числе них были Никола Тесла и Михаиле Пупин. С марта 1896 года появляются публикации Теслы в журнале «Electrical Review» о рентгеновских лучах, его попытках раскрыть природу этого излучения и усовершенствовать приборы по их производству, тем более что сам Рентген не смог подробно объяснить свое открытие и процесс, в ходе которого оно произошло. В своей статье Тесла опубликовал снимок человеческого плеча, на котором относительно хорошо просматривались кости, который он сделал, облучая тело сравнительно долго (около получаса) с расстояния, равного размерам аппарата (примерно 10 м), т. е. не так, как это делается в наши дни. Он продолжил публикации статей о рентгеновских лучах, приводя всё больше подробностей о них самих и их получении, а также об их возможном вреде для организма, вместе с тем предлагая методы защиты (более толстый свинцовый экран и т. д.). 20 июля 1901 года Тесла получил письмо от самого Рентгена, в котором тот писал: «Мой дорогой друг! Ваши фотографии произвели на меня большое впечатление и я Вам за них очень благодарен. Хотел бы я знать, как Вы их получили?».

Уже в апреле 1897 года Тесла высказывался о преимуществах своих рентгеновских аппаратов в лекции под названием «Высокочастотные генераторы и проводники в электрической цепи» в Нью-Йоркской академии наук. На этот раз Тесла запатентовал свои изобретения прежде, чем публично о них рассказал. Отдавая дань Рентгену и его открытию, Тесла высказал сожаление по поводу того, что еще раньше, когда он работал с трубками Крукса и Ленарда, он не смог понять, почему фотографические пластины, упакованные в кассеты и сложенные в дальнем углу лаборатории, оказались испорченными.

Однако большую часть своих усилий Тесла посвятил описанию конструкции и работе высокочастотных генераторов, а также быстровращающихся ртутных механических прерывателей (до 100 000 прерываний в сек), предназначенных для гашения искр. Создавая эти прерыватели, Тесла продемонстрировал незаурядные навыки и изобретательный ум, которые позволили ему сконструировать специальные небольшие механизмы для стабилизации и синхронизации процессов, а также измерения и контроля показаний приборов.

Известно, что на лекции в Академии наук присутствовали профессора Гельмгольц и Пупин. После лекции Пупин, преисполненный энтузиазма, попытался воспроизвести некоторые опыты Теслы в Колумбийском университете.

Заглянув в детство Теслы мы обнаружим, как он сам писал в своих мемуарах, что уже тогда мастерил деревянные колеса, снабженные лопатками и устанавливал их на ручье возле дома в Смилянах. Будучи мальчишкой, он слышал от отца, православного священника, человека образованного и начитанного, имевшего неплохую библиотеку, о Ниагарском водопаде в Америке и, может быть, даже видел фотографию. Он, видимо, сравнивал свое деревянное колесо с неким гигантским колесом, которое вращала большая река (ее мощь оценивали примерно в 8 000 000 лошадиных сил).

Молодой Тесла сходит с корабля на американский берег, публикует свою первую лекцию о многофазном переменном токе, защищает свои достижения патентами. Вестингауз, не только превосходный инженер, но и дальновидный бизнесмен, выкупил большинство патентов Теслы, будучи вполне уверен в будущем переменного тока.

О возможности использования Ниагарского водопада для производства электроэнергии и передачи ее на дальние расстояния говорили давно, начиная с 1886 года. Вскоре был создан Экспертный комитет (1890), задачей которого являлась разработка плана решения этой проблемы. Комитет состоял из очень авторитетных людей, таких, как всемирно известный ученый лорд Кельвин, изобретатель с мировым именем Эдисон, Эдвард Адаме, чья компания инвестировала проект. Вопрос о том, как преобразовать энергию реки, дебатировался очень долго. Некоторые предлагали передавать энергию при помощи длинных труб (!), в которых передающей средой служили бы либо сжатый воздух, либо вода от подстанции, которую надлежало построить у подножия водопада. И всё же возобладала логика, и в качестве передающей среды было решено использовать электрический ток. Но какой? И лорд Кельвин, и Эдисон (последний в силу личной заинтересованности) высказывались в пользу уже известного тогда и наиболее часто использовавшегося постоянного тока. С другой стороны — Вестингауз отдавал предпочтение переменному току. Профессор Форбс, который познакомился с практическими преимуществами этого типа тока еще в 1888 году после знаменитой лекции Теслы, также предлагал применять многофазный переменный ток. Ввиду постоянно растущего спроса на электромоторы со стороны заводов и фабрик, как, например, в городе Буффало (в 40 км от водопада), которые невозможно было экономично питать постоянным током, и огромной потребности в электроэнергии даже при условии последовательного соединения множества динамо-машин, для того чтобы поддерживать должное напряжение на линии передачи, комитет в 1891 году постановил воспользоваться системой Теслы, в особенности после того, как Тесла разъяснил м-ру Адамсу очевидность преимущества переменного тока.

Наконец, после запуска электростанции и ее приемки комиссией лорд Кельвин самолично заявил: «В науку об электричестве Тесла внес вклад больший, чем кто-либо до него», а профессор Скотт из Йельского университета писал: «Развитие электроэнергетики со времен открытия Фарадея в 1831 году и до великих истин, пришедших к нам от Теслы и воплощенных в реальность в 1896 году, есть, несомненно, величайшее событие во всей истории техники».

Сначала компания «Вестингауз электрик» установила три генератора по 5 000 лошадиных сил напряжением 11 000 В каждый в соответствии с патентами Теслы. Позже были установлены дополнительные генераторы, а в главном зале электростанции помещена мемориальная доска с указанием номеров патентов Теслы и даты их регистрации, использованных при строительстве станции. Наконец, в 1976 году на острове Гоут-Айленд (Козий остров) близ электростанции был сооружен памятник в ознаменование 120 годовщины со дня рождения Николы Теслы.

На церемонии по случаю открытия большой электростанции на Ниагаре 12 января 1897 года Тесла выступил с речью в Элликотт-клубе в Буффало. В речи, с присущей ему скромностью, он отметил свой вклад в эту работу и особо подчеркнул заслуги конструкторов и инженеров, работавших над проектом.

Тесла с энтузиазмом говорил о роли электрического освещения в цивилизации и благосостоянии людей. Он подробно рассказывал, какие блага электрический ток может дать нашему миру. Так, он упомянул свою заветную мечту о том, что высокочастотный ток должен использоваться не только в целях беспроводной передачи различной информации — телеграфа и телефона, музыки и сигналов точного мирового времени, но и для беспроводной передачи электроэнергии в огромных объемах. Именно этим исследованиям он отдавал все силы и время в Колорадо-Спрингс (1899), размышляя о создании и производстве стоячих волн, которые пронизывали бы Землю, а также об использовании высоких атмосферных слоев в качестве проводников. Как утверждает в одной из своих статей профессор

Александар Маринчич, директор Музея Теслы в Белграде (журнал «Elektroprivreda», № 7–8, 1963), Тесла вычислил емкость Земли и рассчитал ее резонансную частоту, что составило около 10 Гц, эта цифра практически соответствует современным исследованиям. Данные для создания стоячих волн, которые отражались бы от точки на другом конце планеты и поступали бы в лабораторию Теслы в Колорадо, требовали генерации очень длинных радиоволн, которые Тесла в этой лаборатории не производил. В наши дни такие волны применяются в радиосвязи для общения с объектами на большой глубине под водой (например, с подводными лодками) или под землей (например, с шахтами).

Однако, несмотря на то что современники считали, что Тесла заблуждался, сегодня становится ясно, что он был прав, когда утверждал в своих записях и частично в речи, которую он произнес в Элликотт-клубе (опубликованной затем в журнале «Electrical Review») 27 января 1897 года и озаглавленной «Об электричестве», что низкочастотные волны распространяются с небольшим затуханием и можно генерировать такие стоячие волны, с которыми Земля входит в резонанс, используя атмосферные слои, выполняющие роль одного из выводов конденсатора. В сущности волны, распространяющиеся с резонансной частотой, еще не изучались, но обсуждаются в научных кругах.

Но давайте лучше прочитаем ответ самого Теслы одному журналисту, заявившему, что всё это лишь мечты: «Нет, всё это было не мечтой, но сложной научной и инженерной работой, к тому же требовавшей больших инвестиций. Ах, этот мир — слепой, испуганный, эгоистичный и полный сомнений! Наше общество еще не развилось настолько, чтобы добровольно следовать за острой, как копьё, мыслью изобретателя. Но кто знает? Может, и к лучшему то, что революционные идеи и открытия наших дней, вместо понимания и поддержки, встречают сопротивление с момента их выхода в свет — из-за недостатка финансирования, своекорыстия, невежества и бездарности, и так закаляются в тяжелых испытаниях. Не часто ли мы становились свидетелями того, как то, что подвергалось осмеянию и осуждению, вопреки всем напастям, наливалось мощью в день своего триумфа?!»

Возвращаясь к личности Теслы, вспомним, что он был избран действительным членом Нью-Йоркской академии наук 27 мая 1907 года, через десять лет после того, как выступил со своей знаменитой лекцией 6 апреля 1897 года. 13 декабря 1916 года Американский институт инженеров принял решение наградить Теслу Золотой медалью Эдисона — одной из высших научных наград в Америке. Медаль была вручена ученому на ежегодном заседании института, где он выступил с интересной речью о своей жизни и научном труде.

Доктор Кенелли, председатель Комитета по наградам, ранее сказал, что с момента учреждения этой медали в 1904 году, она ежегодно присуждалась «за успешный вклад в развитие науки и электротехники», и ее обладателями становились, среди прочих, Э. Томсон, Дж. Вестингауз, А. Грейам Белл. Декан института Чарльз Терри сказал несколько общих слов о лекциях Теслы, упомянул и другие его заслуги в развитии электротехники в Америке, а также некоторые детали его биографии. Затем выступил Б. Беренд, которому с трудом удалось уговорить Теслу прийти на эту церемонию.<sup>13</sup> В своей, несколько затянутой речи он напомнил аудитории о той эпохальной лекции, прочитанной Теслой в институте 29 лет назад и посвященной многофазным переменным токам, процитировал некоторые пророческие высказывания Теслы на эту тему и вспомнил о важности открытия вращающегося магнитного поля и изобретения асинхронного двигателя.

Беренд выразился даже так: «Господь сказал: «Да будет Тесла и да будет свет!». Беренд произнес несколько высокопарные, но в сущности правдивые слова о том, что мир внезапно оказался бы в полной темноте, фабрики замерли бы, электрический транспорт остановился, если бы каким-то чудом, всё, что подарил миру Тесла, неожиданно исчезло. К этому можно добавить и следующее: не будь высокочастотных токов, которые Тесла открыл, чьи свойства изучил и сумел применить на практике, а также предсказал многие области их применения,

13 Известно, что Тесла не любил наград — медалей и иных знаков отличия.

перестали бы функционировать радио и телевидение, а астронавты на орбите потеряли бы всякую связь с Землей.

Наконец, слово взял сам Тесла и в первую очередь воздал должное Эдисону (следуя, как обычно, законам вежливости), а затем, повинувшись желанию слушателей, рассказал о своей необычной жизни и еще более необычном научном труде. Аудитория с большим вниманием следила за интересным и остроумным рассказом Николы Теслы.

Когда бы Тесла ни выступал с лекциями, он всегда демонстрировал неподдельную скромность, хотя и говорил о доселе неизвестных фактах и оригинальных научных открытиях. Большую часть своих знаний ученый воплотил в практических приспособлениях, которые покорили мир и проникли в самые основы цивилизации. В своих выступлениях и во время опытов Тесла демонстрировал необыкновенное богатство и величие идей и творческого воображения, которые основывались на глубоких знаниях трудов его предшественников, коим он всегда отдавал должное уважение.

Лекции и речи, собранные в этой книге, — это только часть многочисленных достижений Теслы. Немалую часть научного багажа составляют патенты Теслы в области электротехники, радиотехники, а также машиностроения. Еще более многочисленны научные и профессиональные статьи Теслы, а также статьи общего характера, в которых он высказывает свои взгляды на роковые проблемы своего времени и говорит о современниках.

Большую часть своей жизни, свои научные труды и опыты Тесла посвятил исследованию низких и высоких частот не только с точки зрения инженера-электрика, но и с позиции врача, осмелившегося прикоснуться к изучению самых тонких аспектов материи и ее составляющих. Прекрасно характеризуют Теслу его идеи относительно очень низких температур, из которых следует, что материя в своем бесконечном движении есть явление энергетическое, и что абсолютно нулевой температуры достичь невозможно и потому жизнь уничтожить нельзя. Тесла часто высказывал перед аудиторией провидческие мысли, оставаясь тем не менее вестником своей эпохи. Неудивительно, что историки и социологи сравнивали его с Леонардо да Винчи, Галилеем, Кельвином и Эйнштейном.

Войин Попович,  
инженер, профессор Белградского университета.  
*20 июля 1995 года.*

Спасибо, что скачали книгу в [бесплатной электронной библиотеке BooksCafe.Net](http://BooksCafe.Net)

[Оставить отзыв о книге](#)

[Все книги автора](#)