

Переменное на-
пряжение техни-
ческой частоты.
Трансформато-
ры с железом

Высокое напряжение технической частоты по-
лучают с помощью высоковольтных трансформа-
торов с железом. Как и у всякого обычного
трансформатора, его основными частями явля-
ются две обмотки из изолированной проволоки,
навитой на ярмо, набранное из листового железа.

Переменный ток от сети пропускается через первичную об-
мотку, в результате чего в ярме создается переменный магнит-
ный поток. В каждом из витков вторичной обмотки создается
при этом электродвижущая сила. Напряжения отдельных вит-
ков складываются между собою, так что при достаточно боль-
шом числе витков вторичной обмотки мы теоретически можем
получить сколь угодно большое напряжение между ее концами.

Основным затруднением при конструировании высоковольт-
ного трансформатора с железом является изоляция вторичной
обмотки. Вторичная обмотка должна быть изолирована как от
первичной обмотки, так и от ярма и, вместе с тем, не должна
быть расположена с очень большим зазором, так как это, во-
первых, означало бы увеличение габаритов и веса transforma-
тора, а во-вторых, при раздутой вторичной обмотке не весь
магнитный поток первичной обмотки действовал бы на витки
вторичной, а следовательно нельзя было бы на ней получить
полного напряжения. Как известно, при небольших напряже-
ниях воздух является почти идеальным изолятором, однако при
значительных силах электрического поля в нем происходит
ионизация, причем он полностью утрачивает свои изолирующие
свойства, „пробиваясь“ электрической искрой. Ясно, что при-
менять воздух для изоляции вторичной обмотки высоковольтного
трансформатора довольно затруднительно.

Трансформа-
торы с маслом

Поэтому в технике высоковольтного транс-
форматоростроения давно уже стали пользо-
ваться в качестве изоляционного материала
минеральным маслом (один из продуктов переработки нефти),
известным под названием трансформаторного масла, которым
заливается весь трансформатор, помещенный в соответствующий
бак. Сухое трансформаторное масло выдерживает не пробиваясь
напряжение примерно в 5 раз большее, чем соответствующий
слой воздуха; однако трансформаторное масло жадно впитывает
в себя из воздуха влагу, теряя при этом свои изоляционные
свойства. Поэтому маслонаполненные трансформаторы должны
быть наглухо закупорены от доступа внешнего воздуха.

Вывод высоко-
го напряжения

Это обстоятельство ставит новое затруднение
перед конструктором высоковольтного транс-
форматора. Концы вторичной обмотки, обладая
большим напряжением, должны быть проведены через крышку
трансформатора, а выводы на напряжение порядка миллиона
вольт представляют собой целое сооружение (рис. 35). Обычно
один конец вторичной обмотки присоединяют к ярму и корпусу,

а выводят из трансформатора только один конец вторичной обмотки. Проходные изоляторы на миллион вольт настолько громоздки (рис. 36), что по своим размерам они превышают самый трансформатор и представляют самую дорогую его часть.

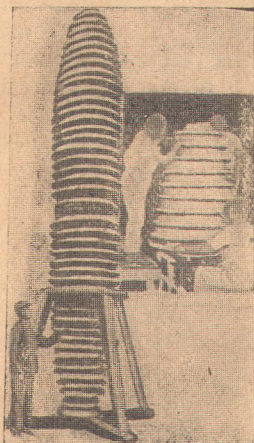


Рис. 35

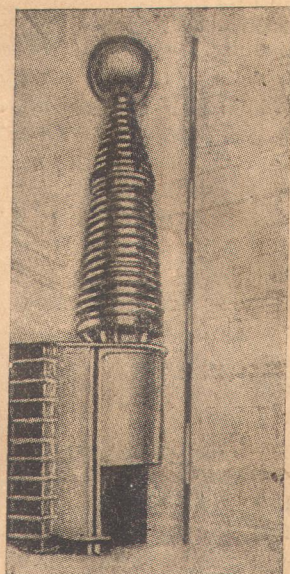


Рис. 36

Каскадное включение трансформатора

В связи с этим в большинстве современных сверхвысоковольтных трансформаторных установок выводы на столь высокие напряжения не строятся; один трансформатор на полное напряжение заменяется группой трансформаторов, включенных каскадом. Принцип каскадного включения можно понять из рис. 37, на котором представлена трансформаторная установка на миллион вольт, принадлежащая Калифорнийскому технологическому институту (САСШ), от которой питается разрядная трубка на 750 000 вольт, построенная в 1928 г. Лауритсеном и Беннеттом. Напряжение в миллион вольт получается с помощью четырех трансформаторов.

Каждый из трансформаторов имеет три обмотки: первичную на 3 000 вольт, вторичную на 250 000 вольт и „третичную“ также на 3 000 вольт. Один из концов вторичной обмотки присоединен к кожуху, другой — к третичной обмотке. Таким образом, при работе трансформатора третичная обмотка, имея между своими зажимами всего 3 000 вольт, вся находится под напряжением в 250 000 вольт относительно земли. Оба конца третичной обмотки выведены через один проходной изолятор и присоединены к первичной обмотке второго трансформатора, который весь установлен на изолирующей колонке и имеет

напряжение 250 000 вольт. Вторичная обмотка этого трансформатора дает еще 250 000 вольт и присоединена к третичной (на 3 000 вольт), концы которой пропущены через проходной изолятор на 250 000 вольт, но имеет относительно земли уже 500 000 вольт (относительно кожуха второго трансформатора 250 000 вольт, да и сам кожух имеет еще 250 000 вольт).

Таким образом, каждый из трансформаторов добавляет по 250 000 вольт, при чем ни на одном из них нет выводов на большее напряжение. Вместо того чтобы изолировать вывод, изолируют от земли кожухи трансформаторов, что оказывается более выгодным, несмотря на то, что каскадная установка занимает значительно больше места, чем один трансформатор на полное напряжение. В частности, описанная установка, на которой проводили свои опыты Лауритсен и Беннетт, занимает большую часть зала размером в $21 \times 46 \times 17$ (высота) метров.

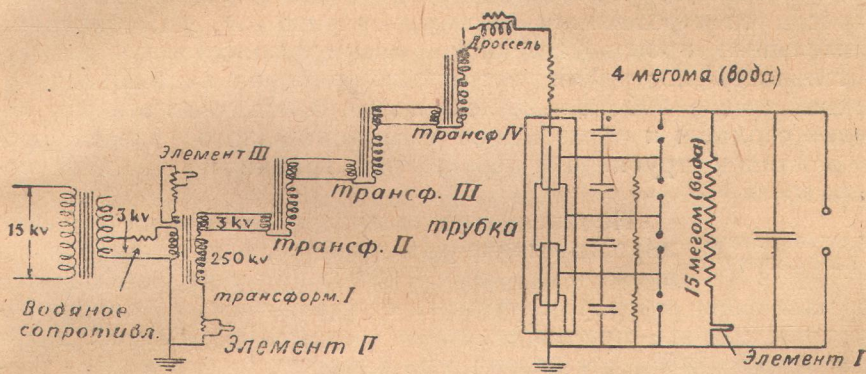


Рис. 37

По такому принципу построены все крупнейшие высоковольтные установки технической частоты. Максимальное напряжение, полученное путем каскадного включения трансформаторов, равно 2 200 000 вольт; соответствующая установка, состоящая из 7 каскадно включенных трансформаторов, принадлежит Станфордскому университету (САСШ).

Основным назначением подобных установок является исследование различных элементов изоляции технических высоковольтных устройств. При этих испытаниях требуется довольно значительная мощность. Американцы, например, предъявляют довольно высокие требования к мощности испытательных трансформаторных установок, считая необходимым увеличивать мощность установки с увеличением ее напряжения, придерживаясь правила „киловатт на киловольт“. Согласно этому правилу, описанная установка на миллион вольт (1 000 киловольт) обладает мощностью в 1 000 киловатт. Разумеется, такие огром-

ные мощности совсем не нужны для работы с разрядными трубками, и если кое-где такого рода установки и используются для питания трубок, то только потому, что сверхвысоковольтные каскадные установки очень громоздки и дороги и заводить их специально для питания трубок нерационально, так что нередко для этих работ пользуются уже имеющимися мощными электротехническими испытательными установками, употребляя при этом обычно лишь ничтожную часть их мощности.

Это непосредственно применимо к работам Лауритсена и Беннетта, которым удалось построить трубку на 750 000 вольт, т. е. переступить за предел, ограничивавший в течение многих лет напряжение, которое удавалось подвести к пустотному прибору. В ряде развившихся за последние годы отраслей производства пустотных приборов, обслуживающих радиотехнику, рентгенотехнику и некоторые отрасли электротехники высоких напряжений, на основании длительного производственного опыта вырисовалась затруднительность постройки пустотных приборов на напряжения, превышающие 200 000 — 250 000 вольт. В основном эти затруднения сводятся к образованию самостоятельного разряда, пробоем стенок трубки и к перекрытию трубки по внешней поверхности.

Преждевременный разряд Неоднократно замечалось, что в чрезвычайно хорошо выкачанном приборе, в котором при напряжениях ниже 200 000 вольт не наблюдается ни малейшего разряда (что указывает практически на полное отсутствие ионов) — при напряжениях выше 200 000 — 250 000 вольт мгновенно начинается разряд, при котором разогреваются введенные в прибор электроды и стекло, выделяются большие количества газов, — словом, быстро нарушается разрежение, которое необходимо для того, чтобы пустотный прибор мог работать. В настоящее время причина этого явления более или менее установлена; она носит название „холодного испускания электронов из металла“.

Вероятно, большинству читателей известны принципы катодной лампы, раскаленный катод которой (проволочка из тугоплавкого металла) испаряет электроны, благодаря чему пустотная лампа делается проводником тока, когда ее катод имеет знак минус (электроны отталкиваются от катода к аноду), и запирает ток, когда катод заряжен положительно. Вся техника пустотных приборов основана на этом явлении испускания электронов раскаленными металлами или „горячем испускании“ (эффект Ричардсона).

Оказывается, однако, что, создавая значительное поле у поверхности металла и притом в таком направлении, что эта поверхность заряжена отрицательно, — можно при некотором значении поля (около одного-двух миллионов вольт на санти-

метр) добиться того, что электроны начнут вырываться из холодного металла (эффект Шоттки).

То, что техника пустотных приборов никак не могла перешагнуть через роковую цифру 200 000 — 250 000 вольт, подведенных к трубке, повидимому непосредственно связано с явлением холодного испускания. Около катода трубки при приложении к ней напряжения создается громадное поле, которое начинает вырывать электроны из металла, а они, ускоряясь в трубке, падают с накопленной во время полета энергией на стенки и анод, разогревая их до значительной температуры, выбивают из них довольно большие количества газа, который распространяется по всей трубке и в дальнейшем под ударами новых порций электронов является источником ионов. Таким образом, в трубке разыгрывается бурный разряд, из-за которого в случае небольшой мощности, подведенной к трубке, приложенное к ней напряжение мгновенно падает (или при достаточной мощности весь прибор разрушается под действием громадного разогрева).

Таким образом первопричиной появления разряда в пустотной трубке является (при достаточно хорошей откачке) вырывание электронов из катода, которое в свою очередь обусловлено образованием очень сильного поля около этого электрода. В связи с этим, на первый взгляд, задача повышения напряжения, подведенного к трубке, кажется довольно безнадежной, однако это неверно.

В самом деле, мы уже говорили о том, что холодное испускание начинается лишь тогда, когда напряжение поля (падение потенциала на сантиметр) достигает у катода примерно одного-двух миллионов вольт на сантиметр.

Однако конструктора разрядных трубок стремятся довести разность потенциалов на концах трубки до нескольких миллионов вольт, и для них вовсе не важно сконцентрировать все падение потенциала у самого катода; напротив, с разрядом, причиной которого является холодное испускание, именно борются тем, что принудительно создают равномерное распределение потенциала вдоль трубки. Для этой цели нередко разделяют трубку на ряд сообщающихся камер, при чем на каждую из них прикладывают одинаковую часть полной разности потенциалов, приложенной к трубке. Принудительное распределение потенциала, которое, как мы увидим, достигается у различных исследователей по-разному, — очень важная уловка, к которой прибегают конструкторы сверхвысоковольтных разрядных трубок. Одной из основных мер борьбы с преждевременным разрядом является тщательное удаление газа из электродов и стенок (обезгаживание), которое достигается предварительным прогревом всей трубки при интенсивной откачке, а затем „тренировкой“, т. е. периодическим пропусканием разряда через трубку, в результате которого из электродов и стенок

выбиваются (и откачиваются) остатки заключенного в них газа. При соблюдении всех этих условий (принудительное распределение потенциала, обезгаживание) к трубке можно подвести напряжение, значительно превышающее 200 000 — 250 000 вольт, однако при этом обычно стенка трубки в каком-нибудь месте обязательно пробивается электрической искрой, через образовавшееся отверстие в трубку врывается воздух, и, таким образом, в конечном счете трубка оказывается непригодной.

Пробой стенок
разрядных
трубок

Пробой стенок трубки является вторым чрезвычайно серьезным препятствием на пути строителя сверхвысоковольтной трубки. На первый взгляд этот пробой представляет довольно загадочное явление. В самом деле, мы привыкли наблюдать пробой

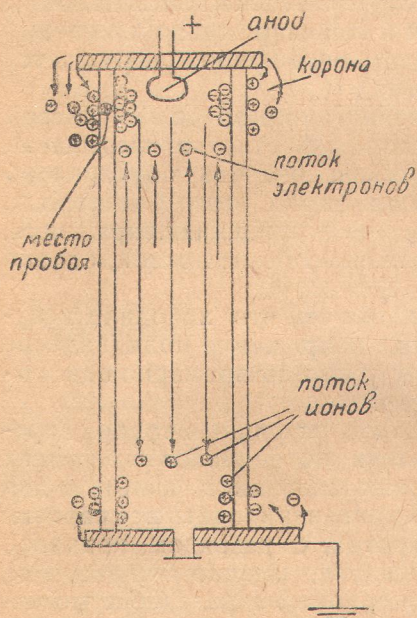


Рис 38

изолятора в тех случаях, когда он находится между двумя проводящими (например, металлическими) предметами, к которым приложена достаточная разность потенциалов. Стенка же пустотной трубки граничит, с одной стороны, с воздухом (изолятор), с другой — откачанным пространством внутри трубки (как говорят — с вакуумом). И та и другая среда — изоляторы.

Почему же стенки трубки неизменно пробиваются, когда к ней подведено достаточно высокое напряжение? Причина этого явления заключается в том, что при работе разрядной трубки в ней летает громадное количество электронов и ионов. Часть из них не долетает до соответствующего электрода и прилипает к стенке, которая,

являясь довольно приличным изолятором, сохраняет в течение длительного времени образовавшийся на ней заряд (рис. 38).

Так как электроны внутри трубки летят к аноду, а положительные ионы — к катоду, то сильнее всего заряжаются положительно стенки трубки около катода, а отрицательно — около анода. Между электродом и близлежащей частью внутренней поверхности трубки может получиться значительная разность потенциала; а следовательно в воздухе около электрода получится большое поле, появится корона, т. е. ионизация воздуха; положительные ионы из воздуха начнут прилипать к той части

внешней стенки трубки, где на противоположной (внутренней) стороне стенки налип отрицательный заряд; обратная картина получится против мест скопления положительного заряда на внутренней стенке, и, таким образом, в некоторых точках стенки окажутся приложенными громадные разности потенциалов, в результате чего стенка в какой-нибудь точке пробьется.

Первопричиной этого неприятного свойства разрядных трубок является попадание заряженных частиц на внутренние стенки трубки и образование короны и поверхностного разряда по внешней стенке. Для борьбы с ними пытаются предотвратить попадание заряженных частиц на внутреннюю стенку трубки, строя их так, чтобы частицы на пути к стенке непременно встретили металлическую преграду, а кроме того, особенно за последние годы, переходят к толстостенным трубкам, стенки которых способны выдержать возможно большие напряжения.

Немаловажным препятствием для строителей **Перекрытие по внешней поверхности трубки** высоковольтных разрядных трубок является также образование разряда по внешней стороне трубки. Мы уже говорили о той опасности для стенки трубки, которую представляет прилипание ионов из воздуха к внешней ее стороне; однако, кроме этой опасности, которую отчасти удастся предотвратить, не допуская образования заряда на внутренней стенке, — большую неприятность представляет разряд извне между электродами, который также мешает приложить к трубке очень высокое напряжение. Затруднить образование этого разряда удастся, закругляя электроды трубки, увеличивая ее длину, задавая вдоль нее принудительно равномерное распределение потенциала и, в некоторых случаях, погружая всю трубку в трансформаторное масло — среду, значительно превосходящую воздух по своей электрической прочности.

Таким образом, препятствия, стоящие перед конструктором высоковольтной разрядной трубки, не являются непреодолимыми. Правда, для того чтобы разработать рецепты против трех основных „бичей“ высоковольтных трубок, рецепты, описание которых заняло не более двух страниц в этой книжке, потребовались многие годы работы ряда передовых лабораторий; но сейчас этот этап уже пройден, трудности в принципе разрешены и на опыте показано, что высоковольтные трубки на напряжения, превышающие миллион вольт, строить можно. Конечно, при построении каждой новой трубки приходится встречаться с новыми мелкими трудностями, с которыми мы еще познакомимся в дальнейшем. Эти трудности отпугивают некоторых экспериментаторов от построения высоковольтных разрядных трубок, в результате чего, например, явилась изящнейшая трубка Лауренса, представляющая обход „узкого места“, заключающегося в необходимости введения в вакуум напряжений порядка миллиона вольт (конструкции этой трубки

мы коснемся в конце этой главы); но все же целый ряд экспериментаторов в десятках лабораторий Америки, Европы и СССР работает над осуществлением новых типов сверхвысоковольтных трубок и улучшением существующих, в результате чего число удачных конструкций все увеличивается, напряжение, подведенное к трубкам, быстро растет, и уже настал тот час, когда экспериментаторы, вооруженные мощными ионными пушками, направили ураганный огонь подхлестнутых миллионами вольт ионов по оставшимся неразрушенными ядрам.

Познакомившись с основными принципами построения сверхвысоковольтных разрядных трубок, мы можем теперь перейти к описанию основных их типов и в первую очередь к трубке Лауритсена-Беннетта, которая рассчитана на питание переменным током технической частоты от описанной нами четырехтрансформаторной каскадной установки.

Общий вид трубки показан на схематическом рис. 39. Вся трубка крепится на башне из реек высотой около 4 м. Основанием ее служит стальная плита размером 70×70 см и толщиной около 12 мм, которая укреплена на платформе деревянной башни. В этой плите проделано круглое отверстие диаметром около 40 см, в которое вставлено дно трубки в форме диска с водяным охлаждением и впаяны две широкие трубы, идущие через ловушку, охлаждаемую жидким воздухом, в которой задерживаются ртутные пары,—к мощному диффузионному ртутному насосу. Кроме того, на этом же диске установлен один из электродов трубки, также снабженный водяным охлаждением.

Самая трубка состоит из четырех толстостенных (около 8 мм) стеклянных цилиндров диаметром в 30 см, длиной в 70 м. Края цилиндров вставлены на специальной замазке в желобки, выточенные в стальных кольцах, которые проходят внутрь трубки и на которых укреплены цилиндрические защитные стальные трубы, входящие друг в друга (диаметры соответственно 18 и 28 см), снабженные по концам кольцевидными закруглениями для устранения острых краев, у которых может начаться преждевременный разряд.

Назначение этих цилиндрических экранов — предотвратить попадание электронов или ионов на внутренние стенки трубки. Действительно, из рисунка нетрудно убедиться, что ни одна частица, двигаясь прямолинейно, не сможет попасть на стеклянную стенку, чем полностью предотвращается возможность ее пробоя. Верхний электрод состоит из идущей вдоль всей трубки стальной трубы диаметром в 7,5 см, заканчивающейся в 10 см от нижнего электрода. Вдоль всей трубки-электрода для охлаждения циркулирует вода. К стальным дискам, через которые соединены отдельные стеклянные цилиндры извне трубки, прикреплены „бублики“ из листового металла, которые умень-

шают возле них поле и затрудняют образование короны и прекрывтия трубки по ее внешней стенке.

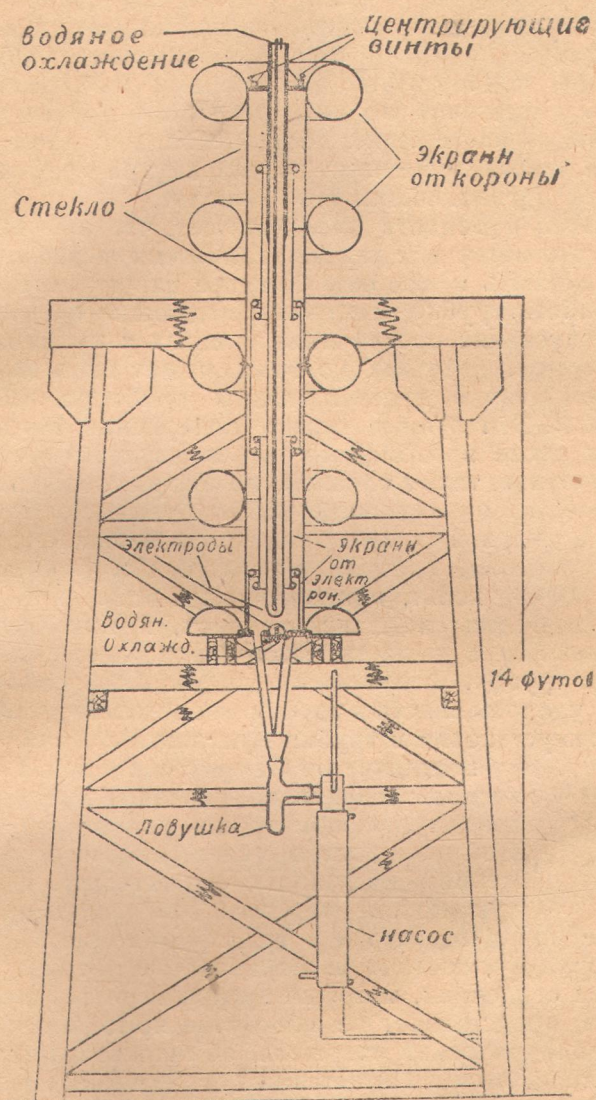


Рис. 39

Вдоль трубки искусственно поддерживается равномерное распределение потенциала с помощью приключенной между „бубликами“ системы емкостей, сопротивлений и разрядников (рис. 38).

Испытание этой трубки дало следующие результаты: к трубке удалось подвести напряжение до 750 000 вольт, несмотря на то, что ее металлические части и стеклянные стенки не представлялось возможным обезгазить, так как ни электроды, ни экраны, ни стеклянные цилиндры при данной конструкции трубки не могли быть подвергнуты достаточному нагреванию. Однако, пользуясь достаточно мощным насосом, в трубке можно было поддерживать разрежение, достаточное для того, чтобы предотвратить преждевременный разряд внутри трубки при напряжениях, не превышающих 750 000 вольт.

Лауритсен и Беннетт предполагают, что при выборе более подходящего материала для металлических частей трубки можно будет приложить к ней еще большее напряжение.

При работе трубки электроны, падающие на электроды, вызывают испускание чрезвычайно мощных и проникающих рентгеновых лучей, действие которых может быть замечено с помощью достаточно чувствительных приборов на расстоянии свыше 100 м. Эти лучи вызывают почернение фотографических пластинок после прохождения через двухсантиметровый слой свинца, оставляя, таким образом, далеко за собой самые жесткие полученные до описываемой работы рентгеновы лучи и приближаясь к γ -лучам, испускаемым радиоактивными веществами.

Таким образом, работой Лауритсена и Беннетта роковой предел в 250 000 вольт, приложенных к разрядной трубке, был сдвинут на полмиллиона вольт вверх, и ими был поставлен первый рекорд в области построения сверхвысоковольтных разрядных трубок. Дальнейшим шагом была работа Кулиджа, которому удалось ввести в трубку напряжение до 900 000 вольт. К описанию установки и трубки Кулиджа мы сейчас и перейдем.

В отличие от Лауритсена и Беннетта, которые воспользовались для питания своей трубки готовой трансформаторной установкой, Кулидж для этой цели построил специальный источник напряжения — индукционную катушку. Действие индукционной катушки или индуктора основано

на том же принципе, что и у трансформатора. Индуктор, как и трансформатор, состоит из первичной и вторичной обмотки, навитых на сердечник, который в отличие от сердечника трансформатора, представляет не замкнутое ярмо шихтованого железа, а цилиндрический стержень, обычно набранный также из пластин или проволоки. Питается индуктор не переменным током, а током прерывистым, который получается при пропускании постоянного или переменного тока через прерыватель. Конструкции прерывателей бывают весьма различны: от молоткового, подобного по устройству электрическому звонку (для маленьких катушек), до мощных турбинных прерывателей, могущих питать индукторы мощностью в несколько киловатт. Индукторы, питающиеся от прерывателей, во вторичной обмотке

дают толчки напряжения, при чем мощность индукторов в основном, благодаря тому, что эти толчки происходят реже, чем колебания переменного тока, значительно ниже, чем у трансформаторов технической частоты. Но, как мы видели, обычно разрядные трубки и не потребляют значительной мощности, так что индукторы являются достаточно удобными источниками напряжения для их питания.

Обычно индукционные катушки строятся на напряжения, не превышающие 300 000 вольт. Кулиджем и его сотрудниками был разработан новый тип индуктора, который при относительно невысокой сто-

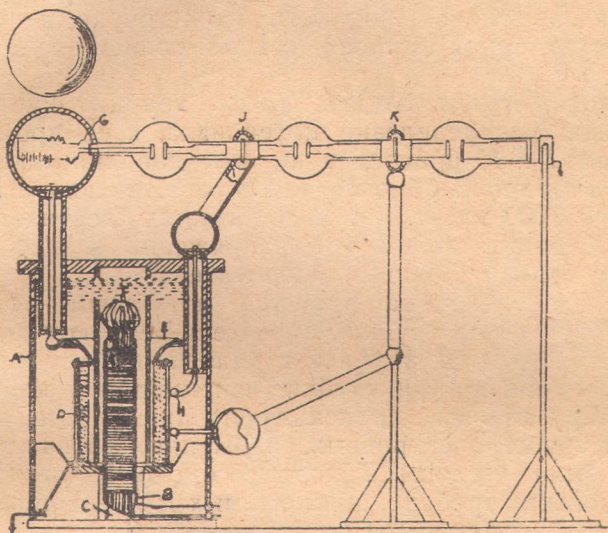


Рис. 40

имости оказался вполне удовлетворительным, так как давал напряжение до 900 000 вольт. Его схема приведена на рис. 40.

В отличие от обычных индукторов, в индукторе Кулиджа применена не твердая изоляция вторичной обмотки, а трансформаторное масло.

Бак *A* представляет собой цилиндр из герколита (материал, изготавливаемый путем горячей прессовки многослойной бумаги, пропитанной бакелитовым лаком; аналогичные материалы изготовляются и в Союзе под названием изолит, гетит и др.). Первичная обмотка *B* намотана на изолирующей трубке, внутри которой находится сердечник *C*. Вторичная обмотка *D* состоит из плоских секций, отделенных друг от друга бумажными прослойками. Нижний конец вторичной обмотки заземлен, так что разность потенциалов между первичной и вторичной обмотками растет к верхнему концу индуктора. Пробой масла, которым

заполнен цилиндр, начавшись бы между верхними концами обмоток при напряжении в 600 000 вольт, если бы не было алюминиевого раструба *E*, который выравнивает поле у конца вторичной обмотки и предохраняет от разряда при напряжениях до 800 000 вольт. При этом напряжении произошел бы пробой между алюминиевым экраном и верхним концом сердечника, если бы последний не был снабжен шаровым экраном *F*, который позволяет поднять напряжение на вторичной обмотке до 900 000 вольт. Конец вторичной обмотки выведен через проходной изолятор, наполненный маслом, и присоединен к полюсу металлическому шару *G* диаметром около 50 см, который одновременно служит одним из шаров разрядника, применяемого для измерения напряжения, приложенного к трубке, и вместилищем для аккумуляторной батареи, накаливающей катод разрядной трубки.

Для того, чтобы создать вдоль трубки принудительное равномерное распределение потенциала, к ее промежуточным электродам *I* и *K* присоединены два дополнительных вывода *H* и *L* от вторичной обмотки индуктора, имеющие потенциалы 300 000 и 600 000 вольт. Катушка питается шестидесятипериодным¹ переменным током при напряжении в 1200 вольт, пропущенным через турбинный прерыватель.

Трубка Кулиджа, в отличие от описанной выше трубки Лауритсена-Беннетта, является разрядной трубкой с калящимся или горячим катодом. Газовые или ионные трубки (например, трубка Лауритсена) по характеру явлений, происходящих при работе, резко отличаются от трубок электронных, снабженных горячими катодами, которые были введены Кулиджем около 15 лет тому назад в рентгеновских трубках, применяемых для медицинских целей, а также для исследования металлов.

В то время, как в ионных трубках газ разрежен до давления примерно в одну тысячную миллиметра — в трубках Кулиджа стремятся всеми доступными способами добиться совершенной пустоты (или, как говорят, наилучшего вакуума), при чем давление ничтожных остатков газа в них не превышает одной миллионной миллиметра (газ разрежен примерно в миллиард раз).

Процесс разряда в газовых (ионных) трубках разыгрывается следующим образом: мы уже говорили, что при приложении к ионной трубке высокого напряжения у ее катода устанавливается сильное электрическое поле. Попадая в это поле, те немногие положительные ионы, которые в ничтожном количестве всегда находятся в любом газе, подхватываются полем и, если только оно достаточно сильно, то, падая на поверхность катода, выбивают из него большое количество электронов. Элек-

¹ В Америке промышленный и осветительный ток обладает частотой не в 50 пер/сек., как у нас в Союзе и в большинстве стран Европы, а в 60 пер/сек.

троны имеют отрицательный заряд, и, следовательно, тянутся полем в противоположную сторону, двигаясь с громадной скоростью к аноду. На своем пути, изредка ударяясь о молекулы газа, они расщепляют их на ионы, при чем „новые“ положительные ионы подхватываются полем и несутся положительные — к катоду, отрицательные — к аноду.

Таким образом, как мы видим, в разряде в ионных трубках выдающуюся роль играет заполняющий трубку разреженный газ, ибо образованные в нем ионы являются причиной электронного испускания с катода. Разумеется, при работе ионной трубки давление газа внутри нее не должно быть сколько-нибудь значительным, так как в противном случае ни электроны, ни ионы, как было сказано выше, не смогут получить в поле нужной для ионизации скорости, в виду того, что они будут расходовать свою энергию на слишком частые столкновения с атомами или молекулами газа.

В электронных трубках, введенных в практику Кулиджем, остатки газа, находящиеся в трубке, играют только вредную роль. В этой трубке при ее нормальной работе должны двигаться только одни электроны. Источником электронов служит каляющийся катод в виде проволоочки или ленты из весьма тугоплавкого металла, который накаливается от вспомогательного источника тока до температуры, при которой происходит достаточно интенсивное испарение электронов из металла. Электроны, испаренные катодом, ускоряются электрическим полем внутри трубки и могут быть использованы у анода трубки. Пропустив их через окошко, прикрытое тонкой фольгой из алюминия или листочком слюды, мы получаем поток чрезвычайно быстрых электронов, т. е. „искусственные“ β -лучи. Падая на массивный анод, электроны излучают часть своей энергии в виде крайне жестких рентгеновых лучей.

Электронные трубки выгодно отличаются от ионных значительно большей устойчивостью в работе и отсутствием необходимости тщательного регулирования давления газа в трубке.

Трубка на 900 000 вольт состоит из трех двугорловых шаров, соединенных металлическими перемышками. Эти перемышки в форме длинных цилиндров с закругленными краями (рис. 40) входят глубоко внутрь шаров и почти полностью предотвращают попадание электронов на внутреннюю поверхность стеклянной стенки. На каждую из секций трубки падает вполне определенное напряжение, так как к ним присоединены три секции индуктора.

Электроны, испущенные калящимся катодом, питающимся аккумуляторной батареей, спрятанной внутри шара G, в первой секции ускоряются до 300 000 вольт, затем, пройдя металлическое горло, попадают во вторую, где их скорость доводится до 600 000 вольт и, наконец, пролетают в третью, где они до-

стигают своей полной скорости 900 000 вольт, после чего поступают в охлаждаемый проточной водой анод, имеющий тоже форму цилиндра с закругленными краями, в дне которого предусмотрено окошко для выпуска электронов наружу, прикрытое тонкой алюминиевой фольгой.

Некоторые действия электронов в 900 000 вольт

Сколько известно, трубка Кулиджа (рис. 41) еще не была использована, как орудие для изучения ядер. Вероятно, наибольших результатов можно ожидать от их бомбардировки не электронами, а ионами, в частности положительными ядрами водорода (протонами), так что для опытов по ядру трубка Кулиджа должна быть дополнена источником ионов.

Однако и с быстрыми электронами Кулиджем был проделан целый ряд опытов, давших чрезвычайно интересные результаты. Так как их направление не относится непосредственно к теме нашей книжки, мы не сможем остановиться на них подробно и ограничимся лишь кратким перечнем.

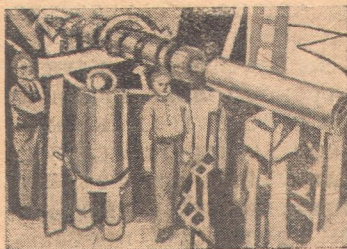


Рис. 41

Выходя из окошка в воздух, эти электроны вызывают интенсивнейшую ионизацию, сопровождаемую свечением воздуха (рис. 42). Целый ряд кристаллов, подвергнутых действию электронной бомбардировки, испускает свечение как во время бомбардировки, так и после нее.

Электронная бомбардировка вызывает и облегчает многие химические реакции, как то: образование озона из кислорода воздуха, перекиси водорода из смеси кислорода с водяным паром и т. д., облегчает „высыхание“ различных растительных масел, как льняного и тутового, вызывает образование витамина *D* во многих препаратах, подвергнутых ее действию.

На ряду с этим быстрые электроны оказывают чрезвычайно интересное биологическое действие, умерщвляя животные и растительные ткани, вызывая появление медленно заживающих язв на коже, и в то же время обладают лечебными свойствами в случаях злокачественных кожных болезней, как рак и туберкулез кожи, хроническая экзема и т. д.

Быстрые электроны оказываются безусловно смертельными для бактерий. Колонии всевозможных, наиболее стойких бактерий были подвергнуты на несколько секунд электронной бомбардировке, в результате которой бациллы были поголовно истреблены.

Свечение под действием электронной бомбардировки, наблюдаемое в кристаллах, в сильнейшей степени зависит от их состава, являясь чувствительным к малейшим примесям. Поэтому это свечение может быть использовано для распознавания поддель-

иых драгоценных камней и т. д. Несмотря на ряд применений катодных лучей, Кулидж считает однако основной областью применения своей трубки физику ядра.

Одним из наиболее старых методов получения очень высоких напряжений является трансформатор Тесла. Длинные и мощные искры, которые можно извлечь из вторичной обмотки этого трансформатора, служили эффектной демонстрацией резонанса электрических колебаний задолго до того, как электротехникам удалось построить трансформаторы с железом на напряжения в миллион и больше вольт. Преимуществом трансформатора Тесла, которое заставило ряд исследователей заняться его применением к проблеме исследования атомного ядра, являются сравнительно небольшие мощности, которые требуются для получения высоких напряжений по этому методу. В сущности, трансформатор Тесла представляет собой не что иное, как два электрических колебательных контура, в одном из которых (контур первичной обмотки) возбуждаются колебания, в свою очередь вызывающие появление колебаний в контуре вторичной обмотки.

Схема трансформатора Тесла приведена на рис. 43. Первичный его контур состоит из емкости, самоиндукции и разрядника, включенных последовательно. Питающая установка, обычно состоящая из вторичной обмотки высоковольтного трансформатора с железом и пустотного выпрямителя (кенотрона), пропускающего ток только в одну сторону, через блокировочное сопротивление заряжает емкость первичного контура до такого напряжения, при котором в разряднике происходит разряд. Тогда конденсатор, оказавшийся замкнутым, через искру на самоиндукцию начинает разряжаться до тех пор, пока напряжение на его обкладках не станет равным нулю (благодаря блокировочному сопротивлению, питающая установка не успевает за время разряда подвести сколько-нибудь значительный заряд на обкладки конденсатора, так что для простоты можно



Рис. 42

считать, что в момент разряда она как бы совсем отключена от колебательного контура).

Однако в момент полной разрядки конденсатора ток в первичном контуре не прекращается, так как в самоиндукции возникла электродвижущая сила, которая продолжает поддерживать ток, перезаряжающий конденсатор. Когда конденсатор заряжен, ток спадает, электродвижущая сила самоиндукции становится равной нулю, но зато конденсатор вновь начинает разряжаться, и весь процесс повторяется сызнова.

Таким образом в первичном контуре возникают электрические колебания.

Вследствие сопротивления проводников, потерь в конденсаторе, а главное — потерь в разряднике, эти колебания — затухающие, т. е. после каждого колебания напряжение, до которого заряжается конденсатор, становится все меньше и меньше. Число колебаний в секунду или, как говорят, частота контура зависит

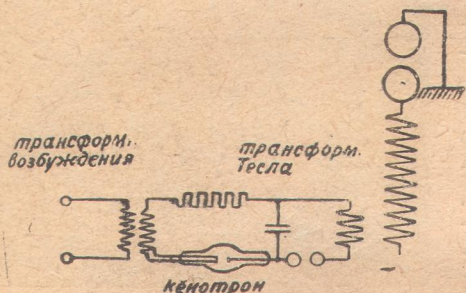


Рис. 43

от величины емкости и самоиндукции. Чем больше емкость и самоиндукция, тем медленнее будет происходить перезарядка, тем меньше частота колебаний. Меняя емкость или самоиндукцию, можно менять эту частоту или, как говорят, настраивать контур.

Вторичная обмотка трансформатора Тесла, состоящая из большого числа витков, присоединена одним концом к земле. Другой ее конец, который нередко снабжается шаром для измерения напряжения по длине искры, а также для уменьшения короны, имеет некоторую емкость. Таким образом, составляется второй колебательный контур, который обладает собственной частотой колебаний.

Подстраивая частоту первичного контура к частоте вторичного, можно добиться того, что на вторичной обмотке трансформатора Тесла получатся колебания напряжения, приблизительно во столько раз превышающие колебания в первичном контуре, во сколько раз число витков вторичной обмотки больше чем у первичной.

В отличие от технических трансформаторов с железом при этом вовсе не требуется, чтобы весь магнитный поток первичной обмотки проходил во вторичную; связь между обоими контурами не должна быть особенно большой, так как здесь используется резонанс, при котором небольшое раскачивание (действие первичного контура на вторичный) может вызвать колебания с громадным размахом (амплитудой).

Технические
трансформаторы
Тесла

Основное затруднение, с которым приходится сталкиваться при попытке получить на трансформаторе Тесла напряжения около миллиона вольт и выше, заключается в появлении короны около высоковольтного конца вторичной обмотки, из-за которой та небольшая энергия, которая перекачивается во вторичную обмотку из первичной, в основном затрачивается на утечки через ионизованный воздух.

Поэтому техническим трансформаторам Тесла, которые довольно распространены на высоковольтных полях заводских лабораторий и испытательных станций электроизоляционных промышленных предприятий, придаются огромные размеры (чтобы по возможности удалить от земли и первичной обмотки высоковольтную часть вторичной), и они снабжаются специальными экранами, предохраняющими от появления короны. При этом трансформаторы Тесла становятся необычайно громоздкими. Представление об их размерах и конструктивном выполнении можно получить по рис. 44, на котором представлен трансформатор Тесла на миллион двести тысяч вольт, изготовленный фирмой Сименс в Германии (для масштаба можно указать, что диаметр шаров в разряднике равен 75 см, а длина вторичной катушки без экрана немного более 3 м).

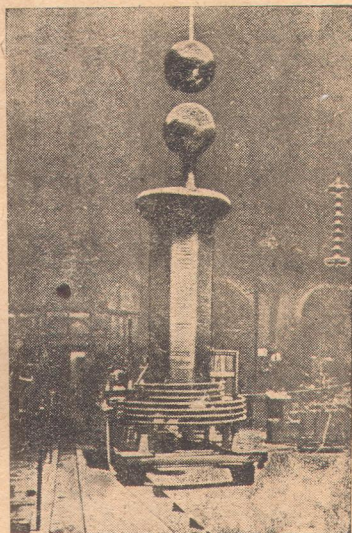


Рис. 44

Естественно было бы для уменьшения габарита трансформатора поместить его в масло, в котором корона начинается при значительно больших напряжениях, однако для технических трансформаторов это решение не выдерживает критики. В самом деле, для электротехнических испытаний недостаточно получить высокое напряжение внутри бака, нужно его оттуда вывести, и в этом и заключается все затруднение. Построить вывод на миллион вольт высокой частоты — задача практически неразрешенная.

Однако группа американских исследователей — Трансформатор Брейта Брейт, Тьюв, Дэль и Хэвстед, — задавшихся целью использовать трансформатор Тесла для ускорения частиц, предназначенных для бомбардировки атомных ядер, решила воспользоваться преимуществами, которыми обладает хорошее трансформаторное масло по сравнению с воздухом, и погрузить свой трансформатор в тщательно очищенное и высушенное трансформаторное масло. Их задача облегчалась тем, что

Схема установки, на которой испытывался трансформатор, приведена на рис. 45, а самый трансформатор — на рис. 46. Благодаря погружению трансформатора в масло, его размеры удалось сократить очень значительно. Диаметр вторичной обмотки



Трансформатор был помещен в бак с маслом, снабженный двумя съемными крышками, из которых одна служила для ввода напряжения на первичную обмотку; через вторую был пропущен провод, снабженный на концах шарами для определения напряжения на вторичной обмотке, и труба, соединяющая бак с резервуаром, из которого могло подаваться масло под давлением. Так как электрическая прочность трансформаторного масла увеличивается с давлением, Брейт, Тью и Дэль часть своих измерений производили в масле при повышенном давлении, которое могло быть доведено до 30 атм.

Первичная обмотка питалась от высоковольтного трансформатора на 70 000 вольт через механический выпрямитель.

Опыты увенчались значительным успехом. На трансформаторе, который нельзя не назвать миниатюрным по сравнению с гигантским трансформатором Тесла с воздушной изоляцией, применяемым электротехниками (рис. 44), в масле при давлении в 1 атм. было получено напряжение до 3 200 000 вольт, а при давлении в 30 атм. — 5 000 000 вольт.

Таким образом, первая часть задачи — построение источника напряжения — была в данном случае разрешена чрезвычайно удачно. Если бы только удалось сообщить соответствующую скорость ионам в разрядной трубке, то даже учитывая то, что трансформатор Тесла дает напряжение не все время, а только толчками, в момент проскакивания искры в первичном контуре, Брейт, Тюв и Дэль имели бы ионную пушку, которая по интенсивности бомбардировки была бы равносильна 2,5 кг радия.

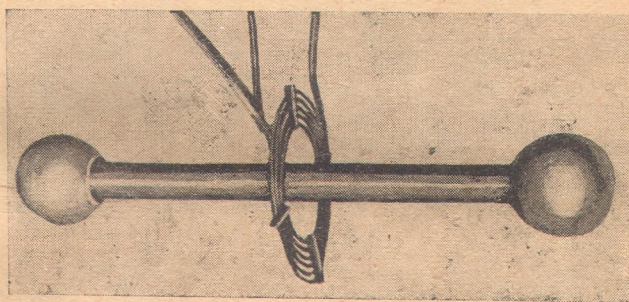


Рис. 46

Трубка Брейта Однако при осуществлении трубки исследователи натолкнулись на серьезные затруднения.

Как мы видели, Кулидж разрешил вопрос о введении в вакуум напряжения до 900 000 вольт путем каскадного соединения отдельных трубок; так же подошли к этому вопросу и Тюв, Брейт и Хэвстед. В основном конструкция их трубки ясна из рис. 47. Типичным для нее является подразделение трубки на секции. В отличие от Кулиджа, который создавал принудительное равномерное распределение потенциала вдоль трубки, прикладывая к ее секциям напряжение от отдельных секций индуктора, Брейт, Тюв и Хэвстед, подобно Лауритсену и Беннетту, включили параллельно трубке сопротивление, от соответствующих точек которого брался потенциал на секции трубки. Этот делитель напряжений представлял собой трубку, наполненную слабым раствором соли, которая также изображена на рис. 47. На рисунке представлена трубка из шести секций; на некоторых трубках число секций доводилось до пятнадцати.

Внутренние электроды трубки состояли из цилиндрических медных труб с закругленными краями. Так как отдельные секции соединялись между собой легкоплавкой вакуумной замазкой, трубка не могла быть целиком прогрета при обезгаживании, хотя каждый электрод в отдельности предварительно подвергался под откачкой нагреванию до 950 градусов Цельсия.

На рис. 47 изображены также два экрана, один кольцевой, другой — колпачковый. Как оказалось, такие экраны совершенно необходимо надевать на трубку; кольцевые — на ее среднюю часть — по кольцу на каждую секцию, а колпачковые — на концы, во избежание пробоя стеклянной стенки трубки. На первый взгляд может показаться, что, пользуясь принципом Кулиджа, в вакуум можно ввести какой угодно потенциал. В опытах с трансформатором Тесла это совершенно не оправдалось. К труб-

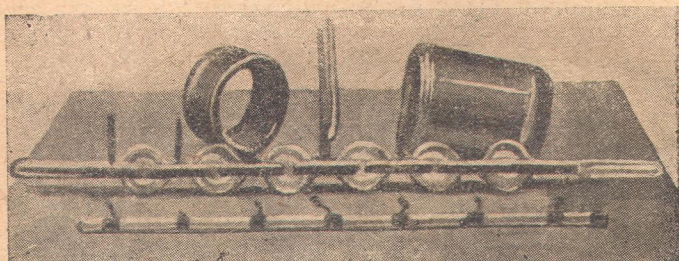


Рис. 47

ке в шесть секций удалось приложить только 850 000 вольт, а к трубке с пятнадцатью секциями не выше 1 400 000 вольт.

По каким причинам в трубке не удалось устранить разряд, возникавший при этих напряжениях и не позволявший повышать напряжение дальше, — осталось непонятным. Во всяком случае можно сказать, что при столь высоких потенциалах управлять разрядом чрезвычайно трудно. Работы в этом направлении ведутся, хотя, даже в случае благополучного разрешения отмеченной трудности, при питании трубки от трансформатора Тесла можно предвидеть новые затруднения, связанные с тем, что направление поля в трубке все время меняется, так что из ее окошка будут вылетать то ионы, то электроны, что сильно усложнит производство опытов по разрушению ядер.

Все же благодаря несложности высоковольтной аппаратуры, питающей трубку, трансформаторы Тесла до последнего времени представлялись одним из наиболее обещающих методов ускорения ионов в ионных пушках.¹

¹ В СССР помимо ядерной бригады Украинского физико-технического института, работам которой будет посвящена последняя глава настоящей книги, применением трансформатора Тесла для исследования атомного ядра занимается также группа работников Сибирского физико-технического института в Томске.

Импульсные генераторы

Однако после того, как в электротехнике получил широкое распространение новый источник сверхвысоких напряжений — импульсный, или ударный, генератор, на очередь стала проблема о питании разрядных трубок от этого источника. Импульсные, или ударные, генераторы, которые были известны электротехникам уже довольно давно, только за последние пять-шесть лет стали применяться для получения напряжений, превышающих миллион вольт; вместе с тем именно с помощью импульсного генератора в 1932 г. был получен рекордный удар напряжения в 10 миллионов вольт, сопровождающийся „искусственной молнией“ в 18 м длины (рис. 48).
Схема импульсного генератора, предложенная в 1916 г. не-

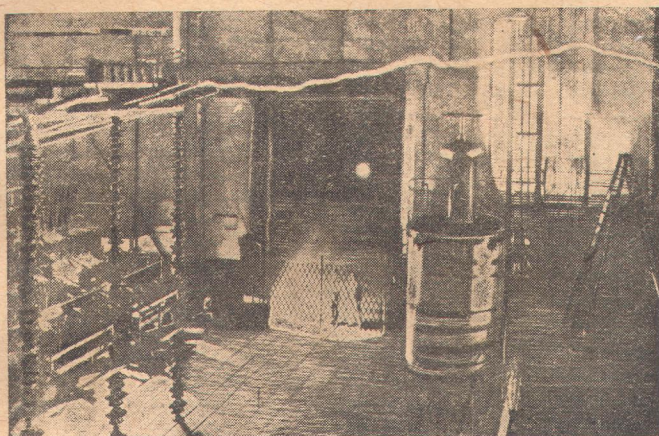


Рис. 48

мецким электриком Марксом, необычайно проста. Принцип ее заключается в том, что батарея высоковольтных конденсаторов, включенных параллельно, заряжается от питающей установки до некоторого напряжения, которое определяется конструкцией конденсаторов. В следующий момент конденсаторы автоматически переключаются с параллельного соединения на последовательное, при чем напряжения всех конденсаторных элементов складываются, достигая подчас громадной величины, ограничи-

Заслуживает внимания остроумное ухищрение, с помощью которого големские физики пытаются избежать затруднений, связанных с введением высокого напряжения вторичной обмотки трансформатора Тесла в разрядную трубку. Они обходятся совсем без этого ввода, располагая всю вторичную обмотку в нутри разрядной трубки. Разумеется, этот метод обладает и своими недостатками: откачка трубки, вследствие введения внутрь нее значительного количества проволоки и изолирующего материала, осложняется, однако предварительные опыты, поставленные с таким „трансформатором - трубкой“, дали вполне благоприятные результаты.

ваемой только числом конденсаторов, т. е. размерами и стоимостью установки.

Переключение конденсаторов с параллельного соединения на последовательное происходит с помощью разрядников, включенных по образцу, показанному на рис. 49, где изображена схема импульсного генератора всего из четырех конденсаторных элементов, которая позволяет получить напряжение, превышающее напряжение питающей установки в четыре раза. Конденсаторы C_1, C_2, C_3 и C_4 соединены параллельно через большие сопротивления R_1, R_2, R_3 и R_1', R_2', R_3' . Питающая установка, состоящая из высоковольтного трансформатора T и выпрямителя K , заряжает их до тех пор, пока в разряднике Z^1 не проскочит искра. Тогда конденсаторы C_1 и C_2 оказываются включен-

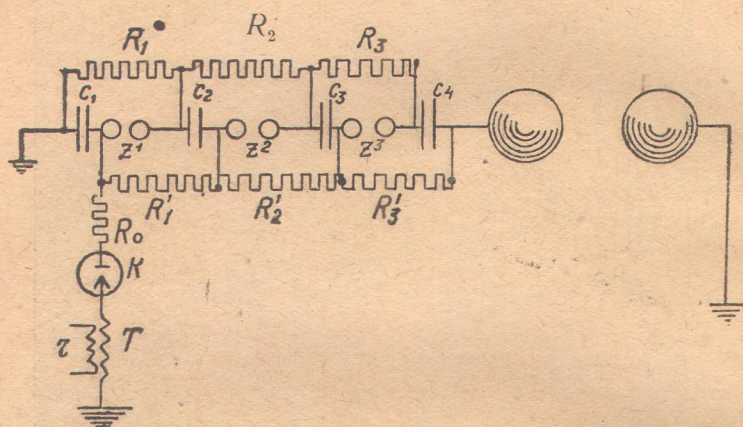


Рис. 49

ными последовательно, благодаря чему на разряднике Z^2 получается удвоенное напряжение, вследствие чего он, конечно также пробивается. То же происходит и с разрядником Z^3 .

Таким образом, все четыре конденсатора оказываются включенными последовательно через искры в разрядниках, и на конце установки мгновенно получается учетверенное напряжение. Так как, однако, конденсаторы вместе с тем включены и параллельно, через сопротивления, то они после мгновенного удара напряжения довольно быстро разрядятся через них, и повторный удар произойдет только тогда, когда питающая установка вновь зарядит их до потенциала, достаточного для образования искры в разряднике Z^1 .

Эта схема может быть составлена и из значительно большего количества конденсаторов, разрядников и сопротивлений, так что с ее помощью можно получить теоретически сколь угодно высокое напряжение.

Импульсные генераторы получили широкое распространение в электротехнике, так как с их помощью удается воспроизвести те мгновенные перенапряжения, которым подвергаются в условиях эксплуатации элементы промышленных высоковольтных установок под влиянием грозových разрядов, коротких замыканий и других кратковременных явлений, имеющих место при эксплуатации. Использование импульсных генераторов для питания разрядных трубок представлялось весьма заманчивым в связи с тем, что образование разрядов при очень коротких ударах напряжения сильно затруднено, благодаря чему можно было надеяться, что трудности, связанные с возникновением преждевременного разряда в трубке, можно будет преодолеть значительно легче при импульсном напряжении, нежели при напряжении переменном технической или высокой частоты.

Опыты Браша и Ланге Впервые построением разрядной трубки для ударного напряжения занялись Браш и Ланге, отказавшиеся от мысли использовать для получения быстрых ионов грозвое электричество. После продолжительных опытов на горе Женерозо в их распоряжение был предоставлен импульсный генератор фирмы АЕГ (Германия), фотография которого приведена на рис. 50.

Этот генератор, один из наиболее мощных импульсных генераторов в мире и самый мощный в Европе, установлен на крыше высоковольтной лаборатории АЕГ и состоит из 12 групп по 5 конденсаторов в каждой. Каждая группа заряжается до 200 000 вольт, так что в момент разряда, происходящего в одиннадцати шаровых разрядниках, соединяющих все конденсаторные элементы последовательно, происходит удар напряжения в 2 400 000 вольт. Отдельные конденсаторные элементы представляют собой плотно закупоренные металлические бачки, внутри которых, под слоем высокосортного трансформаторного масла находятся стопки пропитанной бумаги, прослоенной проводящими листами тонкой фольги. Емкость конденсаторных элементов благодаря такой конструкции весьма значительна, так что генератор не только дает удар очень высокого напряжения, но в то же время развивает в момент разряда весьма значительную мощность.

Так как в распоряжении Браша и Ланге оказался чрезвычайно удобный и мощный источник напряжения в виде готовой тех-

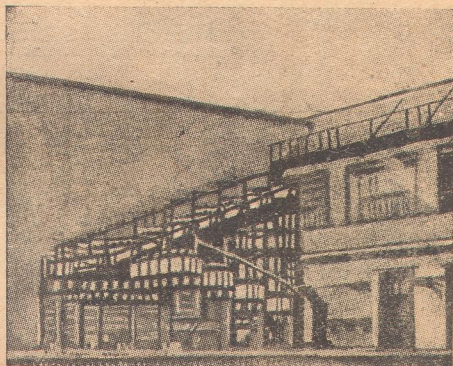


Рис. 50

нической установки одной из крупнейших электротехнических фирм Европы, они отказались от дальнейших попыток использования атмосферного электричества и всю работу переключили на конструирование своей разрядной трубки.

Трубка Браша
и Ланге

Задача построения сверхвысоковольтной разрядной трубки, предназначенной для работы при ударном напряжении, несколько облегчается тем, что при кратковременных электрических импульсах, с одной стороны, значительно затрудняется образование скользящих разрядов, перекрытия по внешней поверхности трубки и т. д., с другой — всевозможные утечки играют совершенно второстепенную роль.

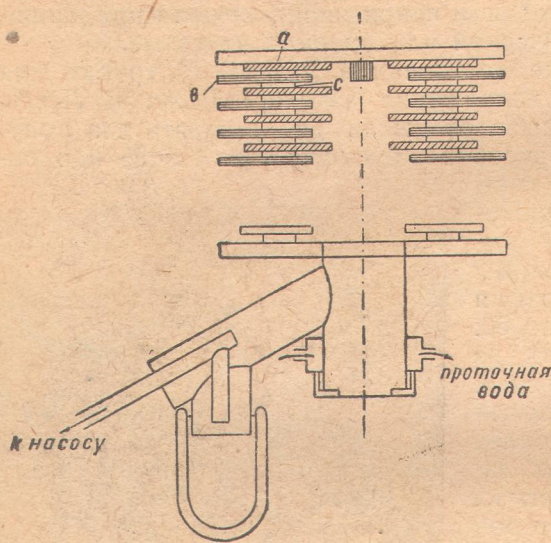


Рис. 51

В самом деле, в момент удара генератор развивает громадную мощность, давая десятки (а иногда и больше) ампер при напряжении, измеряемом миллионами вольт, так что с утечками в несколько миллиампер, десятков и даже сотен миллиампер считаться вовсе не приходится. В силу этого гораздо проще разрешаются вопросы, связанные с изоляцией трубки и всей установки, требуется менее тщательная ее откачка, отпадает необходимость в предварительном обезгаживании металлических частей трубки и т. д.

При конструировании своей трубки Браш и Ланге поэтому смогли воспользоваться приемом, который позволил им достигнуть очень большого успеха в деле построения сверхвысоковольтных разрядных трубок и поставить непревзойденный до сих пор рекорд, введя в разрядную врубку свыше двух миллионов вольт. Свободные от необходимости тщательного обезгаживания стенок трубки, эти исследователи смогли отказаться от традиционного материала, используемого для построения разрядных трубок — стекла.

О конструктивном осуществлении трубки Браша и Ланге можно составить себе представление из ее схемы, изображенной на рис. 51, и фотографии установки, представленной на рис. 52.

Эта трубка набрана из чередующихся турбонитовых,¹ резиновых и алюминиевых шайб, при чем между каждыми соседними твердыми кольцами проложена резиновая шайба, обеспечивающая уплотнение.

Благодаря тому, что все кольца имели различный внутренний и наружный диаметры, внешняя и внутренняя поверхности трубки становились ребристыми, так что путь для скользящего разряда вдоль трубки чрезвычайно удлинялся.

Так как трубка при общей длине всего в 84 см состоит из двухсот комплектов (турбонит - резина - алюминий - резина) и длина пути скользящего разряда в каждом комплекте достигает 12 см, то полная длина пути для всей трубки — около 25 м. Кроме того, при такой конструкции стенка трубки на все сто процентов гарантирована от пробоя.

В самом деле, прежде всего „толщина стенки“ сама по себе чрезвычайно велика (минимально, для резиновых колец — 1,5 см.), а, кроме того, введенные в каждом комплекте металлические прослойки не позволяют образоваться на стенке значительной разности потенциалов. Наконец, те же металлические прокладки представляют собой как бы ряд включенных последовательно совершенно одинаковых конденсаторов, благодаря чему в момент удара на все отдельные секции трубки приходится одно и то же падение потенциала, т. е. осуществляется автоматически принудительное равномерное распределение.

Материалы, из которых набрана трубка, а в особенности турбонит и резина, выделяют значительное количество газов, благодаря чему трубка во время работы должна непрерывно интенсивно откачиваться, что и производится с помощью мощного стального диффузионного насоса, в котором струя ртутного пара захватывает выделяющийся из трубки газ. Для того чтобы предотвратить попадание ртутных паров из насоса в трубку,

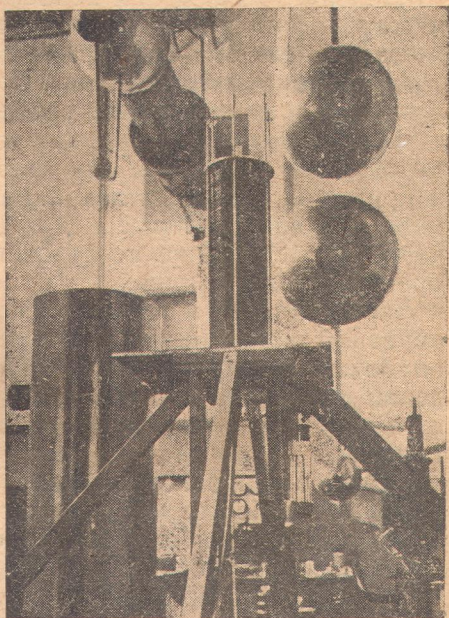


Рис. 52

¹ Турбонит — изоляционный материал, изготавливаемый путем горячей прессовки из бумаги, пропитанной бакелитовым лаком.

а, с другой стороны, предохранить насос от загрязнения летучими жидкостями, выделяющимися из стенок трубки, в трубопроводе от трубки к насосу становится так называемая „ловушка“, в которой ртуть и пары вымораживаются жидким воздухом (при температуре около -180°C). Конструкция этой ловушки показана на рис. 51.

Вверху и внизу трубка заканчивается металлическими дисками, из которых нижний, подвергающийся электронной бомбардировке, охлаждается проточной водой.

Для предотвращения непосредственного разряда по воздуху между этими дисками вся трубка помещается в изолирующий бак, заполненный трансформаторным маслом. К построенной по этому принципу трубке (рис. 52) Брашу и Ланге удалось подвести полное напряжение генератора АЕГ, т. е. 2.400.000 вольт.

При наличии в разрядной трубке небольшого количества паров воды, водорода или светильного газа, в момент удара напряжения создается довольно значительное количество водородных ионов, которые могут быть использованы для бомбардировки ядер. Такие исследования были поставлены на трубке Браш и Ланге и привели к положительным результатам: Брашу и Ланге удалось наблюдать расщепление ядер ряда легких элементов. Так как, однако, эти результаты были получены после опубликования работы Кокрофта и Уолтона, а методика наблюдения применялась та же, что и у других авторов, мы остановимся на этих результатах при описании работы английских исследователей.

Помимо этой основной задачи, большой интерес представляют чрезвычайно жесткие и интенсивные рентгеновые лучи, которые испускаются при бомбардировке металлической крышки трубки бешено несущимися электронами, набравшими громадную скорость в 2,5 млн вольт. Эти рентгеновые лучи, по данным Браша и Ланге, довольно свободно пронизывают 10 см свинца и, благодаря своей огромной проникающей способности, смогут найти себе применение в металлообрабатывающей промышленности для просвечивания массивных изделий на внутренние пороки и т.д.

На первый взгляд представляется несомненным, что опыты Браша и Ланге намечают единственный путь правильного решения проблемы создания искусственных снарядов для разрушения ядер; однако наряду с огромными преимуществами, которыми отличаются импульсные генераторы и соответствующие трубки перед другими методами получения быстрых заряженных частиц, они обладают немаловажными недостатками.

К числу достоинств импульсных генераторов относится, в первую очередь, то, что при пользовании ими в качестве источников напряжения отпадают или, во всяком случае, сильно ослабляются специфические высоковольтные трудности, как образование короны, скользящих разрядов, громадной длины искры между остриями.

Во-вторых, отходят на второй план всевозможные потери в изоляции, благодаря чему могут быть чрезвычайно значительно снижены требования к изоляционным материалам, применяемым в этих установках. Так, для импульсного воздействия могут рассматриваться как удовлетворительные изоляторы — сырое трансформаторное масло самого низкого качества и даже, в некоторых случаях, дистиллированная вода, воздушно сухое дерево, пеньковый канат и т. п.

В-третьих, возникающий внутри самой трубки разряд не снижает подведенного к ней напряжения, если только источник (генератор) обладает достаточной энергией; наконец, если предположить скользкий разряд по внутренней стенке трубки (подразделение металлическими прокладками), то выделение газов из стенок играет второстепенную роль, благодаря чему отпадает необходимость в тщательном обезгаживании этих стенок, а, следовательно, можно отказаться от стекла в качестве материала, что сулит громадные конструктивные возможности.

Недостатки импульсных установок обнаруживаются тогда, когда созданные внутри соответствующих трубок снаряды направлены на исследуемые ядра.

Благодаря тому, что опыт продолжается, в сущности, лишь во время импульса (стотысячные или миллионные доли секунды), необходима необычайно сложная экспериментальная техника для изучения тех явлений, которые разыгрываются при бомбардировке ядер с помощью такой трубки.

Задача произвести опыт за одну стотысячную долю секунды хотя и не так безнадежна, как может показаться с первого взгляда, но все же принадлежит к чрезвычайно сложным экспериментальным проблемам и заставляет многих экспериментаторов искать других путей для создания быстрых ионов, несмотря на многочисленные перечисленные нами преимущества трубок, питаемых импульсными генераторами.

К числу наиболее остроумных методов получения быстрых ионов принадлежит способ переменного поля, предложенный и разработанный известным американским физиком Лауренсом и его учениками. В отличие от всех описанных нами методов, в нем не приходится пользоваться высоким напряжением, вследствие чего отпадают основные затруднения, связанные с получением последнего и вводом его в вакуумную трубку.

Идея Лауренса в своей основе чрезвычайно проста. Представим себе источник ионов J в пустотной трубке и ряд металлических экранов с отверстиями (диафрагм) $d_1 \dots d_6$ (рис. 53). Батарея B_1 , включенная между источником ионов и первой диафрагмой, ускоряет ионы, которые подходят к отверстию d_1 , обладая скоростью, соответствующей разности потенциалов, даваемой этой батареей. Пусть в нашем распоряжении есть

Метод последовательного ускорения ионов переменным полем

еще одна батарея B_2 ; включив ее в какой-нибудь момент между d_1 и d_2 , мы „подхлестнем“ ионы, прошедшие через диафрагму d_1 , добавив им скорость, соответствующую потенциалу этой батареи V_2 . Если мы мгновенно переключим ее между d_1 и d_3 , то мы вторично подбавим скорости нашей партии ионов, которая уже будет соответствовать разности потенциалов $(V_1 + 2V_2)$.

„Гоняясь“ за нашей партией ионов и „подхлестывая“ ее в каждом промежутке между соседними диафрагмами, мы сможем довести их скорость к концу трубки, возле экрана E , до $(V_1 + nV_2)$, где n — число „пролетов“ — промежутков между диафрагмами. Постепенно ускорить ионы, заставив их пройти повторно одну и ту же разность потенциалов — вот, в чем заключается идея Лауренса. Разумеется, в описанном нами виде этот опыт на практике неосуществим.

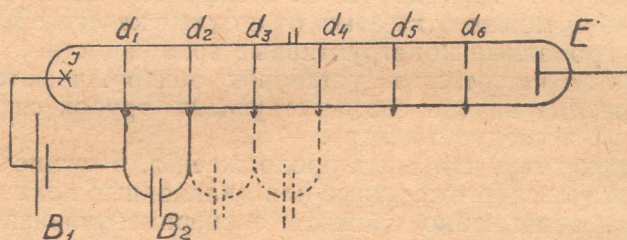


Рис. 53

Скорость ионов, которой мы хотим добиться при создании снарядов для исследования ядра, настолько значительна, что, переключая батарею „от руки“ или даже с помощью самого совершенного переключателя, угнаться за ускоряемыми ионами невозможно.

Однако Лауренс удачно развил свою идею, преодолев это затруднение с помощью применения переменного напряжения высокой частоты. Для того чтобы разобраться в действии его установки, рассмотрим ее схему, изображенную на рис. 54. Основная часть прибора Лауренса, предназначенного для ускорения тяжелых ионов, представляет собой ряд расположенных друг за другом металлических трубок a, b, c, d . В приборе Лауренса их было до 30 штук, на нашей же схеме мы ограничимся четырьмя. Эти трубки через одну присоединены к полюсам высокочастотной генераторной установки, дающей переменное напряжение с частотой около десяти миллионов периодов в секунду (длина волны — около 30 м.). По оси первой трубки (на нашей схеме — слева направо) пускается пучок ионов. Пока эти ионы находятся внутри трубки, на них не действует электрическое поле. Как только ионы дошли до края трубки, они попадают в промежуток между a и b , в котором действует переменное поле, созданное высокочастотной установкой.

Установка
Лауренса для
тяжелых
ионов

Если в данный момент направление поля благоприятствует их пролету (цилиндр a заряжен положительно, b — отрицательно), то они подхватываются „попутным“ полем, и к тому моменту, когда напряжение генератора равно нулю, они уже опять экранированы, защищены от поля внутри цилиндра b . Пролетев этот цилиндр, они подлетают к промежутку между b и c в тот момент, когда поле в этом промежутке опять является для них попутным. Таким образом, в каждом последующем промежутке ионы будут ускоряться, если только к этому промежутку они будут подлетать своевременно, т. е. в момент попутного поля. Чтобы удовлетворить этому условию, приходится делать трубочки возрастающей длины, так как в противном случае ионы по мере своего ускорения требовали бы для пролета последующих цилиндров все меньшего и меньшего проме-



Рис. 54

жутка времени и подлетали бы к соответствующим промежуткам не в надлежащий момент.

Общий вид трубки Лауренса для тяжелых ионов приведен на рис. 55. В виду своей большой длины схема разделена на две части. Рассматривая слева направо нижнюю ее половину, мы встречаем источник ионов в виде баллона, заполненного разреженным тяжелым газом (например, парами ртути), где помещен раскаленный катод и анод, между которыми создана небольшая постоянная разность потенциалов. Электроны, испускаемые раскаленным катодом, на своем пути к аноду приобретают скорость, достаточную для ионизации (отщепления электронов от нейтральных атомов ртути); образовавшиеся таким образом положительные ионы ртути отсасываются через боковую трубку электрическим полем, созданным между катодом и вспомогательным цилиндром A , и, пролетев второй цилиндр B , попадают в систему ускоряющих трубочек, действие которых было нами только что описано. В конце трубки (правый верхний угол рисунка) ионы, ускоренные в трубке, проходят между заряженными пластинами, и по величине поля, которое необходимо создать между этими пластинами для того, чтобы, завернув пучок ионов на угол в 3° , заставить их попасть в цилиндр, соединенный с чувствительным электрометром, определяется их скорость.

Контрольные измерения показали, что построенный таким образом прибор полностью оправдал надежды своих конструкторов.

торов. Пользуясь высокочастотной установкой на 42 000 вольт и трубкой с 30 ускоряющими цилиндрами, они довели скорость ионов ртути, прошедших сквозь трубку, до $30 \times 42\,000$, т. е. до 1 260 000 вольт.

Однако, несмотря на этот исключительный успех, эта конструкция трубки была вскоре оставлена Лауренсом по следующим соображениям. Наибольший интерес в смысле исследования ядра представляет бомбардировка последнего частицами, ядра которых обладают незначительным зарядом, как H -частицы и α -частицы. Если этими частицами можно было надеяться разрушить ядра, придав им энергию около одного миллиона вольт,

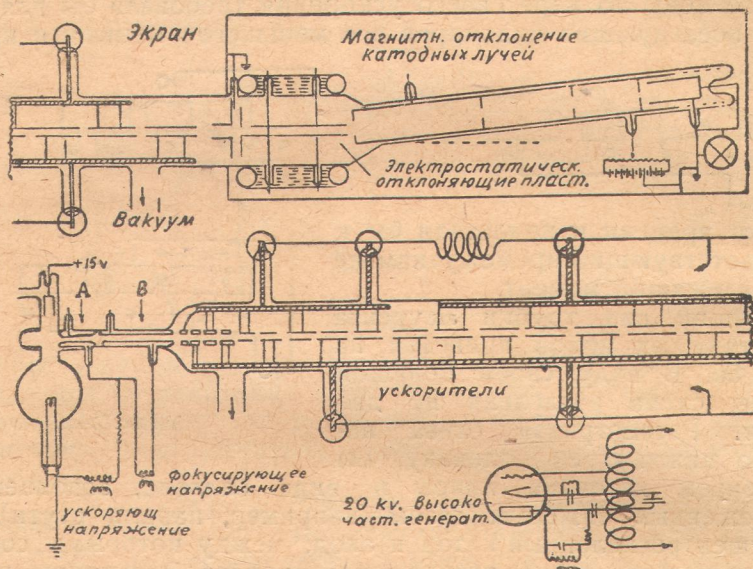


Рис. 55

то тяжелым ядрам, подобным ртути, подобраться к бомбардируемому ядру, вследствие сил взаимного отталкивания, которые тем больше, чем больше положительный заряд „снаряда“, — значительно труднее.

Между тем описанная конструкция трубки Лауренса позволяет ускорить лишь наиболее тяжелые ионы. При попытке ее применения для получения, скажем, быстрых протонов возникают непреодолимые технические трудности, связанные с размерами трубки. В самом деле, чем легче ион, тем большую скорость он получит под действием заданной разности потенциалов; следовательно, тем более длинными должны быть отдельные „ускоряющие цилиндрики“, — тем больше размеры и всей трубки. Если трубка, в которой удалось ускорить ионы

ртути до 1 260 000 вольт, достигала в длину около 1,5 м, то трубка для сообщения той же энергии протонам должна быть примерно в $\sqrt{200}$, т. е. в 14 с лишком раз длиннее, достигая в длину свыше 20 м.

Не говоря уже о том, что построение подобной трубки при современном положении техники пустотных приборов вряд ли оказалось бы возможным, она оказывается неосуществимой еще и по ряду других соображений (пучок ионов на столь длинном пути неизбежно был бы в сильнейшей степени ослаблен, при указанных размерах трубки вряд ли можно рассчитывать на правильную работу высокочастотной установки и мн. др.).

Все эти соображения заставили Лауренса разработать еще один вид трубки, основанный на том же принципе, но рассчитанный специально для ускорения легких ионов (протонов).

В своем втором приборе Лауренс пользуется так же повторным подхлестыванием ионов переменным электрическим полем, которое всегда оказывается попутным, когда ионы попадают в пространство, где это поле на них действует. Вместе с тем он преодолевает затруднения, связанные с большим размером прибора для легких ионов, заворачивая последние с помощью магнитного поля и заставляя их переходить из одного полого электрода в другой, заменяя таким образом прямолинейный путь ионов в первом приборе — спиральным.

Все это проще понять на схеме прибора, приведенной на рис. 56.

Два электрода *A* и *B*, в виде двух половинок плоской цилиндрической коробки, смонтированы в откачанном приборе, который помещается между полюсами электромагнита. К электродам подается высокочастотное переменное напряжение, так что в зазоре между электродами *A* и *B* образуется переменное электрическое поле.

Очевидно, что, если в тот момент, когда электрод *A* отрицателен, а *B* положителен, в точке *a* зазора между электродами находится какой-нибудь ион, то он будет втянут внутрь первого из электродов. Как только он попадет внутрь него, он оказывается защищенным от действия поля и должен был бы двигаться по инерции прямолинейно, если бы не магнитное поле, которое заставляет его завернуть и двигаться внутри электрода *A*, описывая полукруг *ab*. Если за то время, пока ион пролетает этот путь, прошло ровно полпериода переменного напряжения, т. е. положительным стал электрод *A*, а отрицательным *B*, то, залетев в зазор между электродами, ион снова будет в нем ускорен, войдет внутрь *B* уже с большей скоростью, в силу чего магнитное поле завернет его по кругу уже большего радиуса.

Так как длина пути иона во время каждого из его путешествий внутри электрода будет с каждым разом расти точно в

той же мере, что и его скорость, то, следовательно, ион будет оставаться внутри каждого из электродов один и тот же промежуток времени. Отсюда следует, что ион, попавший „в удачный момент“, т. е. при „попутном поле“, в зазор между электродами, после первого своего оборота уже „не сообразится с такта“ и будет после каждого полуоборота подхлестываться

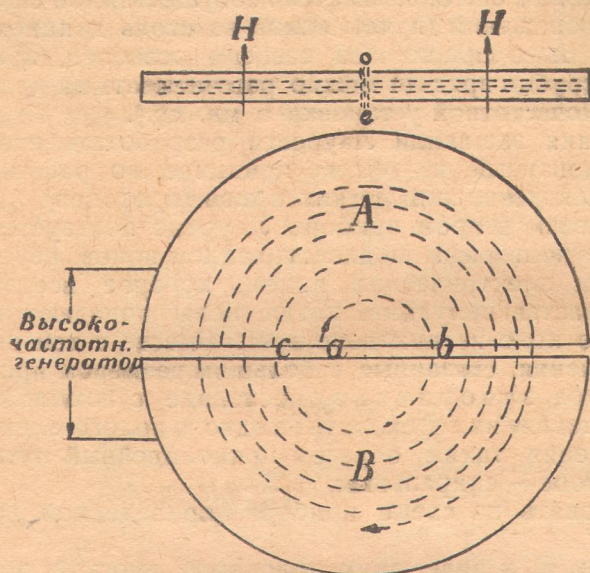


Рис. 56

полем в зазоре и циркулировать по расходящейся спирали с все увеличивающейся скоростью. Наконец, когда ион развернувшись ударится в обод коробки, он будет обладать скоростью, соответствующей напряжению, во столько раз большему приложенного к прибору, сколько полуоборотов он совершил на своем спиральном пути.

Так, например, в приборе, построенном Лауренсом и Ливингстоном, протоны совершали до 150 полных обо-

ротов. Максимальное значение приложенного к электродам высокочастотного напряжения составляло всего 4 000 вольт. Таким образом, ионы на своем пути 300 раз ускорялись этими четырьмя тысячами вольт, благодаря чему, в результате, набирали скорость до 1 200 000 вольт.

Некоторые детали экспериментальной установки Лауренса и Ливингстона представлены схематически на рис. 57, а на рис. 58 приведена фотография внутренней части их прибора.

Электрод был изготовлен в виде тонкостенного плоского полуцилиндра диаметром в 24 см. и высотой в 1 см, который был заключен внутри плоской медной коробки квадратной формы $28,6 \times 28,6$ см, высотой в 2,6 см. (рис. 58).

Таким образом, в приборе был только один из изображенных на рис. 56 электродов; другим электродом служила окружающая внутренний электрод квадратная коробка.

Эта коробка была разделена перегородкой со щелью, в которой была натянута проволочка, нагреваемая электрическим током. Это устройство служило для создания водородных ионов

(протонов). Между калящейся проволокой и перегородкой прикладывалось небольшое постоянное напряжение (около 150 вольт), при чем нить имела отрицательный заряд, так что испускаемые ею электроны захватывались полем и двигались перпендикулярно плоскости рис. 57 и 58.

Сталкиваясь на своем пути с нейтральными атомами водорода (которым при давлении около одной десяти тысячной миллиметра была заполнена коробка), они ионизовали их, создавая

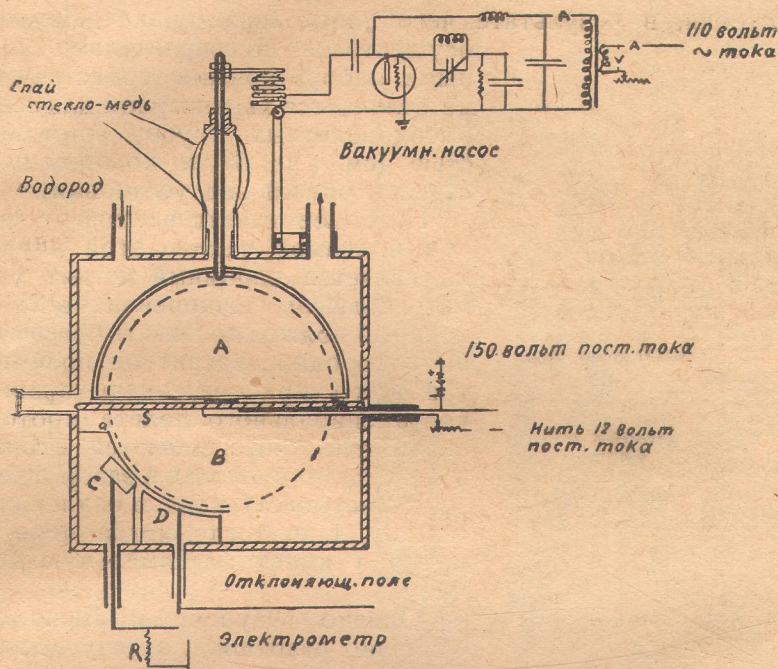


Рис. 57

протоны, так что щель с калящейся проволокой внутри нее представляла непрерывно действующий источник положительных ионов водорода. Эти ионы захватывались переменным полем внутри пустотелого электрода А и, раскручиваясь описанным выше образом по расходящейся спирали, попадали, в конце концов, в пространство между отклоняющими пластинами D и а, которые вместе с отведенным к электрометру цилиндром С служили для измерения скорости разогнанных в приборе протонов (подобно тому, как в первом приборе Лауренса для тяжелых ионов).

Контрольные измерения скоростей протонов показали, что прибор работает вполне удовлетворительно. Обращаясь по спиральным путям, протоны, совершив полных сто пятьдесят обо-

ротов, триста раз „подхлестнутые“ на своем пути напряжением в 4 000 вольт, набирали скорость до 1 200 000 вольт.

Эта установка Лауренса представляет собой крупную победу экспериментальной техники в сложнейшей проблеме создания „протонной пушки“ для бомбардировки ядер.

Особенно удивительно то обстоятельство, что, благодаря остроумной идее изобретателя, в этой установке (как впрочем и в первом приборе для тяжелых ионов) отпадают все трудности, связанные с получением и введением в вакуум высокого напряжения, в результате чего „протонная пушка“ Лауренса

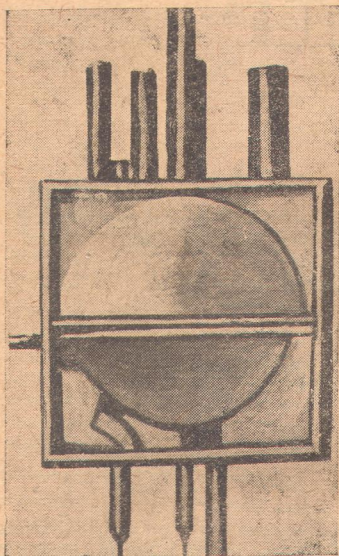


Рис. 58

осуществлена со сравнительно скромными лабораторными средствами и не отличается характерной для сверхвысоковольтных трубок громоздкостью (см. рис. 59, на котором представлен общий вид установки).

Наиболее ответственной и трудновыполнимой частью этой установки является огромный магнит (диаметр полюсных наконечников 28 см), который должен создавать чрезвычайно однородное магнитное поле внутри всего прибора, иначе правильность спирального полета протонов нарушится, они „сбьются с такта“ и не смогут попадать в зазор, где их „подхлестывает“ поле, в надлежащий момент, т. е. тогда, когда поле попутно и имеет максимальную величину.

Однако Лауренс и Ливингстон успешно разрешили задачу построения своего магнита и протонной пуш-

ки на 1 200 000 вольт. Мало того, в своей последней работе они пишут о том, что они приступили к постройке по тому же принципу прибора для получения протонов со скоростями до 25 000 000 вольт.

Для этой цели они строят чудовищный электромагнит с полюсными наконечниками диаметром в *сто четырнадцать сантиметров* и собираются заставить протоны сделать 250 полных оборотов, ускоряя их в 500 раз напряжением в 50 000 вольт. Эта грандиозная техническая задача вряд ли будет разрешена в течение ближайших двух лет; однако уже осуществленная Лауренсом „скромная“ протонная пушка на 1 200 000 вольт представляет собой ценнейшее орудие для исследования ядра.

Однако и прибор Лауренса обладает одним существенным недостатком, вследствие которого в настоящий момент первенство в деле исследования ядра осталось все же за высоко-

вольтной трубкой. Этот недостаток заключается в том, что в результате громадной длины пути, который пролетают в нем протоны (свыше 50 м), и величайшей чувствительности прибора к малейшим отклонениям от однородности магнитного поля (которое, конечно, не может быть сделано идеально однородным), только очень ничтожное число „счастливых“ протонов благополучно проходит свой спиральный „жизненный путь“, так что протонный ток, попадающий в отведенный к электрометру цилиндр С, Лауренсу при всех усилениях не удалось довести до величины, значительно превышающей одну миллиардную (10^{-9}) долю ампера.

Такой ток, правда, совсем не неизмеримо мал. Современная физика располагает приборами, позволяющими измерять токи еще в миллион раз меньше, однако, как мы увидим в дальнейшем, поток протонов, соответствующий току в миллиардную долю ампера, при котором в одну секунду на электрод падает свыше миллиарда протонов, еще не является ураганным огнем для разрушения ядер в количествах, достаточных для всестороннего исследования.

Вот этот единственный и вместе с тем чрезвычайно существенный недостаток методики Лауренса — недостаточная интенсивность протонного пучка — заставляет в настоящее время считать наиболее обещающим типом протонных пушек разрядные трубки, питаемые высоким напряжением, но, в отличие от рассмотренных нами импульсных и высокочастотных трубок, напряжением постоянным.

К описанию соответствующих установок и трубок мы и переходим, оговорившись, что нет ничего невероятного в том, что дальнейшее развитие и усовершенствование приборов типа Лауренса сможет снова и даже в ближайшем будущем изменить

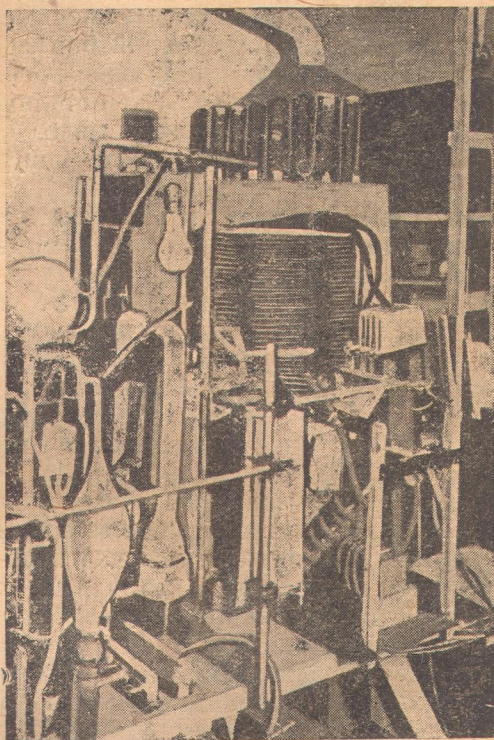


Рис. 59

соотношение сил в пользу „невысоковольтных трубок“, так как в них многие технические трудности разрешаются значительно остроумнее и проще, чем в трубках сверхвысоковольтных.

Лауренс осенью 1932 г., несмотря на малую силу протонного тока, получаемую в его разрядной трубке, все же добился расщепления ядер лития ударами быстрых протонов. Его результаты полностью подтверждают результаты исследований Кокрофта и Уолтона, которым впервые удалось наблюдать расщепление ядер при протонной бомбардировке. В опытах Лауренса для обнаружения продуктов распада лития служил счетчик частичек, так как для всех остальных методов количество распадающихся ядер слишком мало.

В СССР идею Лауренса (повторное ускорение протонов с заворотом в магнитном поле) использует группа исследователей, работающих в Государственном физико-техническом институте академика Иоффе (Ленинград). Ими уже сконструирован электромагнит с диаметром полюсных наконечников в 28 см, на котором предполагается получить протоны со скоростью 1,5 млн вольт, а Государственным радиевым институтом (также в Ленинграде) заказан большой электромагнит для получения протонов в 10 млн вольт.

Проблема создания источника очень высокого постоянного напряжения обладает некоторыми специфическими чертами, отличающими ее от задач, связанных со сконструированием высоковольтных установок переменного напряжения (высоко-частотных и технической частоты) и импульсных, о которых мы уже говорили. В то время, как получение переменного высокого напряжения принципиально чрезвычайно легко осуществимо с помощью повышающих трансформаторов, преобразующих ток большой силы и низкого напряжения в слабый ток высокого напряжения, и только при переходе к сверхвысоким напряжениям начинают возникать серьезные трудности, связанные с увеличением габаритов и стоимости установок, конструирование высоковольтной установки постоянного напряжения с самого начала встречает трудность, заключающуюся в отсутствии способа, позволяющего произвести подобное трансформирование постоянного тока. Поэтому в громадном большинстве установок постоянного тока высокого напряжения повышенное напряжение производится, как говорят, „на стороне переменного тока“, и только переменный ток высокого напряжения преобразуют (выпрямляют) в постоянный.

Таким образом, в высоковольтной установке постоянного напряжения приходится различать элементы, повышающие переменное напряжение, и элементы, преобразующие переменный ток высокого напряжения в постоянный.

Единственным и вместе с тем старейшим способом непосредственного получения постоянного тока высокого напря-

жения являются электростатические машины — прибор хорошо известный, несмотря на то, что вследствие своей малой мощности он не получил каких-либо серьезных технических применений. До последнего года об электростатических машинах как источнике сверхвысоких постоянных напряжений никто и не думал, так как существующие конструкции дисковых электростатических машин позволяли получать в лучшем случае напряжение около ста тысяч вольт при совершенно ничтожной мощности.

В связи с задачей построения источника постоянного напряжения для питания „протонных пушек“ заслуживает внимания изобретение молодого американского

физика ван-Граафа, которому удалось сконструировать электростатическую машину на полтора миллиона вольт, применив новый принцип, идея которого заключается в следующем. Хорошо известно, что, при прикосновении заряженного тела к внутренней поверхности пустотелого проводника весь заряд переходит на внешнюю поверхность последнего. Поэтому, подводя непрерывно заряд к

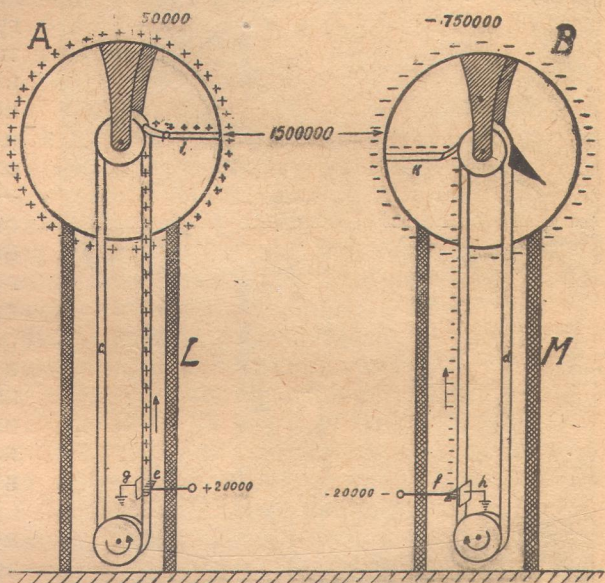


Рис. 60

какого-либо металлического тела, можно увеличивать накопленный на нем заряд до очень значительной величины, т. е. сильно повысить его потенциал. Дальнейшее повышение потенциала прекратится тогда, когда увеличивающиеся с повышением потенциала утечки уравновесят подток заряда. Следовательно, для осуществления электростатической машины по этому принципу необходимо разрешить следующие задачи: во-первых, обеспечить непрерывный подток заряда на внутреннюю поверхность электрода, во-вторых — свести до минимума всевозможные утечки, т. е. уменьшить проводимость опор, на которых покоится этот электрод, устранить для затруднения образования короны все неровности, острые углы на электроде и т. п.

Эти две задачи ван-Грааф остроумно разрешает в своей электростатической машине, схема которой изображена на рис. 60.

Два медных пустотелых, тщательно отполированных (во избежание преждевременного образования „короны“ — истечения с острий) шара *A* и *B* диаметром около 80 см смонтированы на пустотелых изолирующих колоннах *L* и *M*, внутри которых движутся две бесконечные шелковые ленты *c* и *d*, служащие транспортерами для электрических зарядов. Вблизи нижних ведущих

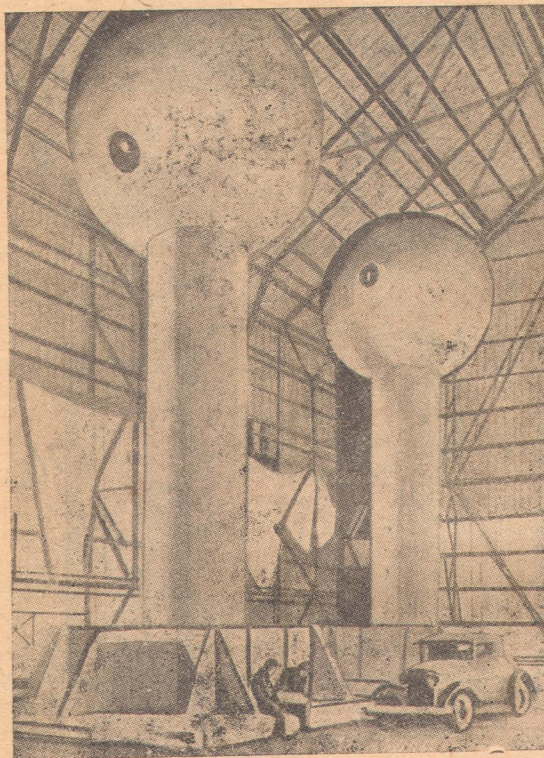


Рис. 60-а

валиков, вращаемых электромоторами, ленты проходят между отведенными к земле пластинками *g* и *h* и гребешками *e* и *f*, которые заряжаются от вспомогательных источников постоянного напряжения соответственно до $+$ и $-20\,000$ вольт. Заряд стекает с острий гребешков, заряжая поверхность лент, и вносится ими через прорезы внутрь шаров, где и снимается собирающими приспособлениями *i* и *k*,¹ переходя на внешнюю поверхность шаров.

При указанном размере шаров ван-Граафу удалось зарядить в отдельности каждый из них соответственно до $+$ и $-750\,000$ вольт. Дальнейшему приращению потенциала пре-

¹ На схеме собирающие приспособления *i* и *k* изображены в виде трущихся щеток. В действительности у ван-Граафа они выполнены несколько сложнее, но для уяснения действия установки это не играет роли.

Несмотря на крайнюю простоту, машина ван - Граафа, вопреки грандиозной шумихе, поднятой вокруг нее в американской прессе, в своем настоящем виде обладает громадным недостатком, который заключается в чрезвычайно малой величине тока, который может быть создан в трубке, питаемой от такой машины. В самом деле, как размеры, так и скорость движения ленты в этой машине не могут быть увеличены очень значительно, так что предельный ток, который можно надеяться получить с машины такого рода (значительная часть которого неизбежно будет расходоваться на всевозможные утечки, помимо протонного тока в трубке), вряд ли позволит осуществить достаточно интенсивную бомбардировку ядер протонами. В связи с этим наиболее обещающим методом создания постоянных сверхвысоких напряжений необходимо все же признать установки, основанные на выпрямлении переменного тока, к описанию которых мы и перейдем.

Установки постоянного высокого напряжения с кенотронами

В настоящее время получил широкое распространение целый ряд установок постоянного высокого напряжения, в которых в различных комбинациях встречаются три основных элемента: высоковольтные трансформаторы, конденсаторы и выпрямители, или вентили. В нашу задачу здесь не входит подробное рассмотрение различных типов подобных установок. Интересующихся можно отослать к специальным брошюрам,¹ здесь же мы остановимся только на одной схеме, предложенной еще в 1924 г. немецким электротехником Грейнахером, с помощью которой в 1932 г. впервые удалось разбить ряд легких ядер протонами, о чем будет идти речь в следующей главе.

В этой схеме в качестве выпрямителей служат кенотроны — пустотные приборы, устройство которых сводится к следующему. В стеклянном сосуде, из которого чрезвычайно тщательно откачан воздух, находятся два электрода. Один из них, так называемый анод, представляет собой пластинку или цилиндр из тугоплавкого металла; другой — катод — вольфрамовую проволочку, разогреваемую до весьма высокой температуры (свыше 2000°) электрическим током. Такого рода прибор, включенный в цепь переменного тока, будет пропускать ток только в одном направлении, а именно — от анода к катоду. В самом деле: сам по себе вакуум (пустое пространство внутри прибора) не проводит тока. Ток может переноситься только электронами, испускаемыми катодом.

Когда катод положителен, электроны не могут удалиться от него, так как будут притянуты электрическими силами. Напротив, в момент, когда положителен анод, а отрицателен катод, отри-

¹ Например: А. К. Вальтер — „Сверхвысокие напряжения“, ОНТВУ, 1932 г.

цательно заряженные электроны будут срываться с катода и нестись на анод, т. е. в приборе будет течь ток, за направление которого, как известно, принимают движение положительного электричества, т. е. навстречу потоку электронов (от анода к катоду).

Таким образом, кенотрон пропускает ток только в течение одной половины периода переменного тока (как говорят, одной полуволны), когда положителен анод, а отрицателен катод, и „запирает ток“ в течение другой полуволны.

Казалось бы, что задача преобразования переменного тока в постоянный, вернее в пульсирующий, прерывистый ток одного направления разрешается кенотроном на все сто процентов, однако это не совсем верно. В самом деле, в то время как кенотрон запирает ток, на него ложится полное напряжение, действующее в цепи. К сожалению, до сих пор не разрешена задача о построении кенотрона, который мог бы „запирать“ очень высокие напряжения. Предельное напряжение, которое может быть „заперто“ кенотронами технических типов, не превышает 220 000 вольт.¹ Больших напряжений кенотроны не выдерживают; в них обычно происходит пробой стеклянной стенки, образуется внутренний разряд, перекрытие по поверхности, словом, так или иначе, кенотроны при больших напряжениях выходят из строя. Поэтому для получения постоянного высокого напряжения, превышающего 220 000 вольт, нельзя непосредственно воспользоваться соответственным сверхвысоковольтным трансформатором и выпрямить его напряжение, пользуясь кенотроном, а приходится прибегать к так называемым „схемам умножения“.

Конденсаторно-
вентильные
схемы умноже-
ния

Схема простейшей конденсаторно - вентильной установки приведена в левой части рис. 61. Такая установка носит название удваивающей, так как на стороне выгрямленного тока получается двойное максимальное напряжение переменного тока.

Эта установка состоит из высоковольтного трансформатора T , двух конденсаторов C и C_1 и двух кенотронов K и K_1 .

Рассмотрим вначале основную часть схемы — цепь $a b c c_1 a_1 a$, состоящую из вторичной обмотки трансформатора, конденсатора C и кенотрона K . Один из концов обмотки a приключен к земле, следовательно, потенциал точки a все время равен нулю (см. кривую правой части рис. 61, где изменение потенциалов различных точек схемы представлено на графике). Трансформатор дает переменное напряжение, следовательно, потенциал другого конца его вторичной обмотки b меняется от $+V_0$ до $-V_0$ (см. на графике кривую 2). Далее, включен конденсатор C . В течение первой половины периода потенциал его нижней обкладки, соединенной с точкой b , возрастает от 0 до $+V_0$.

¹ Кокрофту и Уолтону, о работе которых речь будет идти ниже, удалось построить кенотрон на 400.000 вольт.

положительный заряд, поступающий на обкладку b , притягивает из проводника cc_1 отрицательный заряд на обкладку c , а освободившийся положительный заряд этого проводника не может уйти в землю, так как по дороге встречается кенотрон K , который не пропускает тока от катода к аноду. В результате этого обкладка c остается как бы отключенной от земли, и потенциал ее V_c растет вместе с потенциалом V_b .

По мере спада напряжения потенциала на трансформаторе разогнанные в разные концы проводника cc_1 заряды вновь соединяются и одновременно с V_b становится равным нулю и потенциал V_c . Совсем иначе обстоит дело, когда потенциал V_b становится отрицательным, падая до $-V_0$. В этом случае на обкладку c притягиваются положительные заряды, а отрицательные

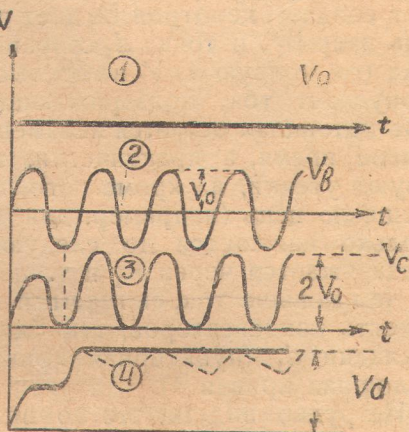
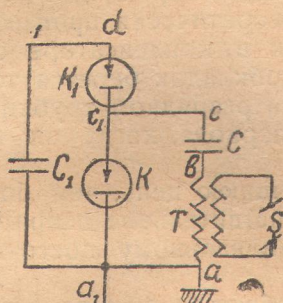


Рис. 61

свободно уходят в землю через кенотрон K , который пропускает ток от анода к катоду. Таким образом, обкладка c оказывается соединенной с землей, и ее потенциал остается равным 0, пока V_b продолжает уменьшаться. Как только, однако, потенциал V_b начинает увеличиваться, на обкладке c начинают освобождаться положительные заряды, но кенотрон уже не может пропустить ушедшие в землю отрицательные заряды, и потенциал V_c так же начинает расти. К тому времени, как V_b дорастет до нуля, V_c будет уже равно $+V_0$, а когда V_b , продолжая увеличиваться, достигает $+V_0$, то V_c достигает уже $+2V_0$. Таким образом, и в дальнейшем потенциал V_c будет все время на V_0 выше чем V_b , за счет того положительного заряда, который был пойман на проводнике cc_1 в течение второй половины периода с помощью кенотрона K . Следовательно, в то время, как V_b будет меняться в пределах от $-V_0$ до $+V_0$, V_c будет изменяться от 0 до $+2V_0$, т. е. никогда не станет отрицательным. Потенциал в точке c будет непостоянный, пульсирующий, но все-таки не будет менять знака. Таким образом, в этой части схемы, состоящей из трансформатора, конденсатора и кенотрона,

совершается одновременно выпрямление напряжения и его удвоение.

Для получения постоянного удвоенного напряжения остается только „выгладить“ пульсирующее напряжение точки c , превратив его из пульсирующего в постоянное. Для этой цели служит вторая часть схемы, цепь $C_1 d d_1 a$, содержащая еще один кенотрон K_1 и конденсатор C_1 . В действии этой части разобраться значительно легче: она представляет собой как бы удвошку для положительных зарядов. Кенотрон K_1 может пропускать ток только от c_1 к d ; следовательно, в течение первого полупериода он пропускает заряды, текущие на обкладку d_1 , в виду чего конденсатор C_1 заряжается до $+V_0$; однако, как только V_c начинает спадать, кенотрон не дает разряжаться конденсатору, „вентиль закрыт“, и точка d_1 сохраняет потенциал $+V_0$ до тех пор, пока (см. кривую 4) V_c не превысит $+V_0$. Тогда кенотрон опять пропускает ток, подзаряжающий конденсатор C_1 до $+2V_0$, и этот потенциал остается неизменным теоретически произвольно долгое время, а практически, так как в конденсаторе существуют утечки, а, кроме того, с его обкладок берется ток во внешнюю цепь (например, для питания разрядной трубки), несколько снижается до следующего периода, когда он вновь подзаряжается через K_1 и т. д. ¹⁾.

Чем меньше ток, снимаемый во внешнюю цепь, чем больше емкость конденсаторов, тем ближе действительное напряжение обкладки d_1 (пунктирная кривая) к идеальному постоянству (сплошная кривая 4).

Нетрудно видеть, что во время работы схемы на один из кенотронов K_1 ложится разность потенциалов, достигающая $2V_0$. В этом можно убедиться, вычисляя или строя разность потенциалов точек c и d с помощью кривых 3 и 4 (рис. 61). Следовательно максимальное постоянное напряжение, которое может быть получено от такой установки, ограничивается предельным рабочим напряжением кенотрона, составляющим около 220 000 вольт.

Однако, к счастью, такая схема таит в себе возможности дальнейшего повышения напряжения. В самом деле, пристроив такую же схему между точками c и d , между которыми, как нетрудно видеть из рис. 61, действует переменное напряжение, мы получим новую ячейку дающую $2V_0$, включенную последовательно с первой (рис. 62), другими словами, между точками a и f будем иметь постоянное напряжение, равное $4V_0$.

¹ Кривая (4) изображает потенциал точки d для того случая, когда емкость C_1 много меньше C . Если эти емкости примерно одинаковы, то напряжение будет возрастать от 0 до $+2V_0$ не за один период, а в течение нескольких периодов, лишь постепенно приближаясь к $2V_0$.

Например, при $C_1 = C$, в конце первого периода $V_d = 0,5 V_0$, в конце второго периода $V_d = V_0$, в конце третьего периода $V_d = 1,5 V_0$, в конце четвертого $V_d = 1,75 V_0$ и т. д.

Не разбирая в деталях действия этой установки, так как она совершенно аналогична схеме удвоения, можно указать, что подобным образом могут быть построены схемы, позволяющие произвести ушестерение, увосьмерение и т. д. максимального напряжения трансформатора. Вместе с тем нужно отметить, что увеличение напряжения установки путем добавления все новых и новых звеньев хотя и представляется весьма заманчивым способом получения сколь угодно высоких напряжений, на практике используется редко, так как с увеличением числа звеньев уменьшается тот ток, который можно снять с установки, не вызывая значительного падения напряжения. Много выгоднее повышать рабочее напряжение каждого звена, однако это увеличение связано с разработкой конструкции конденсаторов и кенотронов, которые должны выдерживать полное напряжение каждого звена, т. е. $2V_0$, где V_0 — максимальное напряжение трансформатора.

Успех Кокрофта и Уолтона, которые добились расщепления ядер ряда легких элементов с помощью протонов, ускоренных в разрядной трубке, питавшейся от схемы учетверения по Грейнахеру, обусловлен в значительной степени удачным разрешением проблемы построения кенотронов, свободно запирающих до 400 000 вольт.

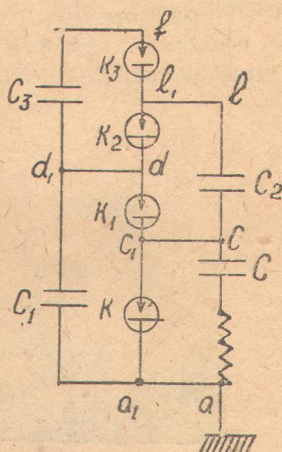


Рис. 62

УЧ. ЯДРА ПОД ОБСТРЕЛОМ ПРОТОНОВ

Опыты Кокрофта и Уолтона. Еще в 1929 г. в лаборатории Резерфорда в Кембридже, которая в течение многих лет являлась ведущей в вопросе исследования атомного ядра, были начаты опыты, конечной целью которых было исследование атомных ядер путем бомбардировки мощным пучком протонов, ускоренных в разрядной трубке, питающейся источником постоянного высокого напряжения. После ряда неудач и преодоления крупнейших технических затруднений в мае 1932 г. появилась короткая заметка, которая оповестила весь мир о грандиозной победе, одержанной молодыми учеными Кокрофтом и Уолтоном.

Им удалось установить „искусственный α -распад“ ядер лития¹ под действием протонной бомбардировки, т. е. впервые разрушить ядро протоном.

¹ Элемент литий, третий в периодической системе, принадлежит к немногим легким элементам, ядра которых не удалось разрушить бомбардировкой α -частицами.

К сожалению, объем книжки не позволяет остановиться на описании трудного пути, пройденного этими учеными, — пути необыкновенно поучительного и содержательного, на котором встречались, на первый взгляд, непреодолимые технические трудности, преодоленные однако неукротимой энергией и удивительной изобретательностью исследователей под руководством величайшего ядерного специалиста Резерфорда.

Перейдем прямо к описанию установки Кокрофта и Уолтона в ее окончательном виде, а затем к проведенным на ней, ставшим знаменитыми, опытам.



Рис. 63

Кенотроны Ко-
крофта и Уол-
тона

Решив воспользоваться в качестве источника постоянного напряжения умножающей установкой по принципу Грейнахера, Кокрофт и Уолтон,¹ располагая конденсаторами на 400 000 вольт, изготовленными по специальному заказу одной из германских

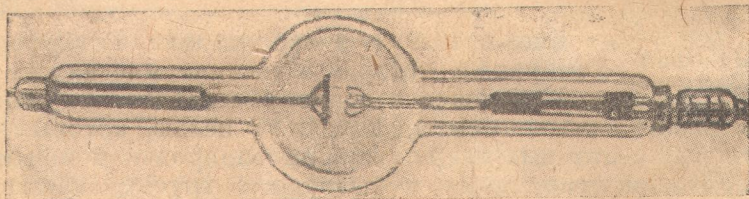


Рис. 64

фирм, решили довести рабочее напряжение кенотронов до 400 000 вольт, с тем чтобы получить постоянное напряжение до 800 000 вольт с установки, выполненной по схеме учетверения. В результате продолжительных опытов была разработана конструкция кенотронов, по своему техническому оформлению резко отличная от имеющих широкое распространение в лабораториях кенотронов

¹ На рис. 63 (слева направо) изображены Уолтон, Резерфорд и Кокрофт.

в виде тонкостенных стеклянных баллонов со впаянными в от-
ростки электродами (рис. 64).

Все четыре кенотрона в схеме (рис. 62) были соединены в
одну „кенотронную башню“, составленную из четырех толсто-
стенных стеклянных цилиндров, каждый длиной около 90 см и
диаметром в 35 см.

Между этими цилиндрами были проложены пластины из
луженого железа *A* (рис. 65) в форме квадратов со стороной

около 90 см; на этих пла-
стинах крепились внутри
трубы электроды *B*, кото-
рые, как и пластины, слу-
жили для создания воз-
можно более равномерного
падения потенциала вдоль
трубки. Верх и низ колон-
ны были накрыты солид-
ными металлическими пли-
тами. Электроды были из-
готовлены из тонкостен-
ной стальной трубы, и к
ним были приделаны тол-
стые кольца *C* из круглой
стали диаметром в $\frac{3}{4}$ дюй-
ма, которые служили для
предотвращения прежде-
временного разряда в кено-
тронах, вызванного „холод-
ным испусканием“. ¹ Эти
кольца перед установкой
в башню тщательно обез-
гаживались. Внутри элек-
тродов *B* находились воль-
фрамовые проволоочки в
форме буквы *V*, которые

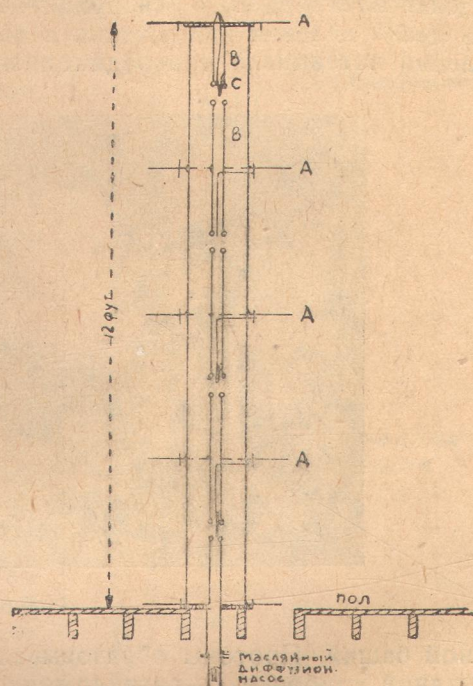


Рис. 65

могли накаливаться током, проходящим через пластины *A*, и
проводничок, пропущенный через небольшие отверстия, про-
сверленные в стенке цилиндров.

Эти катоды накачивались от шестивольтовых аккумулятор-
ных батарей, смонтированных в закругленные металлические
ящики, установленные на конденсаторах, которые имели форму
колонок (рис. 66).

Вся кенотронная колонна находилась под непрерывной от-
качкой с помощью мощного диффузионного насоса, который
для экономии места был расположен в нижнем этаже здания
(под колонной). Контрольные измерения напряжения, даваемого

¹ См. описание трубки Лауритсена в предыдущей главе.

установкой, производились с помощью шарового разрядника с шарами диаметром в 75 см, который можно видеть на том же рис. 66.

Трубка Трубка была смонтирована из двух стеклянных цилиндров, подобных тем, которые были использованы при построении кенотронной башни. Схематически ее разрез представлен на рис. 67. Между цилиндрами была помещена стальная пластина *A*, к которой внутри трубки был приделан электрод *B*, а снаружи — экран из листового металла, в целях деления напряжения и более равномерного распределения потенциала присоединенный к средней точке кенотрон-

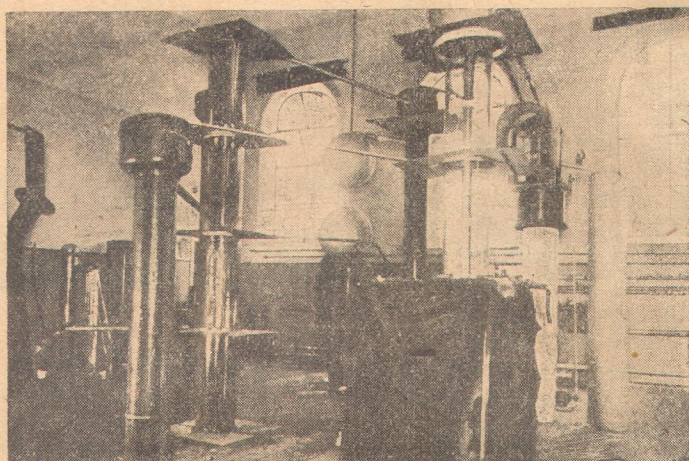


Рис. 66

ной башни. Протоны образовывались во вспомогательной разрядной трубочке *D*, расположенной сверху основной, „ускоряющей“ трубки. Для образования в *D* достаточно интенсивного разряда необходимо было, во-первых, приложить к этой трубке напряжение около сорока тысяч вольт, во-вторых — создать в ней давление водорода примерно около тысячной миллиметра, в то время, как в главной трубке должен быть возможно более совершенный вакуум для того, чтобы протоны могли свободно ускоряться, не растративая своей энергии на столкновения с атомами. Последнему условию удалось удовлетворить довольно легко, вставив на пути из вспомогательной в главную трубку узкий металлический канал.

Напуская через специальный вентиль в верхнюю трубку в небольшом количестве водород и в то же время с возможно большей мощностью откачивая главную трубку, Кокрофту и Уолтону довольно легко удалось создать надлежащие условия для интенсивного образования протонов в „верхнем отделении“

и достаточно беспрепятственного ускорения их в главной трубке.

Сложнее обстояло дело с питанием вспомогательной трубочки. Затруднение заключалось в том, что источник напряжения для нее сам должен находиться под полным напряжением установки, так как протонная трубочка присажена на высоковольтном конце трубки. Эта задача была разрешена следующим весьма остроумным способом.

Отдельная небольшая установочка, состоящая из трансформатора и кенотрона, была расположена на изоляционной колонне, рассчитанной на полное напряжение главной установки. Эта установочка питала трубку, в которой образовывались протоны, а ее трансформатор питался от специальной небольшой динамомашины, установленной на той же колонне; мотор же вращавший ее с помощью длинного ремня (тоже рассчитанного на полное напряжение установки), находился на полу и непосредственно включался в сеть. Общий вид установки представлен схематически на рис. 68, а ее фотография на рис. 66.

Образовавшиеся при разряде во вспомогательной трубке протоны проходят сквозь металлический канал, ведущий в главную трубку, и ускоряются там электрическим полем между верхним и средним, а затем между средним и нижним электродами, после чего через медную трубку диаметром около 7,5 см они попадают в нижнюю часть прибора, которая и может служить непосредственно для эксперимента. Измерения протонного тока, проникающего в нижнюю часть прибора, показали, что при данной конструкции трубки можно достигнуть протонного тока до одной сотысячной ампера (т. е. в десять тысяч раз большего чем, например, в установке Лауренса).

Попадание протонов в нижнюю часть можно заметить также, помещая внутри трубки экран из сернистого цинка или виллемита, светящийся под действием протонной бомбардировки.

Первый пуск такой установки требует довольно большого времени и тщательности. Как только к трубке прикладывается

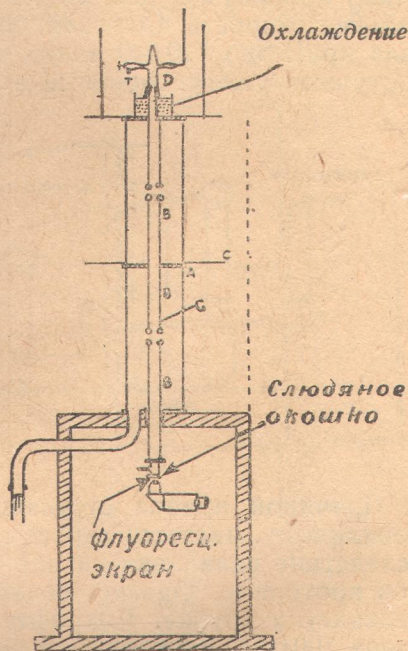


Рис. 67

напряжение, под действием электронной бомбардировки из металлических частей вырывается громадное количество газа. Прикладывая на несколько секунд все повышающееся напряжение, можно постепенно „оттренировать“ трубку. Эта операция для вновь собранной трубки продолжается полный день, но раз оттренированная трубка может быть пущена в ход не больше чем за полчаса.

Полное напряжение установки Кокрофту и Уолтону к трубке так и не удалось подвести, так как при 690 000 вольт неизменно пробивался нижний стеклянный цилиндр трубки. Максимальная скорость протонов, полученная при этом, соответствовала примерно 710 000 вольт, так как в главную трубку протоны поступают уже ускоренные в трубке *D*.

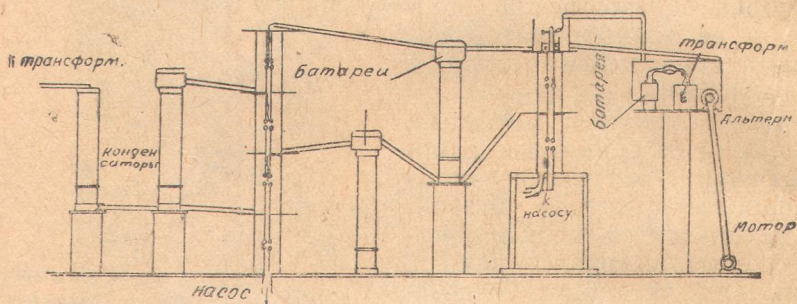


Рис. 68

Причиной пробоя стеклянного цилиндра основной трубки, повидимому, является зарядка внутренней стенки последнего вследствие налипания на нее электронов, выбитых из электродов протонами. Однако, несмотря на то, что напряжение, подведенное к трубке, Кокрофту и Уолтону не удалось поднять выше 700 000 вольт, все же они решили подвергнуть бомбардировке полученными протонами ряд легких элементов.

Исхода этих опытов можно было ожидать с некоторой надеждой, так как хотя и было известно, что α -частицы разрушают ядра, обладая скоростью, соответствующей не менее 3 млн вольт, однако, согласно теории Гамова, можно было рассчитывать, что частицы с вчетверо меньшей массой и вдвое меньшим зарядом смогут проникнуть внутрь ядра значительно легче, т. е. обладая меньшей энергией. Действительность не только подкрепила эти надежды, но разрушающая способность протонов оказалась превосходящей всякие ожидания.

Первым был подвергнут протонной бомбардировке литий. К нижнему концу медной 7,5-сантиметровой трубы, которой заканчивалась главная разрядная трубка, было прилеплено донышко, на котором с помощью пропущенного через него штифта укреплялся

Разрушение
ядер лития

экран, покрытый слоем лития А (рис. 69). Экран был поставлен под углом 45° к направлению падающих протонов, а в стенке трубки против него было проделано отверстие, заделанное тонкой слюдяной пластинкой В, на которой был нанесен слой сернистого цинка поверхностью внутрь трубки и которую можно было наблюдать в микроскоп. На пути между экраном и слоем сернистого цинка была помещена вторая следящая пластинка С толщиной около пяти тысячных миллиметра. Ее назначением было предохранить этот слой от попадания протонов, рассеянных при ударе об литий. Когда к трубке было приложено около 125 000 вольт, при протонном токе в одну миллионную ампера, в микроскоп стали наблюдаться яркие сцинтилляции примерно раз 5 в минуту. При выключении напряжения сцинтилляции исчезли. При дальнейшем увеличении подведенного к трубке напряжения их число резко увеличивалось.

По виду сцинтилляций можно было предположить, что причиной их являются удары α -частиц. Первое, что было проделано для изучения природы этих частиц, это измерение их пробега. Вставляя между литиевым экраном и слоем сернистого цинка листочки слюды, Кокрофт и Уолтон легко установили, что пробег α -частиц, вызывающих сцинтилляцию, в пересчете на воздух несколько превышает восемь сантиметров. Тем самым были устранены возможные подозрения в том, что причиной сцинтилляций могли бы быть рассеянные экраном протоны. При максимальной скорости протонов, достигнутой Кокрофтом и Уолтоном, их пробег в воздухе не превышал одного сантиметра.

В том, что ускоренные в трубке протоны не являются непосредственной причиной сцинтилляций, окончательно убедило то обстоятельство, что пробег вызывающих сцинтилляции частиц не зависит от напряжения, приложенного к трубке.

После этих опытов стало почти очевидным, что при бомбардировке лития протонами наблюдается выбивание α -частиц с громадной энергией, намного превышающей энергию падающих протонов. Однако, прежде чем сделать это решающее заключение, исследователи поставили еще два опыта, которые оконча-

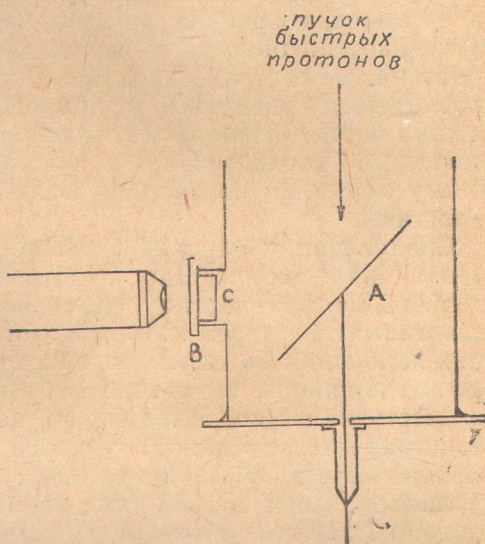


Рис. 69

тельно убедили в том, что причиной сцинцилляций являются α -частицы.

Прежде всего, вместо окошка с сернистым цинком, трубка была заделана чистой пластинкой и присоединена к камере Уильсона. Как только к трубке было приложено напряжение, в камере было замечено множество путей, по виду совершенно подобных путям α -частиц. После этого камера Уильсона была заменена ионизационной камерой с электрическим счетчиком, снабженным осциллографом,¹ так что попадание каждой частицы регистрировалось отбросом зеркальца, записанным на фотопленке. Величина отброса служит мерой заряда, перенесенного на внутренний электрод камеры, а, следовательно, и числа ионов, созданных на пути частицы внутри камеры. Ионизирующая способность α -частиц раза в четыре больше, чем у протонов, а, следовательно, по величине толчков можно было окончательно убедиться в природе вылетающих из бокового окошка частиц. Измерение толчков тока, зарегистрированных счетчиком, окончательно и бесповоротно решило вопрос в пользу α -частиц, подтвердив факт расщепления ядер лития на α -частицы.

Следующие измерения были посвящены выяснению вопроса о том, какое количество протонов приходится в среднем на одну выбитую α -частицу. Измеряя протонный ток с помощью гальванометра, через который отводился к земле заряд протонов, падающих на экран, и одновременно определяя число α -частиц, попавших в ионизационную камеру, с учетом того, какая часть α -частиц, выбитых во всевозможных направлениях, регистрируется счетчиком, удалось установить, что при скорости протонов в 500 000 вольт одна α -частица выбивается на сто миллионов, а при 250 000 даже на миллиард попавших на экран протонов. Таким образом, громадное большинство упавших протонов пропадает „впустую“, и только ничтожная часть вызывает расщепление ядра лития.

Однако, несмотря на то, что удачные попадания при бомбардировке протонами необычайно редки (значительно реже, чем при бомбардировке α -частицами), каждое такое удачное попадание интересно тем, что высвобождает огромную порцию внутриядерной энергии.

В самом деле, протоны в 125 000 вольт уже производят разрушение лития. Можно было думать, что это разрушение идет таким образом: литий с атомным весом 7 захватывает попавший в ядро протон, и вслед за тем образовавшееся неустойчивое ядро с атомным весом 8 разрывается на две α -частицы, разлетающиеся с громадной скоростью в противоположные стороны. Пробег α -частиц около 8,5 см, откуда можно оценить их

¹ О счетчиках α и H -частиц говорилось в главе четвертой.

энергию приблизительно в 8,6 млн вольт. Если предложенное представление о процессе распада ядра лития под ударом протона правильно, то две α -частицы, выброшенные из ядра, обладают вместе энергией в 17,2 млн вольт, от которой энергия падающего протона составляет менее одного процента.

С таким значительным „выигрышем“¹ энергии при разрушении ядер в проделанных до Кокрофта и Уолтона опытах по разрушению ядер α -бомбардировкой встречаться не приходилось.

При разрушении ядер алюминия ударами α -частиц, правда, также наблюдается некоторый выигрыш энергии, но он не превышает 10-15%, тогда как здесь мы имели выигрыш в 10 000%.

Вслед за опубликованием исследования Кокрофта и Уолтона в печати появилось несколько работ, сообщающих о дезинтеграции лития и других легких элементов ударами протонов. Среди этих статей, помимо работ Лауренса и Браша и Ланге, ценных своей методикой, описанной в начале настоящей главы, интересны исследования Олифанта (лаборатория Резерфорда) и Рауш фон Траубенберга (Германия). Оба исследователя пользовались значительно более мощным пучком протонов, обладающих значительно меньшими скоростями чем у Кокрофта и Уолтона. Так, Траубенберг наблюдал расщепление ядер лития протонами со скоростью всего 13 000 вольт.

Изложенное представление о процессе разрушения ядер лития протонами можно было проверить на основании следующих соображений. Масса ядра лития определена измерениями с помощью масс-спектрографа с большой степенью точности. Точно так же известны массы как протона, так и α -частиц. Таким образом, можно было проверить, составив суммарную массу частиц до (протон, литий) и после (α -частицы) столкновения, заметно ли уменьшение массы в результате освобождения внутриядерной энергии, и если да, то какому количеству освобожденной энергии это уменьшение соответствует. Этот подсчет был выполнен, и было показано, что, действительно, сумма атомных весов двух α -частиц примерно на 0,012—0,018 меньше суммы весов протона и ядра лития. Это уменьшение массы при превращении ядра лития и протона в две α -частицы соответствует выделению энергии в 12—17 млн вольт, что хорошо согласуется цифрой 17,2 млн, представляющей сумму энергий α -частиц, измеренных на опыте по длине пробега.

Однако исследователи поставили еще один опыт в подтверждение своих взглядов на процесс распада ядра лития при ударе протона. Идея его заключалась в следующем. Если при распаде ядра лития испускается одновременно две α -частицы, то поместив тончайший слой лития (который бы легко пропу-

¹ Выражение „выигрыш энергии“ не следует понимать как появление энергии из ничего. Как мы увидим в дальнейшем, выделение внутриатомной энергии сопровождается соответствующим изменением массы.

скал α -частицы) под углом в 45° к пучку протонов и наблюдая сцинтилляции в два микроскопа, расположенные по обе стороны от экрана, можно было бы ожидать большого количества одновременных сцинтилляций, вызванных ударом о сернистый цинк α -частиц, выброшенных из одного и того же ядра в противоположные стороны.

Опыт был поставлен таким образом (рис. 70). Два экспериментатора наблюдали, сцинтилляции в микроскопы А и В. У каждого из них было под рукой по телеграфному ключу, нажатием на который наблюдатель немедленно реагировал на появление каждой сцинтилляции. Нажатие каждого из ключей регистрировалось на движущейся бумажной ленте, рассматривая которую нетрудно было установить одновременность сцинтилляций. В камере, где находились наблюдатели, был установлен пищик, шум которого заглушал звук ключей, так что ни один из наблюдателей не мог ни слышать, ни видеть, когда дру-

гой заметил сцинтилляцию.

Таким образом возможность подсознательной "обработки" результатов во время самого опыта была полностью исключена.

Рассмотрение ленты с "записью" наблюдений обоих экспериментаторов показало значительное количество одновременных

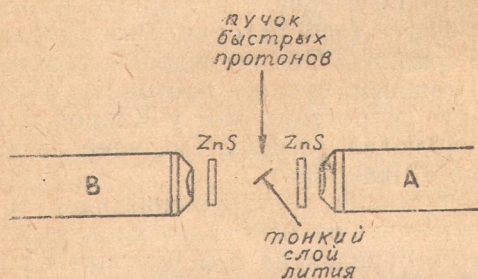


Рис. 70

сцинтилляций и притом чрезвычайно близкое к тому, которое можно было ожидать, учитывая не совсем симметричное расположение экранов с сернистым цинком, а также и то, что не все α -частицы, попадающие на них, вызывают сцинтилляции.

Этот опыт дал основательное подтверждение изложенному представлению о разрушении ядер, согласно которому распад сопровождается одновременным испусканием двух α -частиц со скоростями, одинаковыми по величине, но противоположными по направлению.

**Разрушение
ядер других
элементов**

Предварительные исследования были проделаны, кроме лития, еще для 16 других элементов. Для всех этих элементов (бериллий, бор, углерод, кислород, фтор, натрий, алюминий, калий, кальций, железо, кобальт, никкель, медь, серебро, свинец и уран) под действием протонной бомбардировки наблюдались на экране яркие сцинтилляции, повидимому вызванные выбрасыванием из ядер α -частиц под действием удара протона. Однако для лития, бора и фтора число частиц было чрезвычайно большим, для бериллия же, углерода, алюминия, кальция, кобальта, никкеля, меди, серебра и урана значительно меньшим, но все же

достаточно значительным; для натрия и свинца, а особенно для кислорода, калия и железа оно было настолько малым, что можно было заподозрить выбивание α -частиц из ядер не этих элементов, а каких-либо содержащихся в них в незначительных количествах примесей.¹

Для большинства из исследованных веществ были измерены пробеги α -частиц, по ним была вычислена энергия и полученная величина (для элементов, атомный вес которых известен достаточно точно) была сопоставлена с определенной из убыли массы. Во всех случаях этот подсчет давал хорошее совпадение вычисленных величин с наблюдаемыми, чем подтверждается правильность тех представлений о характере распада, о которых мы говорили выше.

Наибольший выход ядерной энергии был все же у лития. Пробеги частиц, выбитых из других ядер, значительно меньше, чем в случае лития, и не превышают 3,5 см.

Опубликованные результаты опытов Кокрофта и Уолтона над элементами, кроме лития, носят еще предварительный ориентировочный характер. На основании их еще нельзя строить обобщений или окончательных заключений о процессе распада ядер исследованных элементов. Однако при рассмотрении этих результатов невольно бросается в глаза то обстоятельство, что атомные веса для трех элементов: лития, бора и фтора, дающих наибольшие количества α -частиц при бомбардировке протонами, при делении на четыре дают в остатке три, в силу чего можно предположить, что их ядра состоят из α -частиц и трех „оставшихся за бортом“ протонов. Сравнение атомных весов с атомными номерами показывает, что кроме этих трех протонов остаются еще лишние, не вошедшие в число α -частиц, два электрона. Таким образом, представляется чрезвычайно вероятным, что влетевший в ядро протон дополняет „избыточные“ три протона и два электрона до α -частицы, которая и выбрасывается из ядра.

О том, как происходит разрушение ядер у атомов других типов, на основании имеющихся данных говорить пока нельзя. Позднейшие исследования Кокрофта и Уолтона, Лауренса, Рауш фон-Траубенберга и других исследователей показывают, что расщепление одних и тех же ядер протонами сопровождается испусканием нескольких групп α -частиц с разной энергией. Вероятно, избыток энергии, остающейся в ядре при вылете более медленной α -частицы, испускается в виде γ -лучей, наличие которых в случае расщепления лития уже доказано.

Все эти вопросы на-ряду с объяснением на первый взгляд чрезвычайно мало вероятного факта разрушения ядер с таким огромным зарядом, как у урана и свинца, ядер к которым, казалось бы, протон, обладающий „жалкой“ скоростью в пару

¹ В частности, испускание α -частиц ураном и свинцом под действием протонной бомбардировки, повидимому, объясняется примесью бора.

сотен тысяч вольт, не может и приблизиться, — должны быть разрешены дальнейшими исследованиями.

Опыты Кокрофта и Уолтона, которыми впервые установлен новый тип разрушения ядра (поглощение протона с испусканием α -частицы), обратный Резерфордскому захвату α -частицы с испусканием протона, открывают новую страницу в исследовании ядерной проблемы. Созданная ими протонная пушка показала, что для разрушения ряда ядер протонами достаточно неожиданно небольших напряжений, начиная с нескольких десятков тысяч вольт, напряжений, которыми располагает почти каждая физическая лаборатория.

Нельзя конечно думать, что этими опытами устраняется потребность в источниках более высоких напряжений для целей исследования ядер. Этих источников без сомнения потребует исследование ядер, не вошедших в список семнадцати, исследованных этими учеными и тех элементов (как кислород, железо и калий), в которых разрушения ядер протонами со скоростью до 700 000 вольт настолько редки, что появление сцинтилляций может быть объяснено наличием примесей. Словом, описанные опыты только открыли новую лазейку в тайники атомного ядра, дав в руки экспериментаторам новое мощное средство для его исследования. Многие проблемы стали значительно более доступными, многие загадки ждут своего разрешения. Новая победа Кавендишской лаборатории еще раз подчеркивает необходимость настойчивой работы в области исследования ядра, исследования, в котором шаг за шагом отвоевывает почетное место молодая советская лаборатория Украинского физико-технического института, о работе которой будет идти речь в следующей главе.

VIII. РАБОТА УФТИ В ОБЛАСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ЯДРА

УФТИ — институт молодой. 1 сентября 1930 г. Постановка задачи и метод работы была закончена внутренняя отделка здания, и институт вступил в свой пусковой период. Освоение помещения и установка оборудования была в основном закончена в течение первого полугодия работы. В это же время группа сотрудников УФТИ приступила к исследовательской работе в области ядра, начав с разработки метода образования частиц с помощью трансформатора Тесла. Эта группа образовала бригаду трансформатора Тесла. Через год, в сентябре 1931 г. группа работников высоковольтной лаборатории выросла в сильную научную бригаду и выдвинула в качестве основной темы своей дальнейшей работы исследование атомного ядра, — проблему, которая стала на протяжении последующего периода работы института и остается и по настоящее время одним из основных стержневых вопросов, разрабатываемых в институте.