

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.

Сознавая всю трудность и ответственность взятой задачи, УФТИ усилил качественно и количественно состав ядерных бригад, благодаря чему оказалось возможным вести работу сразу по нескольким направлениям, пользуясь различными методами ускорения ионов и разрабатывая различные типы разрядных трубок.

В результате ударной работы ядерная группа УФТИ (бригады трансформатора Тесла и высоковольтная) добились к осени 1932 г. крупных успехов в исследовании ядра, которые сводятся к овладению техникой построения источников высокого напряжения, введения его в вакуум и изучению результатов бомбардировки атомных ядер быстрыми протонами.

Создана техническая база, на основе которой представляется возможным развернуть широкое исследование физических свойств различных атомных ядер в масштабе, не уступающем передовым лабораториям Запада и Америки.

Нашей задачей является освещение основных этапов работы ядерных бригад УФТИ, подытоживание их успехов и неудач и, наконец, обсуждение тех перспектив, которые открываются на данном этапе работы.

Работа с импульсным генератором

Первой технической задачей, которую представлялось необходимым разрешить, было создание источника высокого напряжения для ускорения ионов. Наиболее простым путем для достижения весьма высоких напряжений, превышающих миллион вольт, является метод трансформатора Тесла и ударного генератора. Эти два пути и были выбраны работниками УФТИ. Работа с импульсным генератором, которой мы коснемся в первую очередь, отступая от исторической последовательности, в самом начале сводилась к изготовлению высоковольтных конденсаторов, которые являются основной частью ударной схемы.

После ряда предварительных опытов был построен импульсный генератор, общий вид которого изображен на рис. 71. Он представляет собою деревянную конструкцию, на которой установлены 36 конденсаторов.

Каждый конденсатор — лист стекла размером около 1 м^2 , толщиной от 2,5 до 3,5 мм, оклеенный с обеих сторон оловянной бумагой (станиолом). Конденсаторы включены параллельно через сопротивления, которые выполнены в виде стеклянных U-образных трубок, заполненных жидкостью подходящего сопротивления (различной крепости раствор медного купороса в дистиллированной воде). Меняя состав жидкости в трубках, можно было регулировать продолжительность удара напряжения в пределах от одной десяти тысячной до одной миллионной секунды. Между каждой парой конденсаторов были включены шаровые разрядники, расстояния которых можно было регулировать, изменяя таким образом величину напряжения в момент удара. Максимальное напряжение, при котором конденсаторы работали еще достаточно удовлетворительно, было около 40 000

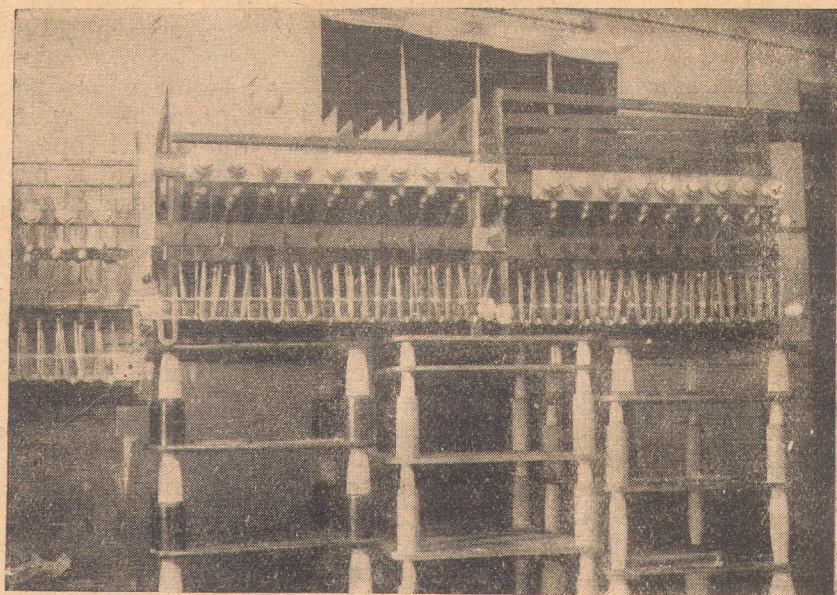


Рис. 71

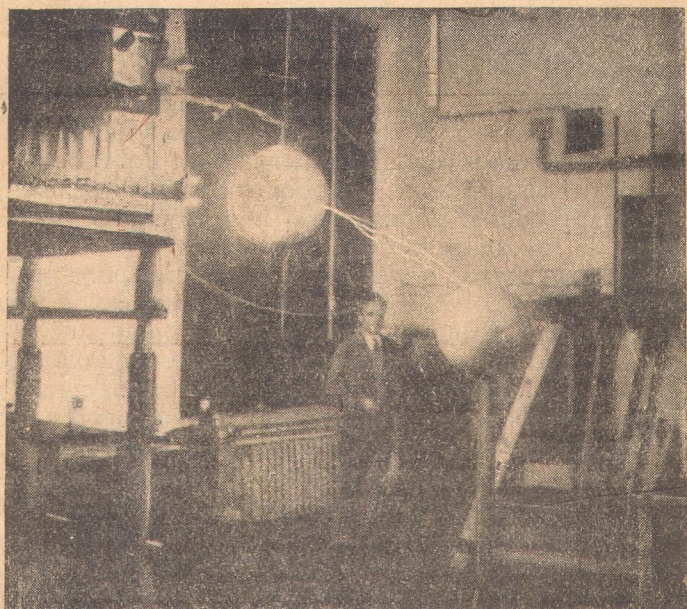


Рис. 72

вольт, благодаря чему в момент удара удавалось получить напряжение до полутора миллионов вольт. Напряжение при ударе измерялось с помощью шарового разрядника по длине искры между шарами диаметром около 50 см, которая при полутора миллионах вольт достигает примерно полутора метров (см. рис. 72). Несмотря на сравнительно малый запас энергии, накапливаемой перед ударом в генераторе (емкость каждого из стеклянных конденсаторов невелика: всего около сотой микрофарады), мощность, развиваемая при ударе, весьма значительна.

При длительности импульса около одной стотысячной секунды (нормальный режим работы генератора) она достигает двадцати тысяч киловатт, благодаря чему разряд между шарами происходит в виде чрезвычайно мощной искры и сопровождается оглушительным треском.

Разрядные трубки

После того как был построен генератор, пришлось перейти ко второй части задачи, оказавшейся значительно более трудной, — к построению соответствующей разрядной трубки. Как уже говорилось в главе шестой, основным затруднением при создании сверхвысоковольтных разрядных трубок является опасность электрического пробоя стенки трубки, и поэтому усилия работников высоковольтной группы УФИ были вначале направлены на создание трубки с возможно более прочными в электрическом отношении стенками. Не желая отказываться от стекла в качестве внутренней поверхности трубки, в виду того, что этот материал выделяет при откачке сравнительно мало газов, и, вместе с тем, не имея возможности изготовить достаточно толстостенную стеклянную трубку, пришлось стать на путь „натачивания“ трубки в ширину другими материалами. Так были созданы типы трубок,

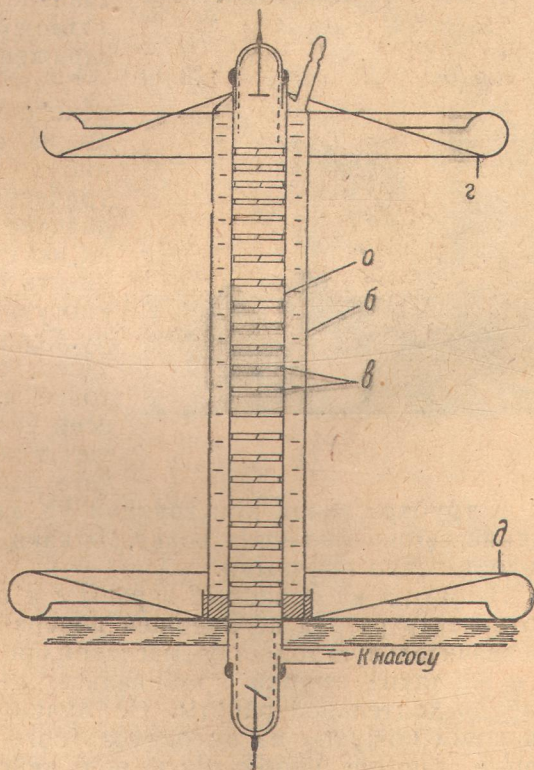


Рис. 73

приведенные на рис. 73, 74 и 75. Принцип этих трубок был в сущности одинаковым и достаточно ясно виден на рис. 73, где схематически представлен разрез трубки, фотография которой приведена на рис. 74.

Стекло́нная трубка *a* помещена в стеклянный же кожух *б*. Пространство между трубками (около 3 см) заполнено трансформаторным маслом. Таким образом, напряжение при работе трубки в случае зарядки ее стенок ложится на солидную толщину трансформаторного масла.

Назначение пружинящих никкелевых колец *в*, вставленных внутрь трубки, следующее: часть электронов и ионов, пролетающих сквозь длинную трубку *a* (длина свыше полутора метров), садится на ее стенки. При отсутствии колец *в* приставание зарядов к стенке трубки может „запереть трубку“, сделав невозможным пролет дальнейших заряженных частиц.

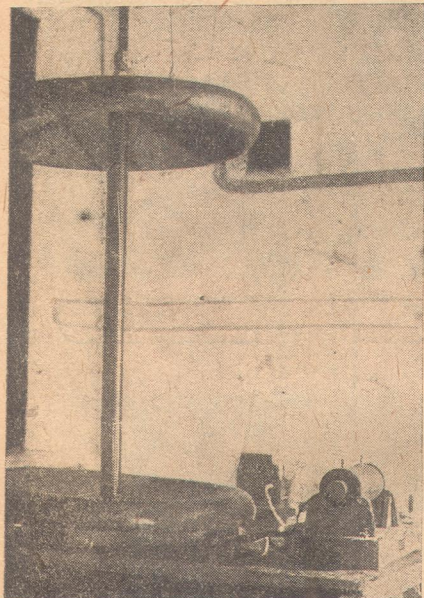


Рис. 74

Действительно, допустим, что некоторое количество ионов село на стенку трубки в какой-нибудь точке. Тем самым электрическое поле, которое было вначале направлено по оси трубки, исказится, ионы будут сворачивать со своего пути и уже не смогут пролететь всю ее длину. Если же вставлены кольца, то заряд,севший в какой-нибудь точке кольца, распределится по всей его поверхности и не окажет влияния на направление полета дальнейших ионов.

К трубкам такой конструкции удавалось приложить напряжение свыше миллиона вольт, однако они оказались все же недостаточно прочными.

Несмотря на охранные экраны *г* и *д*, имевшие целью предотвратить разряд по внешней поверхности трубки, несмотря на значительную толщину „масляной брони“, окружавшей трубки, все же такие трубки пробивались, не выдерживая сколько-нибудь длительной работы. Не лучше оказались и трубки с внешним кожухом из высоковольтного фарфора (рис. 75), которые так же пробивались под действием сокрушительных ударов полутора миллионов вольт.

В связи с этим был испробован еще один тип импульсной трубки, который явился последней попыткой сохранить вну-

треннюю часть трубки из стекла — последней данью традициям общепринятой вакуумной техники. Внутреннее устройство этой трубки, вернее колонны, вес которой достигал ста килограмм, представлен на рис. 76. Такого же типа стеклянная трубка с внутренними пружинящими кольцами была сердцем всего сооружения. Новостью явились металлические диски *в*, соединенные с кольцами *г* с помощью проволочек, впаянных в стенку трубки. Назначение их заключалось в том, чтобы предотвратить возможность пробоя стеклянной стенки, устранив самую причину этого пробоя. Ведь металлические диски *в* находятся на *внешней*, а кольца *г* на *внутренней* поверхностях трубки, а так как они соединены проводником, то разность потенциалов между точками внутренней и внешней поверхности могла выравниваться „мирным“ путем, не приводя к пробоям стенки.

Кроме того, стеклянная трубка *а* вместе с дисками *в* была заделана в массивное тело из компаунда (изоляционной смеси) канифоли, парафина, воска и льняного масла. Таким образом, толщина стенки была доведена почти до десяти сантиметров. В тело из компаунда были заложены изоляционные круги из проваренного в парафине картона, которые выступали в виде ребер из тела и удлиняли путь для разряда по внешней стенке трубки. Общий вид трубки с телом из компаунда изображен на рис. 77.

Казалось бы, что при подобной конструкции трубка является неуязвимой, и все же и этот тип не удовлетворил поставленному требованию. Пробои (правда, значительно реже) наблюдались и на такой трубке. Они были, по видимому, связаны с тем, что не удавалось достаточно хорошо отлить тело трубки, в котором при застывании наблюдалась усадка, сопровождавшаяся образованием трещин, пустот, короблением дисков и т. п. Кроме того, эта трубка фактически не могла быть ремонтируема, так как раз отформованное компаундное тело не удавалось вскрыть не разрушив внутреннюю стеклянную трубку.

Потерпев неудачу в построении трубки с внутреннейностью, выполненной в виде сплошного стеклянного цилиндра, бригада работников УФТИ была вынуждена перейти к другому типу трубки, конструкция которого была предложена Брашем и Ланге и в основных чертах описана в предыдущей главе (см. рис. 51). Стенка этой

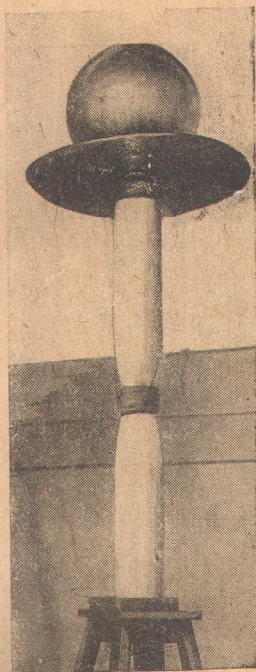


Рис. 75

Блиновидная
трубка

Потерпев неудачу в построении трубки с внутреннейностью, выполненной в виде сплошного стеклянного цилиндра, бригада работников УФТИ

была вынуждена перейти к другому типу трубки, конструкция которого была предложена Брашем и Ланге и в основных чертах описана в предыдущей главе (см. рис. 51). Стенка этой

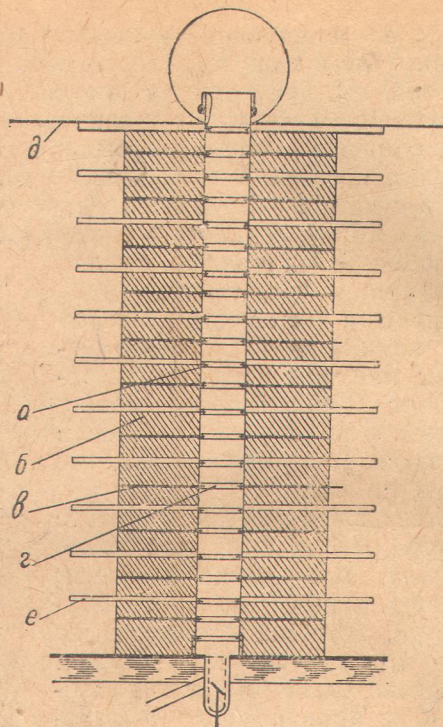


Рис. 76

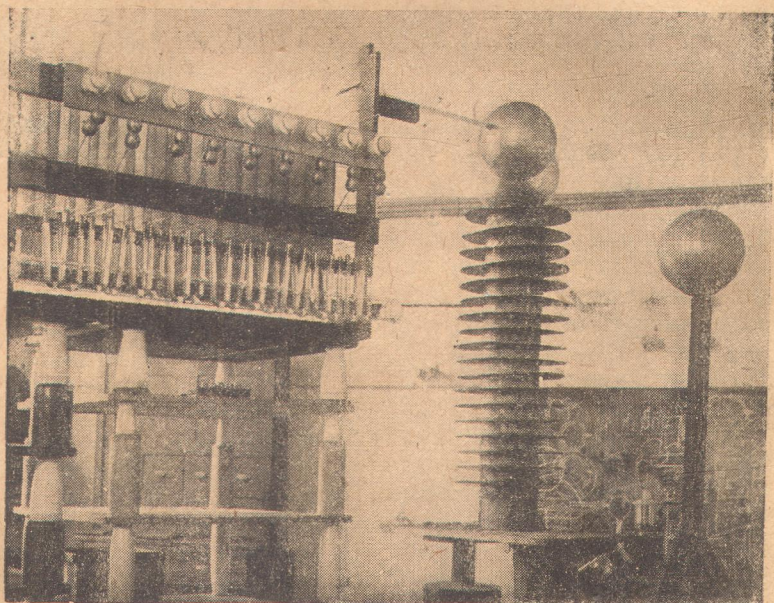


Рис. 77

трубки, состоящая из чередующихся шайб (блинов) из стекла, алюминия и резины (рис. 78), является практически непробиваемой, так как проложенные через каждые 5 мм. длины трубки металлические прослойки не допускают образования разности потенциалов между внешней и внутренней стенкой трубки и тем самым предотвращают возможность пробоя.

При осуществлении трубки потребовалось преодолеть большие трудности, связанные с тем, что стенка трубки должна быть совершенно непроницаемой для воздуха. Пришлось подобрать особый сорт резины, достаточно эластичный и обладающий гладкой поверхностью, которая была изготовлена по специальному заказу в ленинградском резиновом комбинате „Красный треугольник“. Поверхность отштампованных из этой резины колец смазывалась перед складыванием трубки специальной вакуумной замазкой. При откачке воздуха из внутренней полости трубки стопа шайб, составляющих стенку трубки, сдавливалась атмосферным давлением с силой около трехсот килограмм, благодаря чему, после ряда неудач, в трубке удалось достигнуть разрежения в несколько десятитысячных миллиметра ртутного столба.

Изготовленная таким образом из ста шестидесяти комплектов колец стекло-резина-алюминий-резина, трубка длиной около 120 см представлена на рис. 79.

Эта трубка длительно работала при напряжениях от миллиона до полутора миллионов вольт, при чем не наблюдалось ни одного случая пробоя стенки. Ряд опытов, произведенных с помощью этой трубки, будет описан несколько ниже. Однако в дальнейшем пришлось отказаться от работы с нею и построить другую трубку, основанную на том же принципе, но несколько отличающуюся по конструктивному исполнению.

Оказалось, что отдельные комплекты дисков, из которых была построена трубка, с течением времени медленно скользят друг по другу, при чем трубка постепенно изменяет свою первоначальную форму, искривляется, а стеклянные диски вследствие неравномерной нагрузки начинают трескаться.

Поэтому вторая блиновидная трубка была сделана более жесткой. Изолирующие диски (на этот раз из эбонита) были



Рис. 78

переслоены алюминиевыми, как и в первой блиновидной трубке, однако они не переслаивались шайбами из резины, а склеивались особой массой, компаундом, под названием чаттертона, который применяется в электротехнике для изоляционных целей. Этот компаунд, достаточно жидкий в горячем виде, при охлаждении застывает, так что эта трубка уже не изменяла своей формы с

течением времени и оказалась более пригодной, чем первая конструкция со стеклянными дисками.

После опыты с импульсными трубками было выяснено,

что разрядные трубки блиновидного типа выдерживают приложенные к ним удары высокого (до 1,5 млн. напряжения, перешли к опытам с ускорением в этих трубках заряженных частиц. Прежде всего была поставлена серия опытов с быстрыми электронами. Для этого к верхней плите трубки прикладывалось ударное напряжение отрицательного знака, так что электроны ускорялись в трубке по направлению сверху

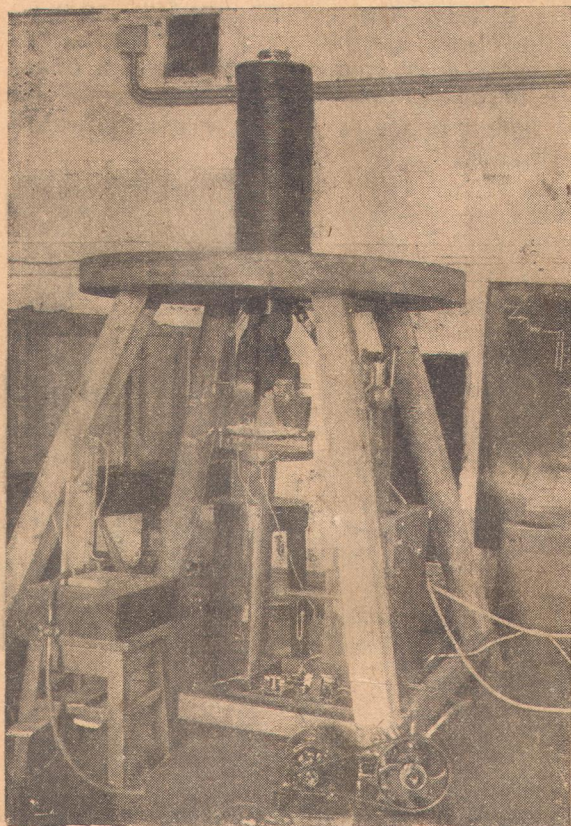


Рис. 79

вниз. На своем пути они встречали металлическую пластинку, которой был закрыт флянец массивного медного круга, на котором крепилась вся стопа дисков. При своем торможении в массивном металле электроны теряют свою энергию, которая частично выделяется в виде тепла в пластинке, а частью излучается в виде рентгеновых лучей. При бомбардировке столь быстрыми электронами поверхность пластинки своеобразно разрушается.

Электроны, проникая в металл довольно глубоко (на несколько десятых миллиметра), теряют значительное количество

своей энергии, вызывая местный разогрев, в результате которого металл в очень небольшой области испаряется, что сопровождается образованием пузырьков, которые иногда разрываются внутрь трубки. При этом на поверхности металла, подвергнутого электрической бомбардировке, образуются небольшие углубления, окруженные разорванным краем.

Рентгеновы лучи, испусканием которых сопровождается торможение электронов в металлической крышке, при скоростях электронов, измеряемых полутора миллионами вольт, обладают очень малой длиной волны, а следовательно, громадной проникающей способностью. Они свободно проникают сквозь слой свинца толщиной в несколько сантиметров, в то время как надежной защитой от лучей обычных рентгеновских трубок, применяемых в медицине, а также для исследования металлов в заводских лабораториях считаются свинцовые экраны, толщина которых не превышает пяти—шести миллиметров.

Электроны, ускоренные в разрядной трубке, могут быть выпущены в атмосферу через окошко в металлической пластинке, закрывающей нижний фланец трубки. Это окошко, разумеется, было закрыто более тонким слоем металла (обычно применялась алюминиевая фольга толщиной в 0,01 мм). Мощный пучок электронов, вырывающийся из такого окошка, довольно быстро рассеивается в воздухе в результате столкновения электронов с электронными оболочками атомов атмосферных газов. В силу этого свечение экрана, покрытого платино-синеродистым барием, вызываемое ударами быстрых электронов, довольно быстро ослабевает по мере удаления от окошка; однако с уверенностью можно сказать, что пробег электронов (при напряжении в 1,5 млн вольт) превышает полтора метра. Даже в твердой среде пробег этих электронов довольно значителен, достигая, например, для алюминия приблизительно полутора миллиметров.

В некоторых твердых материалах быстрые электроны вызывают кратковременные или длительные изменения строения, обычно сопровождаемые ярким свечением. Так, например, известковый шпат (углекислый кальций) светится кроваво-красным светом, притом не только в момент электронной бомбардировки, но и в течение нескольких минут по ее окончании. Кристаллы поваренной соли, в которые электроны проникали на глубину около одного миллиметра, в момент бомбардировки испускают яркое зеленоватое свечение, а в слое, куда проникают электроны, наблюдается изменение окраски, сохраняющееся (при хранении кристаллов в темноте) в течение нескольких месяцев. Окраска, при небольшой длительности электронной бомбардировки (в наших условиях 5—10 ударов напряжения) — лимонно-желтая, при дальнейшей бомбардировке темнеет, достигая буро-коричневого оттенка. Изменение цвета каменной соли объясняется выделением внутри нее металлического натрия.

Однако, все описанные действия, оказываемые быстрыми электронами на атомы, сводятся к различным изменениям, происходящим в их электронных оболочках, нас же интересует действие быстрых частиц на ядро. В этом направлении и продолжались опыты с импульсными трубками. В первую очередь необходимо было установить, какую энергию в действительности приобретают электроны в разрядной трубке.

Для этой цели вместо пластинки с окошком, которой закрывалась нижняя часть трубки в описанных выше опытах, устанавливался приборчик, схема которого представлена на рис 80. Толстенная плоская латунная коробка *A*, соединенная с разряд-

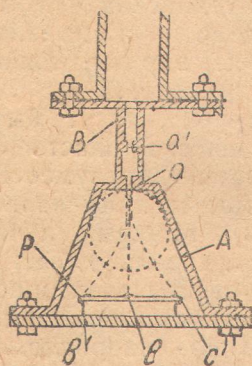


Рис. 80

ной трубкой фланцем, сообщалась с внутренностью ее трубочки *B*, в которой были установлены две металлических пробочки *a* и *a'* с просверленным вдоль оси узким каналом. На дне коробки устанавливалась фотопластинка *P*. Узкий пучок электронов, выделенный каналами *a* и *a'*, попадал на фотопластинку, на которой после проявления обозначалось резко очерченное пятнышко в точке *b*. Для определения скорости электронов приборчик помещался между полюсами электромагнита (положение полюсов электромагнита на рисунке отмечено пунктирным кружком). В этом случае электроны, влетев в камеру *A*, отклонялись от своего первоначального направления, попадая (в зависимости от направления поля между полюсами магнита) либо в *b'*, либо в *c'*. Проявив такую пластинку, можно было, измерив на ней расстояние между неотклоненным пятнышком и отклоненным и зная величину магнитного поля, вычислить, что наиболее быстрые электроны вылетают из трубки, обладая энергией, соответствующей 1350 000 вольт.

После этого необходимо было перейти к ускорению положительных ионов и в первую очередь — ионов водорода (протонов).

Однако эта задача оказалась значительно более трудной. Был испробован целый ряд способов: в трубку вводили в небольших количествах чистый водород, светильный газ, состоящий из богатых водородом углеводородов, водяной пар, спирт и т. д. Тем не менее все эти попытки не дали достаточного эффекта. Число образующихся в трубке водородных ионов оказывалось малым, а при тех условиях, когда количество ионов достигало более или менее значительной величины, им не удавалось сообщить полную скорость, так как, вследствие малой мощности установки при интенсивном разряде в трубке продолжительность удара оказывалась слишком малой (конденсаторы импульсного генератора разряжались слишком быстро).

Это обстоятельство определило дальнейший ход работ. Бригада стала форсированным темпом разрабатывать другие методы ускорения ионов—метод постоянного напряжения и трансформатора Тесла, о чем сказано ниже; с другой стороны, было решено все же использовать опыт, полученный при работе с импульсным генератором в части конструирования высоковольтных конденсаторов, представляющих основное звено как в установках постоянного напряжения, так и в схемах Тесла.

Описанные выше опыты показали с достаточной очевидностью, что конденсаторы из стеклянных листов являются совершенно неудовлетворительными вследствие своей малой емкости, значительным утечкам, громоздкости и хрупкости. Поэтому от применения стеклянных конденсаторов пришлось отказаться и разработать новый, более компактный тип конденсатора.

После ряда предварительных опытов был выбран тип конденсатора с изоляцией из промасленной бумаги. Такой конденсатор представляет собой стопу бумажных листов, переслоенную через каждые полтора миллиметра листом металлической фольги. Весь конденсатор стянут болтами между solidными железными плитами и наглухо закрыт в железной бачке, залитом тщательно очищенным и просушенным трансформаторным маслом.

В изготовлении такого конденсатора самой сложной задачей является удаление из бумаги воды (которой даже в „сухой“ на вид бумаге содержится свыше 5%) и заполнение всех пор бумаги маслом. Для этой цели собранный в бачке конденсатор подвергается длительной (около 5 суток) сушке под непрерывной

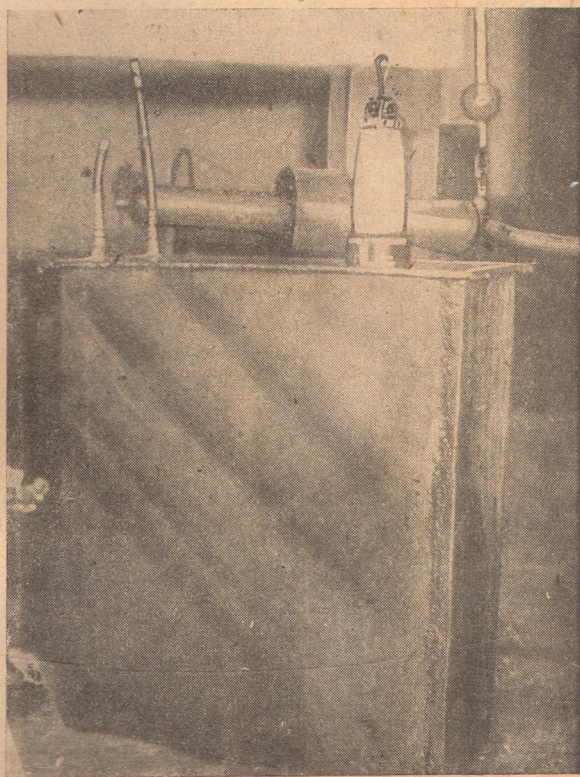


Рис. 81

откачкой с помощью мощного воздушного насоса, который высасывает испаряющуюся влагу. После того, как прекращается выделение воды, бачок заливается горячим маслом и выдерживается еще в течение двух суток при нагреве и откачке, для того чтобы масло полностью заполнило поры в бумаге. Готовый конденсатор представлен на рис 81. Такой конденсатор испытывается постоянным напряжением в 80 000 вольт и может работать при напряжениях в 45 000 вольт.

По своей емкости он соответствует 35 стеклянным листам, т. е. дает приблизительно двадцатипятикратный выигрыш места при монтаже установки.

В настоящее время в УФТИ производятся такого рода конденсаторы, предназначенные для сборки большой установки постоянного напряжения на 2,5 млн вольт и для применения в схемах с трансформатором Тесла, к описанию которых мы и переходим.

В главе шестой был описан ряд работ американских ученых, пытавшихся применить для исследования ядра заряженные частицы, ускоренные с помощью трансформатора Тесла. Там же говорилось о принципе действия этой высоковольтной установки

Работы с трансформатором Тесла

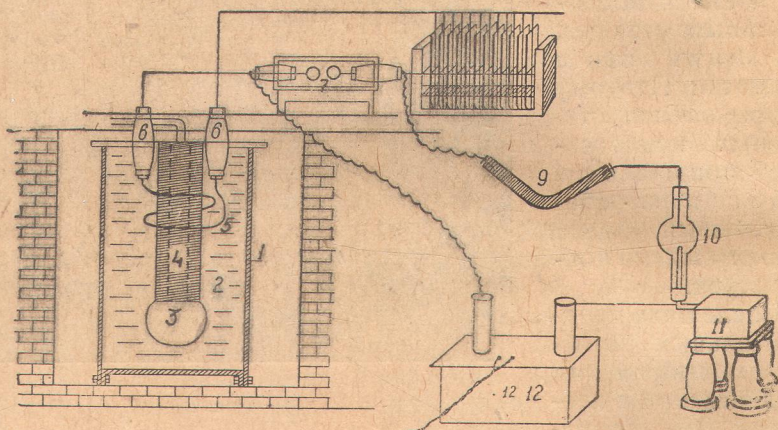


Рис. 82

Результаты американцев не особенно обнадеживали в успехе. Несмотря на то, что Брейту удалось получить на трансформаторе, погруженном в масло, напряжения около пяти миллионов вольт, — эти громадные напряжения не удавалось использовать, так как при построении соответствующей разрядной трубки встретился ряд технических трудностей. Однако бригада трансформатора Тесла не отступила перед этими трудностями, оценив его преимущества перед другими источниками напряжения (компактность, дешевизна, простота монтажа).

Построение самой высоковольтной установки не представило особенных затруднений. После нескольких предварительных опытов было установлено, что основным затруднением при получении весьма высоких напряжений на трансформаторе Тесла является возникновение разряда между отдельными витками вторичной обмотки, между первичной обмоткой и вторичной, в результате которого не удавалось значительно повысить напряжение. Попытки заделать вторичную обмотку в твердую изолирующую оболочку, залив ее в парафин или какой-либо иной изолирующий сплав, не привели к цели. Относительно удачно

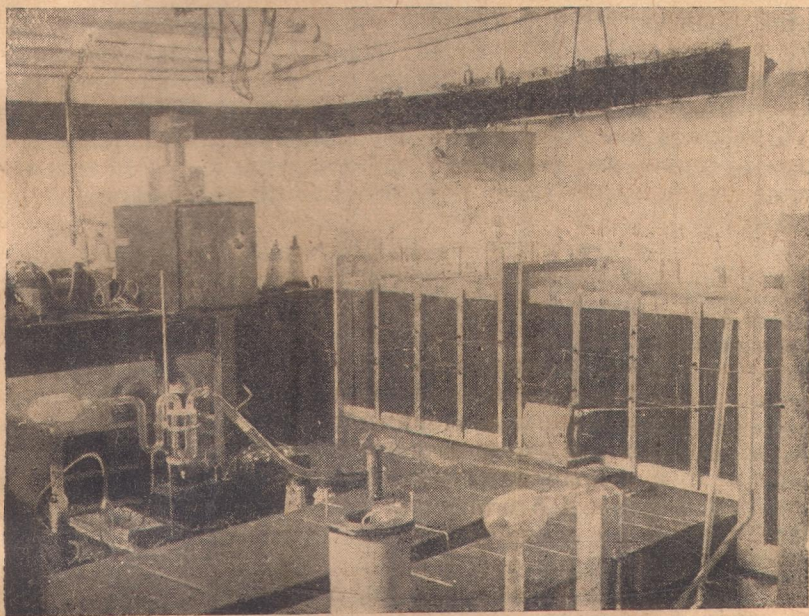


Рис. 83

вопрос с изоляцией вторичной обмотки удалось разрешить, построив трансформатор Тесла в масле.

Основные особенности конструкции трансформатора и размещение схемы показано на рис. 82 и 83.

В целях экономии места трансформатор был расположен в специальном колодце в полу подвального помещения. Весь трансформатор крепится на крышке цилиндрического изолирующего бака, заполненного тщательно просушенным трансформаторным маслом 2.

Вторичная обмотка трансформатора навита на изолирующем цилиндре 4 диаметром около 20 см и заканчивается металлическим шаром 3, для предотвращения преждевременного разряда с тонких проводников вторичной обмотки. Первичная обмотка 5, состоящая

всего из нескольких витков медной ленты, крепится на проходных изоляторах 6, укрепленных в крышке бака. В цепь первичной обмотки включен искровой разрядник 7, заключенный в обитую войлоком коробочку, заглушающую треск разряда, и конденсаторная батарея 8. Параллельно искровому разряднику через водяное сопротивление 9 подключена питающая установка постоянного напряжения, состоящая из высоковольтного трансформатора 12 и кенотрона 10, катод которого накаливается изолированной от земли батареей аккумуляторов 11.

Перепробовав ряд типов вторичной обмотки, отличающихся своими размерами, сечением и изоляцией провода, работники группы трансформатора Тесла довели его напряжение до двух с половиной миллионов вольт. Дальнейшему повышению напряжения препятствует образование разряда снаружки бака, против конца вторичной обмотки. Некоторое представление о характере этого разряда дает рис. 84, на котором изображен бак с трансформатором и наблюдатель, расположенный на специальном обитом свинцом мостике, перекинутом над колодцем с трансформатором.

Конструкция
трубок, питае-
мых от транс-
форматора
Тесла

Напряжение в 2,5 млн вольт, которого удалось достигнуть с трансформатором Тесла, не является пределом. Дальнейшего повышения можно достигнуть, как показали описанные в главе шестой опыты американских ученых во главе с Брейтом, применяя в качестве изоляции трансформаторное масло при повышенном давлении. Можно ожидать также хороших результатов и от трансформатора Тесла в сжатом газе. Опыты в этом направлении ведутся в УФИИ. Однако полученного напряжения в 2,5 млн вольт было вполне достаточно для начала опытов по ускорению ионов в разрядных трубках, питаемых от трансформатора Тесла.

Построение разрядной трубки, питаемой от высокочастотного трансформатора, оказалось чрезвычайно трудным; если число трубок различных конструкций, которые были испытаны на работе от импульсного генератора, исчисляется примерно двумя десятками, то число трубок для трансформатора Тесла превысило 100. Основным затруднением при построении этих трубок является необходимость придать трубке возможно большую компактность — требование, которое не предъявлялось к импульсным трубкам; далее — к высокочастотным трубкам ставились значительно более высокие требования по отношению к достигаемому в них разрежению, ибо мощность, выделяемая при работе трансформатора Тесла, значительно меньше, чем мощность в разряде импульсного генератора.

Уже на основании опытов американцев можно было думать, что наиболее трудной задачей является создание равномерного распределения потенциала вдоль трубки при ее работе, — задача, которую они тщетно пытались разрешить для трубки, располо-

женной вне трансформатора. Эта проблема сильно упрощается для трубки, расположенной внутри вторичной обмотки трансформатора, и этот тип и был принят за основу при разработке конструкций соответствующих трубок в УФТИ.

Объем книжки, к сожалению, не позволяет остановиться на описании конструкций всех типов трубок, испытанных на работе от трансформатора Тесла. Путь, пройденный в этом направлении работниками УФТИ, был очень „тернистым“. В каждую трубку было вложено громадное количество изобретательности и труда, а в большинстве случаев эти трубки гибли при первом испытании. В течение ничтожных долей секунды гибли результаты многих дней упорной и кропотливой работы. Однако они пропадали не безрезультатно, каждая новая конструкция приобщала крупицу опыта, и следующая трубка была совершеннее предыдущей.

В результате упорной систематической работы к осени 1932 г. была создана трубка, систематически выдерживавшая напряжения до 1,7 млн вольт, с помощью которой удалось наблюдать искусственное расщепление ядер при протонной бомбардировке.

Основные типы конструкций трубок, питаемых трансформатором Тесла, испробованные



Рис. 84

на работе от трансформатора Тесла, представлены на рис. 85-а, 85-б и 85-в. В основе их лежит общая идея: трубка должна находиться *внутри* трансформатора. Это требование было выдержано во всех без исключения испробованных конструкциях и является основным отличием от трубок, применявшихся без особого успеха Брейтом и другими (см. главу шестую). Размещение трубки внутри трансформатора, наряду со значительным выигрышем в компактности установки, имеет еще следующее преимущество: распределение потенциала вдоль трубки задается принудительно, благодаря чему ослабляется возможность местных перенапряжений, разрядов вдоль трубки снаружи и изнутри, пробоев стенок и т. д.

Первоначальная конструкция трубок, схематически изображенная на рис. 85-а, представляет собой тонкостенный стеклян-

ный цилиндрический сосуд, на который непосредственно навивается вторичная обмотка трансформатора. Внутри трубки, на расстоянии в 5-10 см друг от друга вставляются пружинящие кольца из никелевой жести. Эти кольца непременно должны быть разрезаны, в противном случае они будут представлять собой короткозамкнутые витки, помещенные в магнитное поле трансформатора, в них будет бесполезно затрачиваться подводенная в первичную обмотку трансформатора энергия, что вызовет нагревание и не даст возможности повысить напряжение на вторичной обмотке. Кольца через впаи в стенке трубки присоединяются к соответственным точкам вторичной обмотки, концы которой присоединены к электродам, впаянным по концам трубки.

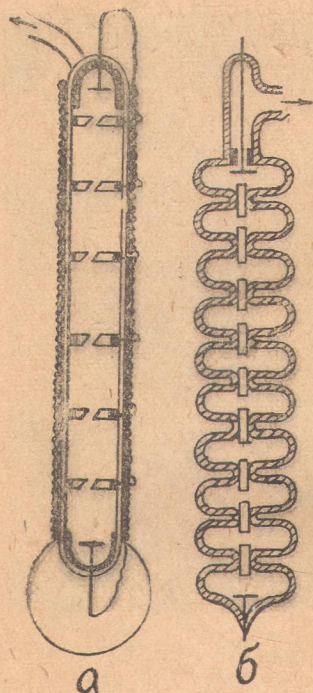


Рис. 85-а

Рис. 85-б

Назначение колец сводилось к созданию равномерного падения потенциала внутри трубки. Однако, несмотря на наличие указанных колец, в этой конструкции трубки избежать пробоя стенок не удалось. Накапливающиеся на внутренней поверхности стекла заряды создают значительную разность потенциалов на стеклянной стенке, вследствие которой и происходит ее пробой.

С целью предотвратить возможность такого пробоя была создана „ребристая трубка“, схематический разрез которой представлен на рис. 85-б. Такая трубка представляет собой ряд чечевицеобразных утолщений, чередующихся с перетяжками, внутри которых по оси трубки устанавливались небольшие никелевые цилиндрики. Благодаря указанной форме попадания зарядов на внутренние стенки трубки сильно затруднено. Вторичная обмотка трансформатора навивается не на самую трубку, а на изолирующий цилиндр, окружающий трубку, на некотором расстоянии от ее поверхности. Изготовление такого прибора требует высокой стеклотрувной техники.

Большинство трубок этого типа разрушалось действием атмосферного давления, так как сопротивляемость трубки такой формы внешнему давлению значительно меньше, чем цилиндрической или шарообразной.

Однако и те трубки, которые не были раздавлены при откачке, не дали хороших результатов при испытании на трансформаторе. Вместе с тем ребристая трубка послужила переходом к той конструкции, которая, наконец, привела к положительным

результатам. Схематически эта разрядная трубка представлена на рис. 85-в. Отличительной ее чертой является то, что стеклянный сосуд не представляет собой одного целого, а собран из отдельных цилиндрических элементов. Большую помощь в изготовлении указанного прибора оказал Мерефянский стекольный завод, на котором были изготовлены секции разрядной трубки из специального стекла „пайрекс“, отличающегося прекрасными изоляционными свойствами и не лопающегося даже при очень резких изменениях температуры. Отдельные секции склеивались между собой специальным клеящим составом, не растворяющимся в трансформаторном масле. В донышках каждой из секций были отверстия, в которые при сборке трубки вставлялись никкелевые цилиндрики, образующие канал, в котором ускорялись заряженные частицы. Таким образом, получалась *толстостенная* разрядная трубка, в которой было почти полностью предотвращено попадание заряженных частиц на внутреннюю стенку.

Вся трубка помещалась внутрь вторичной обмотки трансформатора, в пространство, заполненное трансформаторным маслом. Одним концом трубка прочно приделывалась к массивной крышке, которой был прикрыт трансформатор, другой присоединялась к металлическому шару, которым, с целью устранения потерь на истечение (корону), заканчивался конец вторичной обмотки трансформатора. Рядом испытаний было установлено, что эта конструкция трубки является весьма удачной.

Действительно, при достаточно тщательной сборке и хорошем качестве стеклянных элементов такого рода трубка выдерживает без пробоя стенок напряжения до 1,7 млн вольт.

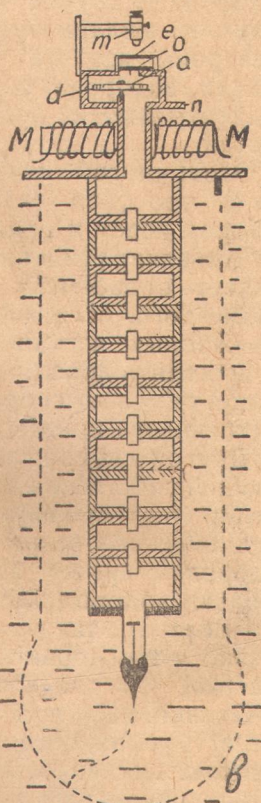


Рис. 85-в

Опыты по разрушению ядер с помощью трубки, питаемой от трансформатора Тесла

После предварительных испытаний, установивших пригодность данной конструкции трубки, можно было перейти и к опытам по исследованию ядер ударами ускоренных в этой трубке протонов; однако для этого в первую очередь было необходимо создать в трубке эти протоны. Оказалось, что это дело нелегкое, и задачу получения

достаточно мощного протонного пучка в разрядной трубке, питаемой от трансформатора Тесла, нельзя считать окончательно разрешенной и по сегодняшний день.

Однако небольшое количество заряженных атомов водорода (протонов) может быть получено в трубке двумя способами. Первый из них сводится к тому, что перед приложением напряжения тщательно откачанная трубка несколько раз „прополаскивается“ водородом, и в дальнейшем водород в нее непрерывно поступает через небольшое отверстие, регулируемое специальным вентилем. Благодаря энергичной откачке давление водорода в трубке очень мало (не превышает нескольких сотых миллиметра), но стремительно несущиеся вдоль трубки электроны все же время от времени сталкиваются с молекулами водорода, образуя протоны, которые, в свою очередь, подхватываются полем и ускоряются до значительных скоростей.

Этот способ отличается тем недостатком, что повышение числа протонов связано с увеличением давления водорода, которое ведет к „смягчению“ трубки. Смягчение же, которое представляет усиление разряда в трубке при данном напряжении, мешает подвести к трубке достаточно высокое напряжение. Кроме того, если давление водорода велико, то столкновения заряженных частиц с молекулами водорода в трубке будут происходить довольно часто, вследствие чего протоны не сумеют „донести“ свою скорость до исследуемого вещества, а будут ее растрачивать при столкновениях.

Другой способ, лишенный указанных недостатков, но обладающий собственными неприятными особенностями, заключается в том, что часть внутренней стенки трубки покрывается слоем органического вещества, содержащего значительное количество водорода. В процессе разряда электроны бомбардируют этот слой, выбивая водород, который связан в органические молекулы. Таким образом, также удается получить в трубке пучок протонов, однако регулировать количество протонов при этом способе нелегко, благодаря чему трубка работает несколько капризно.

Однако, несмотря на это, опыты по дезинтеграции, поставленные с трубкой, питаемой от трансформатора Тесла, увенчались успехом. Поставлены они были следующим образом. Разрядная трубка описанного выше типа (рис. 85-в) заканчивалась металлической насадкой *п*. В эту насадку во время работы трубки влетали попеременно быстрые протоны и электроны (протоны — когда „низ“ трубки положительный, электроны — в следующий период, когда он становится отрицательным).

Так как исследованию подвергалось только действие положительных частиц, а электроны, вследствие вызываемых ими рентгеновых лучей, только мешали наблюдению, необходимо было как-нибудь „отфильтровать“ протоны от электронов. Такое фильтрование осуществлялось электромагнитом *ММ*, в поле которого легкие электроны загибались в сторону, в то время как более тяжелые протоны пролетали насадку почти без отклонения. Исследуемые вещества помещались на тончайших пла-

стинках слюды в прорезах диска d , на котором был прикреплен железный стержень, благодаря чему диск можно было поворачивать снаружи трубки, пользуясь небольшим постоянным магнитом, и таким образом подставлять под протонный пучок различные вещества. Против исследуемого вещества в металлическом дне трубки было проделано окошко, заклеенное алюминиевой фольгой толщиной в одну сотую миллиметра. Бомбардирующие протоны через такую фольгу пройти не могут, энергия их для этого недостаточна. Над окошком, подобно тому как в опытах Кокрофта и Уолтона, был установлен экран e из сернистого цинка, способный давать сцинтилляции (вспышки) под действием ударов быстрых частиц. Наблюдение экрана велось через микроскоп m .

Когда к трубке было приложено напряжение около четырехсот тысяч вольт, а на пути протонов стоял тонкий слой соли лития — на экране одна за другой замигали яркие сцинтилляции. При выключении напряжения сцинтилляции пропадали. Их также не было заметно, когда, вместо лития, был подставлен под удары протонов тонкий слой меди. Несколько позже таким же образом удалось наблюдать разрушение ядер фтора.

Однако, несмотря на положительные результаты, полученные при бомбардировке легких элементов протонами, полученными в разрядной трубке, питаемой трансформатором Тесла, этот способ создания высоких напряжений, равно как и импульсный генератор, вряд ли можно считать удобным для работы с положительными ионами. Громадным преимуществом этого метода является сравнительно легкая возможность получения высоких напряжений, наряду с этим он обладает и очень важным недостатком: высокое напряжение создается на очень малый промежуток времени.

Опыты Кокрофта и других исследователей, о которых говорилось в предыдущей главе, показали, что из сотен миллионов падающих на исследуемый материал протонов только единичные протоны „добираются“ до ядра, вызывая искусственное его расщепление, а громадное большинство теряет свою энергию в электронных оболочках атомов. Между тем наблюдать явления искусственного расщепления ядер протонами можно только в том случае, когда на исследуемое вещество эти протоны падают в достаточном количестве.

Импульсный генератор и трансформатор Тесла работают кратковременными толчками длительностью в миллионные или в лучшем случае в сотысячные доли секунды. Чтобы за этот промежуток заметить явления искусственного расщепления, необходимо создать необычайно мощный пучок протонов в трубке, что представляет громадные технические трудности. И в этом отношении неизмеримо легче работать с трубками, питаемыми источником постоянного напряжения.

В самом деле, имея в своем распоряжении промежуток вре-

мени, измеряемый минутами вместо стотысячных долей секунды, мы можем довольствоваться протонными пучками в миллионы раз менее интенсивными, чем при импульсных методах. В тех же случаях, когда вопрос о количестве частиц, т. е. интенсивности бомбардировки, исследуемого вещества играет меньшую роль, а главный интерес представляет скорость (или, лучше сказать, энергия) падающих снарядов, трансформатор Тесла имеет несомненные преимущества перед установкой постоянного напряжения, так как с его помощью высокие напряжения порядка нескольких миллионов вольт могут быть получены на довольно компактной и не очень дорогой установке.

Таким образом, основная область дальнейших применений трансформатора Тесла для решения проблем ядерной физики это исследования, связанные с поглощением „искусственных γ -лучей“, испускаемых при торможении электронов, ускоренных в разрядной трубке; задачи же, связанные с расщеплением ядер ударами положительных частиц, требуют для своего решения разработки источников *постоянного* высокого напряжения и соответствующих разрядных трубок.

Высоковольтная бригада УФТИ поставила в центре своего внимания работу с источниками постоянного напряжения только после длительных исследований импульсного генератора, который казался наиболее удачным источником до работы Кокрофта и Уолтона. После этой работы (май 1932 г.) стало ясно, что необходимым условием экспериментов с положительными ионами является *большое количество* ионов, падающих на исследуемое вещество, и потому импульсные источники напряжения были признаны мало эффективными.

Начав в июне 1932 г. работу с источниками постоянного напряжения, работники УФТИ к началу октября располагали уже установкой постоянного напряжения на 350 000 вольт и соответствующей разрядной трубкой, в которой 11 октября (впервые в СССР) было наблюждено искусственное расщепление ядер лития.¹ В виду того, что генератор и трубка в основных чертах повторяют установку Кокрофта, подробно описанную в предыдущей главе (за исключением разве конструкции конденсаторов, которые были изготовлены „домашним способом“ из толстостенных стеклянных банок), мы здесь не будем давать описания установки, ограничившись фотографией трубки (рис. 86).

Эта трубка, как и дальнейшие конструкции, рассчитанные на более высокие напряжения, была осуществлена из толстостенных стеклянных цилиндров, изготовленных специально для этой цели стекольным заводом в Мерефе. Принципы, положенные в основу конструкции трубки Кокрофта (подразделение на камеры, отделенные металлическими экранами, поддерживаемыми

¹ Описанные выше опыты с разрушением ядер на трубке, питаемой трансформатором Тесла, были выполнены несколько позже.

при определенном потенциале, вспомогательная разрядная трубочка наверху, служащая источником водородных ионов, металлические цилиндры с закругленными краями, расположенные по оси трубки и предохраняющие стеклянные стенки от зарядки вследствие прилипания электронов и ионов), обеспечили нормальную работу разрядной трубки при напряжениях до 350 000 вольт.

На этой трубке был проведен ряд опытов по расщеплению ядер лития, результаты которых находятся в полном согласии с описанными в предыдущей главе опытами Кокрофта и Уолтона.

Однако для дальнейших опытов не только с более тяжелыми элементами, но и с легко расщепляющимися ядрами (литий, фтор, бор, алюминий и другие), необходимо было перейти к большим напряжениям. И здесь в первую очередь встал вопрос об источнике высокого напряжения, который был

удачно разрешен работниками УФТИ, создавшими новый тип высоковольтной установки постоянного напряжения, обладающий большими преимуществами перед всеми применявшимися схемами.

Постоянное напряжение для целей ядерных исследований обладает значительными преимуществами по сравнению с напряжениями высокочастотными и импульсными. Однако осуществление установки на постоянное напряжение порядка миллиона или больше вольт встречает значительные трудности, которые отсутствуют в случае трансформаторов Тесла и импульсных генераторов.

Высоковольтная установка постоянного напряжения

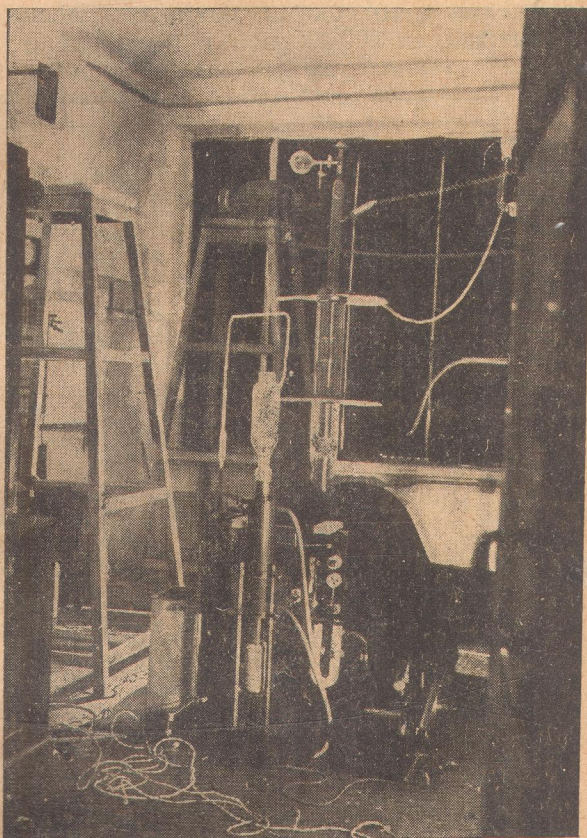


Рис. 86

Дело в том, что единственным технически разработанным методом создания высоких постоянных напряжений при достаточно большой мощности является выпрямление кенотронами высокого напряжения, полученного на обычном трансформаторе технического типа (с железом). Однако непосредственное выпрямление кенотронами возможно лишь для напряжений, не превышающих 200 000 вольт (предельное рабочее напряжение

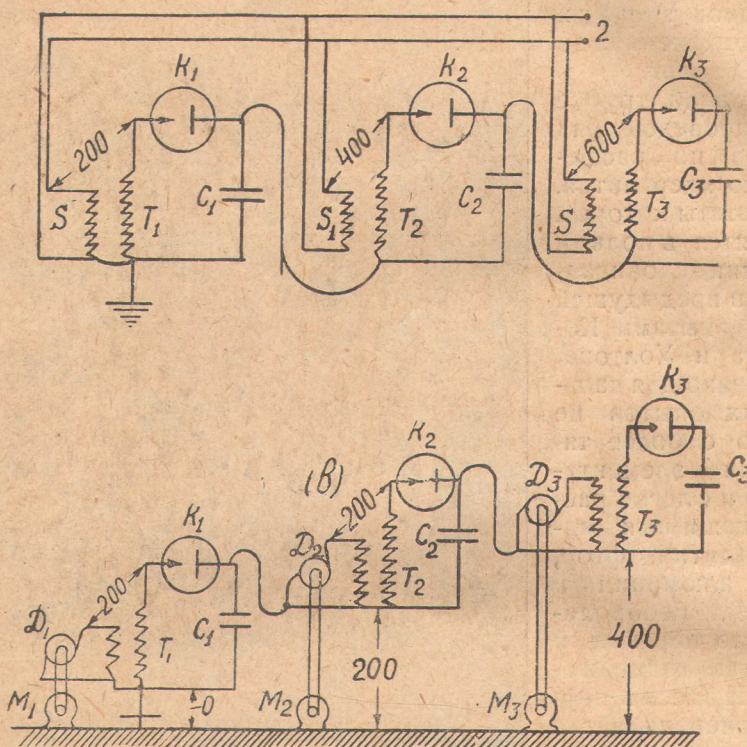


Рис. 87

для кенотронов), вследствие чего при построении установок для более высоких постоянных напряжений идут обходным путем, прибегая к конденсаторно-вентильным схемам, подобным, скажем, схеме Кокрофта, описанной в предыдущей главе. Эти схемы, однако, обладают тем существенным недостатком, что в них наряду с выигрышем в напряжении не возрастает мощность, вследствие чего на практике очень редко применяются схемы, на которых осуществляется увеличение исходного высокого напряжения более чем в 2 раза, т. е. практически не выше 350 000—400 000 вольт).

Разработанная в УФИИ установка лишена этого недостатка; напротив, добавление к ней каждого нового звена вызывает

приращение мощности всей установки, что является совершенно необходимым в связи с увеличением всевозможных родов утечек, резко увеличивающихся при переходе к все более и более высоким напряжениям. Идея ее чрезвычайно проста и основана на следующих соображениях. Так как конструкция существующих кенотронов не позволяет с помощью одного трансформатора и кенотрона получить напряжение выше 200 000 вольт, то естественно для получения более высоких напряжений пытаться соединить последовательно ряд ячеек, из которых каждая представляет выпрямительную установку на 200 000 вольт.

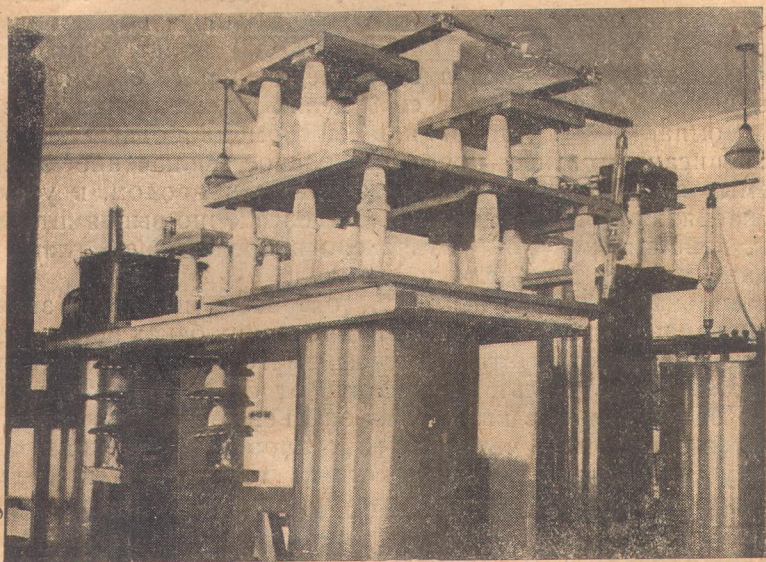


Рис. 88.

Однако такое решение наталкивается на одно весьма серьезное препятствие, смысл которого очевиден из рис. 87. Если первичные обмотки высоквольтных трансформаторов во всех звеньях питать от сети переменного тока, то от звена к звену будет расти напряжение между первичной и вторичной обмоткой, достигая в первом звене 200 000 вольт, во втором 400 000 и т. д. Это обстоятельство, казалось бы, сводит на-нет преимущества схемы с последовательным соединением, так как изоляция обмоток трансформатора друг от друга уже во втором звене должна быть чрезвычайно громоздкой и дорогой, а, скажем, в четвертом или пятом звене становится технически неосуществимой.

Однако из этого затруднения был найден простой выход. Вместо того, чтобы питать первичные обмотки трансформатора от сети, можно каждое из звеньев установки изолировать от

земли достаточно высокими изолирующими подставками, на которых установить специальные машины переменного тока, питающие трансформаторы, и приводить их в движение с помощью достаточно длинных ремней от моторов, установленных на земле.

В такой установке к изоляции трансформаторов не предъявляется никаких особых требований, а все напряжение переносится на изолирующий привод от моторов к генераторам, осуществление которого не встречает серьезных технических трудностей.

В УФТИ по этому принципу уже осуществлена небольшая установка (рабочее напряжение 700 000 вольт) и готовится постройка большей установки на 2 500 000 вольт. Фотография первой из этих установок представлена на рис. 88. Для того, чтобы сократить число звеньев в целях удешевления и увеличения компактности установки, в ней скомбинированы два принципа: описанное выше последовательное включение звеньев, питаемых генераторами с изолированным приводом, и умножение напряжения с помощью конденсаторно-выпрямительной схемы, действие которой разъяснено в предыдущей главе, при описании работы Кокрофта и Уолтона.

Установка на 700 000 вольт состоит всего из двух звеньев, изолированных от земли на цилиндрических баках из гетинакса. Напряжение генерируется трансформаторами, повышающими напряжение в 220 вольт, полученное от специальных генераторов, до 85 000 вольт: в каждом из звеньев это напряжение утверждается с помощью четырех кенотронов и шести конденсаторов, осуществленных в виде пакета из толстостенных стеклянных трубок, посеребренных изнутри и оклеенных фольгой снаружи.

Мощность каждого из трансформаторов 2,5 киловатта, так что вся установка дает 5 киловатт. Установка на 2,5 млн вольт, которая будет собрана из 8 звеньев, будет, следовательно, обладать мощностью в 20 киловатт.

Осуществлены две разрядные трубки для опытов на этой установке. Первая в общих чертах по типу Кокрофта и Уолтона, описанному в предыдущей главе. На конструкции ее мы поэтому здесь не останавливаемся, ограничившись ее фотографией, приведенной на рис. 89; другая имеет несколько отличную от нее конструкцию и предназначена для опытов с нейтронами. Общий вид этой трубки представлен на рис. 90, а схематический разрез — на рис. 91.

Так же, как и первая, она состоит из трех толстостенных стеклянных цилиндров a диаметром около 25 см, изготовленных из специального нетрескающегося стекла „пайрекс“ на Мерепьянском стекольном заводе, помощь которого в изготовлении стеклянных частей для всевозможных разрядных трубок оказа-

лась для УФТИ в высшей степени ценной. Эти цилиндры вставлены в круговые канавки solidных железных дисков b_1 и b_2 , представляющих опору для внутренних металлических частей трубки $g_1—g_3$, которые в этой конструкции весьма solidны и обладают весом в несколько десятков килограмм. Сверху и снизу трубка заканчивается железными

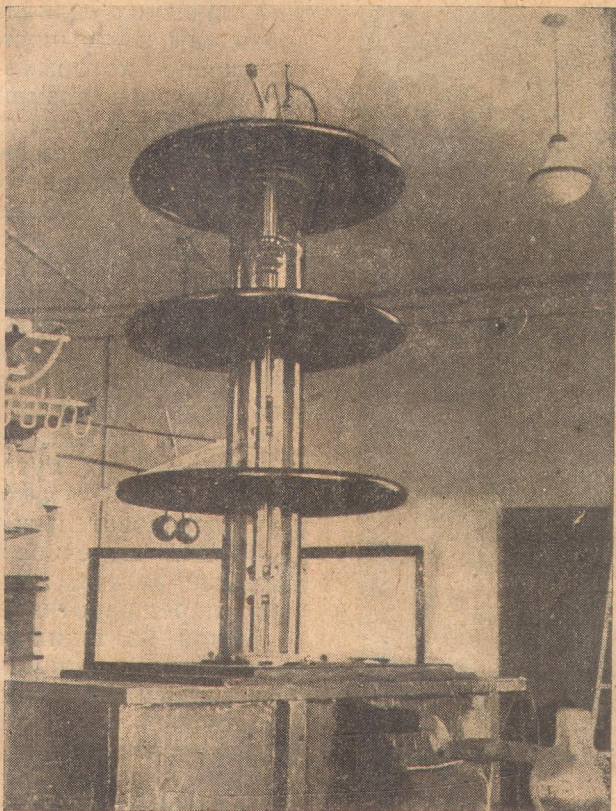


Рис. 89

плитами $в$ и $г$. Уплотнение в соединениях железных дисков со стеклянными цилиндрами достигается путем заполнения канавки диска пластилином — пластичной массой, применяемой для лепки. На дисках b_1 , b_2 и $в$ укреплены охранные экраны $e_1—e_3$, создающие вокруг трубки однородное электрическое поле. Длина главной части трубки (от $г$ до $в$) достигает двух метров. Узкий канал $ж$ отделяет от главной части трубки вспомогательную трубку $л$. В ней с помощью разряда между электродами $ж$ и $з$ создаются положительные ионы гелия, которые, попадая внутрь большой трубки, ускоряются в ней и бом-

бардируют экран o , расположенный в специальном отростке нижнего диска $г$. Во вспомогательную трубочку $л$ из резервуара $к$ в то же время просачивается через вентиль $и$ гелий, благодаря чему в ней поддерживается давление, достаточное для интенсивного разряда.

Таким образом, эта разрядная трубка по принципу своего действия сходна с трубкой Кокрофта и Уолтона, отличающаяся от

нее конструкцией внутренних металлических цилиндров. В ней добавлены новые части $г_2$ и $г_5$, назначение которых — еще более уменьшить возможность попадания зарядов на стеклянные стенки трубки и тем самым предохранить последние от пробоя.

Разработка
техники экспе-
римента

Описанные типы высоковольтных установок и разрядных тру-

бок, осуществленных в УФТИ, представляют уже достаточную базу для проведения ряда ядерных исследований.

Однако, прежде чем перейти к описанию тех путей, по которым предполагается развивать исследовательскую работу, необходимо перечислить те технические задачи, которые еще стоят перед работниками УФТИ.

Одной из таких задач является дальнейшее повышение напряжения на испытательных установках и трубках, доведение напряжения трансформатора Тесла и соответствующих трубок до трех, а постоянного напряжения до двух миллионов вольт,

которое, судя по данным Таранта, Грея и некоторых других исследователей, необходимо для исследования действия на ядра γ -лучей, для расщепления ударом протонов и „искусственных α -частиц“ ядер элементов со значительным атомным весом, а также для работы с легкими элементами, так как число сопровождающихся расщеплениями попаданий протонов в ядра резко возрастает с увеличением скорости падающих протонов.

Решение перечисленных задач потребует для своего осуществления возведения грандиозных установок, для которых размеры имеющихся в УФТИ помещений недостаточны, в связи с

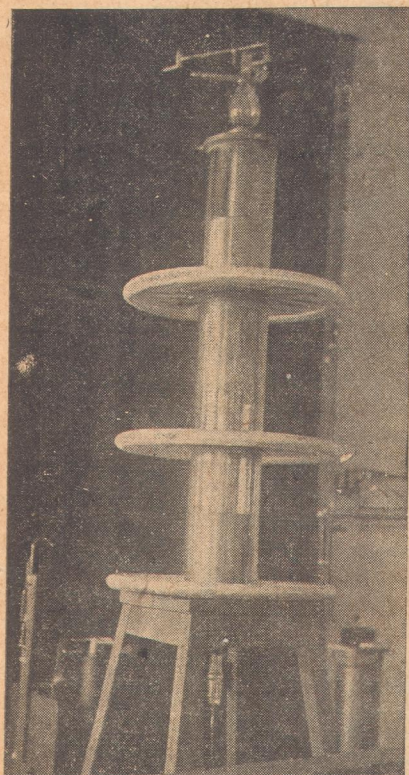


Рис. 90

чем для ядерных работ строится отдельный корпус с грандиозным залом (кубатурой около 20 000 м³).

Однако наряду с работами по созданию более мощных источников быстрых частиц не менее важной является задача освоения имеющихся. Для полного развертывания исследовательской работы на имеющихся разрядных трубках необходимо разработать и освоить ряд экспериментальных приемов изучения процессов ядерного распада, к каковым в первую очередь относятся камеры Уильсона и счетчики частиц (см. главу четвертую). Разработанные до этого времени в УФТИ конструкции камер и счетчиков работают далеко не безукоризненно и требуют ряда дальнейших усовершенствований, которые должны быть закончены в течение ближайших месяцев.

Дальнейшая исследовательская работа в УФТИ

В настоящее время ядерная бригада УФТИ ведет работу в следующих направлениях: 1) исследование процессов в расщепления ядер быстрыми протонами, 2) получение нейтронов и изучение их действия на атомные ядра, 3) исследование

ядер путем воздействия на них быстрых электронов и γ -лучей и, наконец, 4) исследование недавно открытых „ядерных взрывов“, происходящих под действием проникающего излучения.

Первые две задачи будут решаться на установке постоянного напряжения на 700 000 вольт. Работа с протонами будет заключаться в систематическом изучении действия протонов, ускоренных в разрядной трубке, на ядра различных элементов. С помощью счетчиков, камеры Уильсона и метода сцинтилляций будет определяться число и физическая природа частиц, выбитых из ядер.

Измеряя их пробег в воздухе или твердых телах или загибая в магнитном поле, можно установить их энергию (скорость).

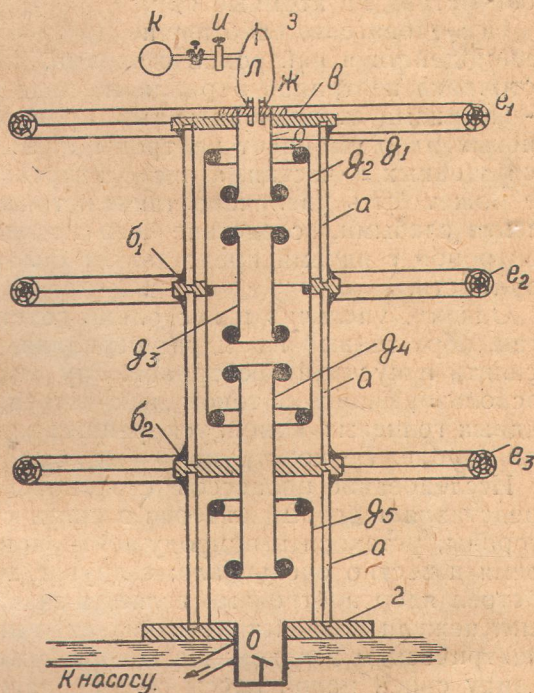


Рис. 91

Наиболее полные сведения о процессе расщепления ядер ударами протонов можно получить, засняв в камере Уильсона не только пути выбитых из ядер частиц, но и самый процесс расщепления, что, однако, представляет некоторые, правда, не непреодолимые технические трудности.

Исследование ядер нейтронами, в сущности, распадается на две задачи:

1) получение мощного пучка нейтронов и 2) изучение его воздействия на атомные ядра.

Исследователи, работавшие до сего времени над изучением взаимодействия нейтронов с ядрами, пользовались в качестве источника нейтронов бериллием, подвергнутому бомбардировке α -частицами от радиоактивных препаратов. Так как из бериллиевых ядер выбивает нейтроны лишь ничтожная часть всех испущенных α -частиц, а число испускаемых препаратом частиц не может быть увеличено, такие источники нейтронов являются весьма слабыми, вследствие чего исследование взаимодействий нейтронов с ядрами представляет большие экспериментальные трудности.

Однако, увеличив в несколько сотен тысяч раз поток α -частиц, обрушенный на ядра бериллия, можно соответственно усилить испускание нейтронов. Эту задачу можно разрешить, воспользовавшись потоком „искусственных α -частиц“ — двухзарядных гелиевых ионов, ускоренных в соответствующей разрядной трубке. Ее конструкция уже была описана (рис. 90 и 91).

Исследование процессов столкновения нейтронов с ядрами представляет особый интерес в связи с возможностью, с одной стороны, установить природу нейтронов, о которой в настоящее время известно очень мало; с другой же стороны потому, что обстрел ядер нейтронами является значительно более эффективным, нежели воздействие каких-либо иных частиц, обладающих электрическим зарядом. Не говоря уже о частицах, которые в виду своей малой массы сильно рассеиваются электронными оболочками атомов, даже α -частицы и протоны в очень редких случаях оказываются в состоянии подойти настолько близко к ядру, чтобы вызвать его расщепление, так как положительный заряд ядра создает вокруг него „потенциальный барьер“ — область, почти непроходимую для частиц с положительным зарядом. Для нейтрона, лишенного заряда, этот потенциальный барьер отсутствует, благодаря чему попадание нейтрона в ядро становится весьма возможным.

Нейтроны, пролетая сквозь строй атомов, почти „не чувствуют“ их присутствия, почти не расходуют своей энергии и, только подойдя на очень малое расстояние к ядру, вступают с ним в какое-то взаимодействие (природа которого еще не выяснена), очень часто приводящее к расщеплению ядер. В то время как из миллиона α -частиц или миллиарда протонов только нескольким удастся вызвать расщепление ядер, при бом-

бардировке нейтронами (как показали недавно опубликованные опыты ряда иностранных ученых) расщепление ядер производят не менее одной двадцатой части всех падающих частиц. Однако то обстоятельство, что нейтроны взаимодействуют только на очень малых расстояниях и в силу этого летящий нейтрон почти не оставляет на своем пути ионов, делает невозможным наблюдение „следов нейтронов“ в камере Уильсона, их непосредственный счет с помощью счетчиков или по методу сцинтилляций. Указанным способом можно открыть только ядра, приведенные в движение ударом нейтрона, или следы ядерной катастрофы—расщепления ядра при столкновении с нейтронами. Это несколько затрудняет эксперименты с нейтронами по сравнению с соответствующими опытами с α - и H -частицами. Однако интерес „нейтронных“ исследований настолько велик, что указанные трудности отнюдь не обескураживают исследователей, работающих в этой области.

Изучение ядер с помощью искусственных β - и γ -лучей будет вестись на трубке, питаемой трансформатором Тесла. За последние годы был проделан ряд исследований, имевших целью установить взаимодействие γ -лучей с ядрами. Эти опыты показали, что γ -лучи не особенно большой энергии (не превышающей полутора миллионов вольт) воздействуют преимущественно на электронные оболочки атомов, что с точки зрения исследования ядерных свойств не представляет особенного интереса. Однако при прохождении через некоторые вещества γ -лучей с энергией около двух миллионов вольт (такие γ -лучи испускаются при распаде ядер радиоактивного элемента тория C) наблюдались отступления от обычных законов рассеяния γ -лучей, которые, как видно, должны быть приписаны воздействию этих лучей на ядра. Провести сколько-нибудь точные исследования с γ -лучами, испускаемыми радиоактивными препаратами, крайне трудно, в связи с чрезвычайно малой их интенсивностью.

Искусственные γ -лучи, испускаемые при торможении электронов, ускоренных в разрядной трубке, обладают неизмеримо большей интенсивностью, чем γ -излучение радиоактивных препаратов; однако, интересных результатов можно ожидать от опытов с γ -лучами от электронов, ускоренных напряжением не менее чем в 2 млн вольт. Поэтому доведение рабочего напряжения трубок на трансформаторе Тесла до этого значения—очередная задача работников ядерной бригады, и разрешение ее позволит перейти к исследованию действия γ -лучей на ядра.

Что касается исследования ядер с помощью быстрых электронов (искусственные β -лучи), то здесь встречается одна принципиальная трудность. Проходя через материю, быстрые электроны теряют свою скорость, что сопровождается испусканием энергии в виде электромагнитных волн тем большей частоты, чем больше скорость электронов. Электроны, прошед-

шие разность потенциалов в 1,5—2 млн вольт, будут испускать электромагнитные волны с очень короткой длиной волны (γ -лучи). Эти γ -лучи способны прямо или косвенно, создавая быстрые электроны путем вырыва их из электронных оболочек атомов, воздействовать на все приборы, применяемые при исследовании ядерных процессов (счетчики, камеры Уильсона и т. д.). Это действие будет препятствовать исследованию столкновений β -лучей с ядрами. Для исследования ядер бомбардировкой электронами необходима разработка каких-то новых экспериментальных методов, основанных на устранении мешающего действия γ -лучей.

Открытие ядерных взрывов и работы УФИ по их исследованию

На протяжении 1932 г., оказавшегося исключительно богатым открытиями в области физики атомного ядра, были сделаны ценные наблюдения неизвестных до сего времени явлений „ядерных взрывов“, сопровождающихся выделением громадного количества энергии и происходящих, по видимому, под влиянием космического или проникающего излучения, которое открыто свыше десяти лет тому назад, но физическая природа которого не выяснена до настоящего времени. В задачи этой книжки не входит рассмотрение всего довольно богатого материала, который известен по вопросу о космических лучах, поэтому мы можем ограничиться только указанием основных их свойств и методов наблюдения, что необходимо для понимания пути, который привел к открытию ядерных взрывов.

В атмосферном воздухе, состоящем преимущественно из молекул азота и кислорода, у поверхности земли происходит непрерывно образование некоторого количества ионов. Правда, это количество ионов крайне ничтожно (не превышает в среднем трех—четырех в кубическом сантиметре за секунду), но все же вполне достаточно для того, чтобы его заметить и даже измерить с довольно большой точностью.

Ряд исследований показал, что добрая половина этих ионов образуется под действием различных „земных“ причин и в первую очередь в результате ионизации, производимой излучениями радиоактивных элементов, которые в ничтожном количестве присутствуют почти во всех окружающих нас телах. Однако это действие не может быть причиной всей ионизации. Остальная ее часть совершенно не связана с поверхностью земли, что доказывается тем, что она сильно возрастает по мере подъема над земной поверхностью в верхние слои атмосферы и, наоборот, уменьшается при погружении прибора на дно глубоких водоемов или шахт. Эти опыты заставляют искать недостающую причину в излучении, которое доходит до поверхности земли из далекого межзвездного пространства.

Кое-что о свойствах этих лучей говорит уже тот факт, что они создают ионы и, следовательно, проходя в атмосфере, за-

трачивают значительное количество энергии. Учитывая то, что они проходят в достаточном количестве сквозь всю толщу атмосферы, необходимо допустить, что их первоначальная энергия огромна и превосходит энергию всех видов излучения, которые были известны до сих пор. Остается открытым вопрос, являются ли космические лучи электромагнитными волнами (тогда они подобны γ -лучам, но только со значительно большей энергией) или они представляют поток элементарных заряженных частиц (электронов или протонов), несущихся с скоростями, соответствующими примерно нескольким миллиардам вольт. Наконец, принципиально не исключена возможность, что проникающие лучи это поток быстрых нейтронов. Ряд опытных данных говорит за то, что, во всяком случае, часть космического излучения представляет поток заряженных частиц. Все же вопрос об их природе нельзя считать окончательно решенным.

Четыре года тому назад немецкий ученый Штейнке установил, что время от времени в исследуемом объеме воздуха внезапно образуется большое количество ионов, намного превышающее то среднее количество в три-четыре иона в кубическом сантиметре, которое объясняется, наряду с рядом причин земного происхождения, действием космических лучей. Продолжив свои опыты в соляной копи на глубине около полукилометра под землей, Штейнке показал, что образование больших порций ионов связано с процессами, вызванными космическими лучами, так как оно наблюдалось только на поверхности земли и полностью исчезало при опускании в глубокую шахту. Ряд ученых пытался продолжить исследование этих явлений с помощью камеры Уильсона, которая, как известно, дает возможность изучать динамику процессов, связанных с образованием ионов; однако эти попытки нельзя признать особенно плодотворными.

В самом деле, открытое Штейнке явление происходит сравнительно редко (один раз за несколько минут), и камера Уильсона способна зафиксировать процесс только в том случае, когда он происходит в пределах одной сотой секунды до или после ее расширения. Поэтому, расширяя повторно камеру и производя фотографии полученных в ней путей, можно надеяться получить один удачный снимок на несколько десятков тысяч неудачных.

Блэккетту удалось выйти из этого затруднения путем соединения в одной установке камеры Уильсона с двумя счетчиками частиц. Установив камеру между двумя счетчиками, он сконструировал электромагнитный механизм, с помощью которого производилось расширение камеры только в тот момент, когда два счетчика фиксировали одновременно появление ионов, вызванных пролетевшей через них частицей. Если только через оба счетчика, практически одновременно зарегистрировавших пролет частиц, пролетела одна и та же частица, то она непре-

менно прошла и сквозь камеру Уильсона, и, следовательно, путь ее будет заснят.

С помощью этого устройства Блэккетту удалось довести процент удачных снимков до 75 и на ряде фотографий он обнаружил следы процесса, лежащего в основе явления Штейнке. На этих снимках виден не один путь частицы, производящей на своем пути ионы, а целый „ливень“ нескольких (иногда свыше двадцати) путей, большинство которых исходит из одной точки, лежащей неподалеку от камеры обычно в пределах пространства, занятого катушкой, которая создавала в камере Уильсона магнитное поле.

При своем полете в магнитном поле частицы должны отклоняться от прямолинейного пути. Сопоставляя величину отклонения частиц с числом ионов, создаваемых ими на своем пути, Блэккетт установил, что большинство заснятых путей принадлежит электронам, обладающим различной, но во всех случаях весьма значительной энергией, от нескольких миллионов вплоть до сотни миллионов вольт. Общую энергию всех частиц в таком расходящемся пучке Блэккетт оценивает примерно в миллиард вольт.

Такие значения энергий превосходят все то, что до сих пор было известно в области энергий при ядерных превращениях, и указывают на какое-то неизвестное до сих пор явление, вызванное, повидимому, воздействием на ядра космических лучей.

На-ряду с чудовищными энергиями таких „взрывов“ из своих фотографий Блэккетт извлекает еще один не менее интересный факт. Дело в том, что пути частиц, которые засняты в камере Уильсона и которые по числу ионов, созданных на сантиметре пути, должны быть приписаны электронам, *отклоняются в магнитном поле частью в одну, часть в другую — противоположную — сторону*. Этот факт говорит за то, что пучок частиц, разлетающихся от места ядерного взрыва, на добрую треть состоит из *частиц с массой электрона, но с положительным зарядом*.¹

Таким образом, в этих явлениях встречается совершенно новый вид элементарных частиц — *положительные электроны, или позитроны*. Открытиям Андерсона и Блэккетта, подтвержденным работами ряда других исследователей, суждено сыграть исключительную роль в той переработке, которой должны подвергнуться представления о строении ядер, установившиеся в физике на основании всего предыдущего опыта. Однако для каких бы то ни было дальнейших построений совершенно необходимо накопление опытного материала относи-

¹ Пути „положительных“ электронов были замечены еще до Блэккетта американским физиком Андерсоном, но так как он работал с камерой Уильсона, не связанной со счетчиком, у него число путей было значительно меньшим.

тельно необычайных явлений, открытых в течение последнего года.

Поэтому-то явление ядерных взрывов—это новое направление, в котором развертывается исследовательская работа ядерной бригады УФТИ. В отличие от остальных работ, это исследование не требует разрядных трубок и источников высокого напряжения и будет вестись с помощью счетчиков и камеры Уильсона в магнитном поле.

Заканчивая на этом описание основных направлений дальнейшей работы ядерных лабораторий УФТИ, нельзя не отметить, что в решение центральной проблемы современной физики научные лаборатории Союза уже включились, но до сих пор шли еще в основном путем копирования техники ведущих ядерных лабораторий Европы. Этап освоения техники ядерного исследования был пройден ударным темпом. Дальнейшая задача—развертывание творческой исследовательской работы в этой области—задача несравненно более трудная, но вместе с тем и более благодарная. И эта задача должна быть и будет нами разрешена.

О Г Л А В Л Е Н И Е

I. Значение проблемы ядра

	Стр.
Физики всего мира изучают строение ядра	3
Исследования атомного ядра в СССР	4
Открытия 1932 г.	4
Атом, его оболочка и ядро	5
Периферические свойства атомов	6
Возбуждение атомов	6
Ультрафиолетовые и рентгеновы лучи	7
Химические свойства атомов и ионы	8
„Ядерные“ свойства атома	10
Энергетический интерес проблемы ядра	13
Выделение энергии при радиоактивном распаде	14
Принцип эквивалентности массы и энергии	14
Энергия образования ядра гелия	15

II. Основные подступы к исследованию ядра

Протоны и электроны	16
✓ Изотопы	16
Выбивание протонов из ядер	17
✓ Атомный вес и атомный номер	17
✓ Внутриядерные электроны	18
Загадки ядра	19
Основные направления исследования ядра	19
Оптические методы исследования ядра	20
Явление Зеемана	20
Молекулярные спектры	21
Взвешивание атомов и их осколков налету	23

III. Радиоактивные элементы и их превращения

✓ Открытие Беккереля; α - и β -лучи	26
✓ Радиоактивность	28
Кажущееся несохранение энергии	29
✓ Радиоактивное равновесие	29
✓ α -частицы	30
✓ α - и β -распад	30
✓ Время полураспада	31
✓ Радиоактивные семейства	32
Семейство урана	32
Полоний	32
Радий С	34
✓ Радиоактивные изотопы	34
Семейство тория	35
Не все ли вещества радиоактивны?	35
Что может дать исследование явлений радиоактивности	36
Применение к ядру волновой механики	36
Происхождение γ -лучей	39
Исследование длиннопробежных α -частиц радия С и тория С	41
Тонкая структура α -лучей	41
Возбуждение ядра γ -лучами	43
α -частицы как орудие исследования ядер нерадиоактивных элементов	44

IV. Как видят невидимое

✓ Размеры атомов	44
Сцинтилляции	45

	Стр.
Спинтарископ	46
Счет α -частиц	46
Пробег α -частиц	47
Прохождение α -частиц через атомы	48
Обнаружение путей α -частиц	50
Фотографическое действие α -частиц	50
Конденсация воды на ионах	50
Конденсация воды на путях α -частиц	52
Камера Уильсона	54
Автоматическая камера Шимму	55
Электрические счетчики	56
Ионизационная камера	56
Счетчики с усилением катодными лампами	57
Счетчик Гейгера	59
Способы изучения γ -лучей	62
Вторичные электроны	62

V. Ядро под обстрелом α -частиц

α -частица, как снаряд для исследования ядра	64
Закон Кулона	64
Полет α -частиц вблизи ядра	65
Способ изучения силового поля ядра с помощью α -частиц	66
Пути α -частиц и „вилки“	66
Распределение рассеянных α -частиц по углам	68
Опыты Чадвика по рассеянию α -частиц тяжелыми элементами	68
Рассеяние α -частиц ядрами легких элементов	69
Толкование результатов исследования рассеяния α -частиц легкими ядрами	69
Размеры атомных ядер	70
Разрушение ядер	71
H -частицы	71
Получение H -частиц и их пробеги	73
H -спинтарископ	73
Искусственное превращение элементов	75
Открытие Резерфорда	76
Опыты Резерфорда и Чадвика	79
Дезинтеграция других элементов	80
Метод наблюдения под углом к направлению α -частиц	80
Разногласие между кембриджской и венской школами	81
Фотографии расщепления атомных ядер	82
Опыты Блеккетта	83
Превращение азота в кислород	84
Затраченная энергия при разложении азота	85
Выводы из опытов по искусственному расщеплению ядер	85
Разница в свойствах четных и нечетных элементов	86
Данные Астона о дефекте массы для легких элементов	87
Новейшие исследования искусственного разрушения ядер	87
Основной недостаток опытов по искусственному разрушению ядер	88
Другие попытки превращения элементов	89
Искусственное превращение ртути в золото	90
Опыты Бете и Беккера (γ -лучи из бериллия)	91
Опыты Кюри-Жолио	92
Опыты Чадвика	93
Нейтроны	93

VI. Искусственные молнии и ионные пушки

Как получить быстрые ионы	96
Измерение скорости заряженных частиц в вольтах	97
Две части задачи получения сверхбыстрых ионов	98

В погоне за грозами	99
Четыре основных направления в технике создания сверхвысоких напряжений	102
Переменное напряжение технической частоты. Трансформаторы с железом	103
Трансформаторы с маслом	103
Вывод высокого напряжения	103
Каскадное включение трансформаторов	104
Трудности построения сверхвысоковольтной разрядной трубки	105
Преждевременный разряд	106
Принудительное распределение потенциала	107
Пробой стенок разрядных трубок	108
Перекрытие по внешней поверхности трубки	109
Трубка Лауритсена - Беннета	110
Индукционная катушка, как источник напряжения для трубки	112
Индуктор на 900 000 вольт	113
Электронные и ионные трубки	114
Трубки Кулиджа на 900 000 вольт	115
Некоторые действия электронов на 900 000 вольт	116
Трансформатор Тесла	117
Технические трансформаторы Тесла	119
Трансформатор Брейта	119
Трубка Брейта	121
Импульсные генераторы	123
Опыты Браша и Ланге	125
Трубка Браша и Ланге	126
Метод последовательного ускорения ионов переменным полем	129
Установка Лауренса для тяжелых ионов	130
Установка Лауренса для легких ионов	133
Источники постоянного напряжения. Машина ван-Граафа	138
Установки постоянного напряжения с кенотронами	141
Конденсаторно-вентильные схемы умножения	142

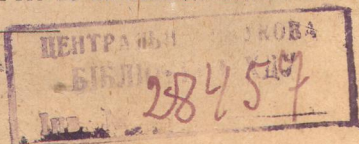
VII. Ядра под обстрелом протонов

Опыты Кокрофта и Уолтона	145
Кенотроны Кокрофта и Уолтона	146
Трубка	148
Работа установки	149
Разрушение ядер лития	150
Толкование результатов бомбардировки лития	152
Разрушения ядер других элементов	154

VIII. Работа УФТИ в области исследования ядра

Постановка задачи и метод работы	156
Работа с импульсным генератором	157
Разрядные трубки	159
Блиновидная трубка	161
Опыты с импульсными трубками	164
Работы с трансформатором Тесла	168
Конструкция трубок, питаемых от трансформатора Тесла	170
Трубки, питаемые трансформатором Тесла	171
Опыты по разрушению ядер с помощью трубки, питаемой от трансформатора Тесла	173
Работы УФТИ с источниками постоянного напряжения	176
Высоковольтная установка постоянного напряжения	177
Разрядные трубки на 700 000 вольт	180
Разработка техники эксперимента	182
Дальнейшая исследовательская работа УФТИ	183
Открытие ядерных взрывов и работа УФТИ по их исследованию	186

ЦЕНТРАЛЬНАЯ НАУЧОВА
БИБЛИОТЕКА



Державне Науково - Технічне Видавництво України
Д Н Т В У

Харків, Пролетарський майдан, 2.

Вышли из печати:

Вальтер А. Надвисокі напруги. — ДНТВУ. 76 с., ц. 1 крб. 60 к.

Эддингтон А., проф. Математическая теория относительности. Пер. с англ. Под ред. проф. Д. Иваненко. — ГНТИУ. 360 с., ц. 8 руб.

Находятся в печати:

Бриллюен. Квантовая статистика. Пер. с нем. — ОНТИ — ГНТИУ. 20 печ. л. Тир. 2000 экз.

Де-Брогль Л. Введение в волновую механику. Пер. с франц. Под ред. проф. Д. Иваненко. — ОНТИ — ГНТИУ. 13 1/2 печ. л. Тир. 2000 экз.

Бронштейн М. П. (редактор). Основные проблемы космической физики. Сборник статей под ред. М. П. Бронштейна. — ОНТИ — ГНТИУ. 14 печ. л. Тир. 1000 экз.

Содержание: М. П. Бронштейн. — Внутреннее строение звезд, вопросы о звездной эволюции и источниках излучаемой энергии. Росселанд. — Газовые туманности. Рессел Г. Н., Дьюген Р. С. и Дж. Кв. Стьюфт. — Звезды и их спектры. Енегалактические туманности. Бронштейн М. П. — К вопросу о возможной теории мира, как целом.

Дарроу. Элементарний вступ до фізичної статистики. Пер. з англ. — ОНТИ — ДНТВУ.

Малиновский, Данилов і Лавров. Молекулярна фізика й тепло. — ОНТИ — ДНТВУ. 11 др. арк. Тир. 3000 пр. Орієнт. ціна 3 крб.

Хайтлер. Квантовая теория и гомеоплярная химическая связь. Пер. с нем. — ОНТИ — ГНТИУ. 2 печ. л. Тир. 2000 экз.

ПРОДАЖ по всіх книгарнях Укркнигозбуту, Укркнигоцентру й Вукоопкниги

ЗАМОВЛЕННЯ НАДСИЛАЙТЕ: Харків, Пролетарський майдан, 7. Укркнигозбуту ДНТВУ.

Цена 3 рубля

Тт. 13-4-4



