

Обнаружение
путей α -ча-
стиц

Возможность с помощью сцинтилляций установить хотя бы одну точку пути α -частицы, именно его конечную точку, в которой, наткнувшись на экран, α -частица почти сразу теряет свою скорость, представляет большую победу экспериментальной физики, однако „увидеть“, проследить весь путь частиц — задача еще более заманчивая, более трудная, дающая более совершенный метод исследования в руки экспериментаторов. Первые попытки в этом направлении основывались на непосредственном фотографическом

Фотографиче-
ское действие
 α -частиц

действии α -частиц и сводились к следующему: небольшая крупинка радиоактивного вещества, испускающего α -частицы, помещалась на светочувствительный слой фотопластинки, которая по истечении некоторого промежутка времени подвергалась нормаль-

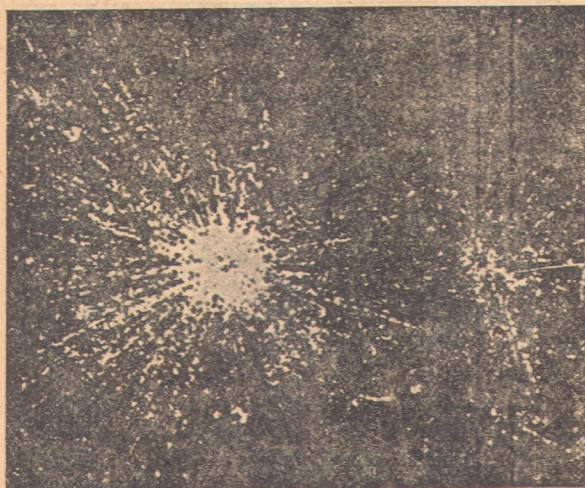


Рис. 11

ному проявлению. Рассматривая обработанную таким образом пластинку под микроскопом с достаточным увеличением, можно заметить (рис. 11) след расходящихся путей α -частиц. Этот способ не решает, однако, вопроса о наблюдении путей α -частиц. В самом деле, наряду с техническим несовершенством таких „радиограмм“ (пути получаются в виде пунктирных линий, из-за того, что при боль-

ших увеличениях заметно, что светочувствительный слой состоит из отдельных зерен), такого рода регистрация путей требует обязательного применения фотопластинок, микроскопа и т. д., а кроме того позволяет заметить следы путей только в одной определенной плоскости — светочувствительном слое фотопластинки. Говоря по существу, метод радиограмм пригоден только для иллюстрации характера движения α -частиц, но не для какого-либо детального изучения или исследования процессов, сопровождающих пронизывание ими слоя вещества.

Конденсация
воды на ионах

Принцип прибора, который позволяет с гораздо большим удобством наблюдать (даже без помощи фотографии) пути отдельных частиц, принадлежит Уильсону и предложен им около 1893 г. Вскоре после откры-

тия электронов этот ученый сделал предположение о том, что эти мельчайшие частицы электричества играют какую-то роль в процессе образования облаков во влажном воздухе. Наблюдения показывают, что облака образуются неправильно. Чем это вызвано? Почему, если влажный воздух в атмосфере достаточно сильно охлажден, не происходит мгновенное превращение его водяного пара в капельки воды (образование облака) и притом сразу во всем объеме, занятом охлажденным до надлежащей температуры водяным паром.

Оказывается, что молекулы воды, находящиеся на месте будущего облака, ведут себя незадолго до начала его образования до некоторой степени подобно знаменитому Буриданову ослу или разумному животному Аристотеля.

Аристотель предложил представить себе совершенно разумное животное, сидящее точно в центре круга, по окружности которого, на равных расстояниях, расположены одинаковые порции одной и той же пищи, употребляемой данным животным, и пришел к заключению, что животное, если оно действительно вполне разумно, издохнет с голоду в середине круга, так как не существует причин, по которым оно избрало бы какую-нибудь одну из порций пищи, раз все эти порции одинаково велики и вкусны и одинаково отдалены от центра круга. Равная притягательная сила ко всем порциям удерживала бы несчастное животное в центре круга, подобно тому, как натяжение велосипедных спиц удерживает втулку в центре колеса. Разумеется, ни один голодный человек, а тем более зверь, не выдержал бы такого „испытания разумности“ и двинулся бы, может быть после мгновенного колебания, к одной из порций пищи.

Однако молекулы воды, которые в переохлажденном паре находятся в аналогичном состоянии, в течение некоторого времени способны себя вести подобно разумному животному Аристотеля. В чистом влажном воздухе облака не образуются мгновенно после того, как достигнуто состояние насыщенного пара; наблюдается пересыщение, при чем молекулы воды, испытывая одинаковое притяжение со стороны своих ближайших соседей, в течение некоторого времени как бы колеблются в выборе места для образования капли. Наличие пыли или электрических зарядов в воздухе облегчает образование первых капель. Отдельные хлопья, наблюдаемые в первой стадии образования облака, указывают на существование центров конденсации, т. е. точек, где образование первых капель почему либо облегчено.

Заслуга Уильсона состоит в том, что он первый поставил вопрос, не могут ли быть электроны (или ионы) такими центрами конденсации. В действительности, дело так и обстоит. Элементарные заряды способствуют конденсации, которая, раз начавшись, быстро развивается давая по капельке воды на каждом имеющемся в газе ионе. Между прочим, на этом свойстве были

основаны многочисленные попытки искусственного ускорения дождя (распыление заряженного песка с аэроплана), из которых некоторые дали настолько многообещающие результаты, что их можно считать первыми успехами в решении проблемы „управления погодой“.

Уильсон проверил свои идеи практически в Кавендишской лаборатории (Кембридж), где ему сразу же удалось получить осаждение мельчайших капелек воды на отдельных ионах и таким образом путем оригинального „увеличения“ установить расположение частиц атомных размеров.

Конденсация
воды на путях
 α -частиц

Однако на этом он не остановился, применив метод конденсации к „проявлению“ путей быстрых частиц, выброшенных из ядра при радиоактивном распаде. Как мы уже видели, α -частица, про-



Рис. 12

несшись через газ, оставляет на своем пути цепочку положительных и отрицательных ионов, которые затем, конечно, разбрасываются тепловым движением и мало-по-малу вновь соединяются друг с другом, образуя нейтральные молекулы. Если пропустить α -частицу через пространство с пересыщенным паром, то на ионной колонне, оставленной на пути частицы, начнется конденсация воды, и в течение некоторого времени мы будем видеть как бы след движения частицы.

Пользуясь этим принципом, Уильсон в 1911 г. получил прекрасные фотографии путей частиц и тем самым дал в руки физиков один из наиболее мощных методов исследования радиоактивных явлений. Фотографии Уильсона могут быть сопоставлены с величайшими художественными произведениями, так как они представляют собой одно из крупнейших проявлений экспериментального искусства. На фотографиях Уильсона (рис. 12) отчетливо видны пути не только α -, но и β -частиц, причем последние не такие „жирные“ (меньшая ионизирующая способность β -частиц) и значительно более извилистые (меньшая масса). Пути быстрых β -частиц представляют как бы цепочку из отдельных капелек (рис. 13), по числу которых (по фотографии с достаточным увеличением) можно непосредственно сосчитать число ионов, произведенных β -частицей на ее пути. Фотографии путей α -частиц представляют, как правило, почти правильную прямую (рис. 14), на которой, однако, подчас заметны резкие



Рис. 13



Рис. 14



Рис. 15

изломы, которые являются результатом столкновения частицы с ядром атома, попавшегося на пути (рис. 15).

Камера Уильсона

Пересыщение воздуха водяным паром достигается во всех случаях наблюдения путей частиц с помощью внезапного расширения газа в пространстве с насыщенным паром. Внезапное расширение сопровождается кратковременным охлаждением, которое является причиной выпадения тумана на ионах, образовавшихся от пролета частицы. Задача заключается в том, чтобы фотографирование было произведено строго в надлежащий момент, спустя очень короткий промежуток времени после расширения камеры, занятой паром, пока „пути“ частиц еще не „расплылись“.

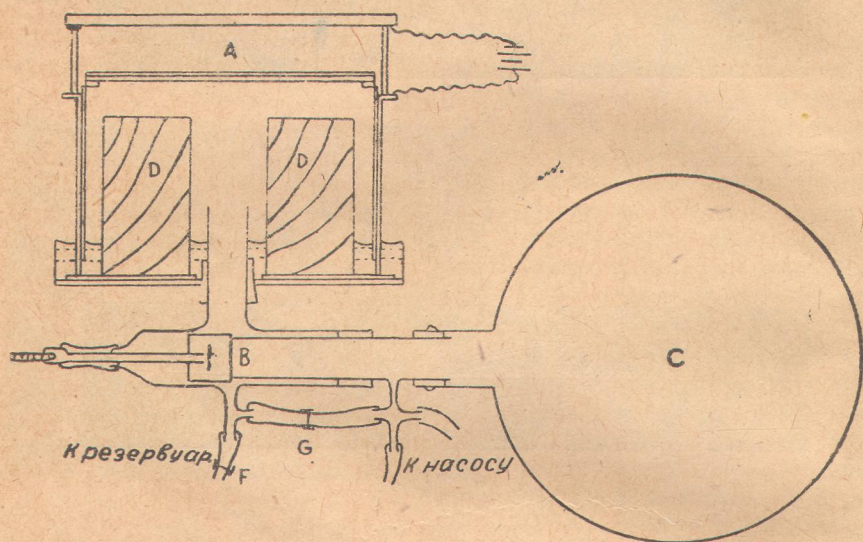


Рис. 16

Конструкция камеры, с которой работал Уильсон, приведена на рис. 16. Закрытая толстым стеклом цилиндрическая камера А, диаметром в 16,5 см и высотой в 3,4 см представляет собой пространство, в котором получают пути частиц. Расширение достигается поворотом вентиля В, который сообщает пространство „под полом“ камеры с сосудом С, из которого предварительно удален воздух насосами (через специальную трубку, указанную на рисунке). При открывании вентиля „пол“ камеры внезапно опускается до упора на резиновую подкладку. Вентиль В управляется с помощью маятника, который одновременно вызывает разряд мощной конденсаторной батареи через трубку с ртутным паром, где получается яркая вспышка, освещающая пространство внутри камеры настолько интенсивно, что получившиеся пути запечатлеваются на пластинке фотоаппарата, на

веденного на внутренность камеры через стекло, которым она закрыта сверху.

Камера все время наполнена насыщенным паром воды, так как ее крышка и дно покрыты тонким слоем влажного желатина. Между „потолком“ и „полом“ камеры создается электрическое поле (батарея), служащее для того, чтобы высадить ионы, образовавшиеся в камере, и почистить ее для следующего опыта. При точной регулировке промежутка времени между расширением и вспышкой (фотографированием) эта камера позволяет получить прекрасные фотографии, подобные приведенным на рис. 12—15.

Различные исследователи разработали очень большое количество камер, отличающихся от камеры Уильсона только конструктивными деталями, но основанных на том же принципе. Из этих многочислен-

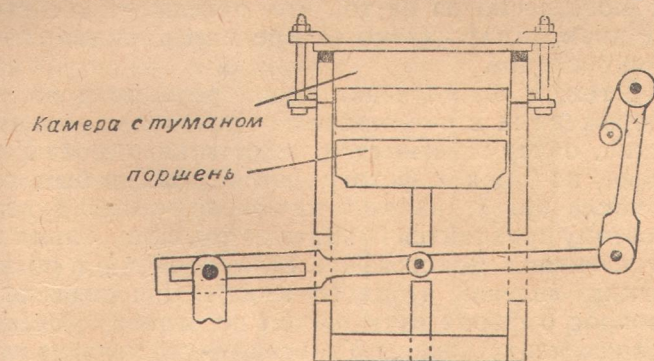


Рис. 17

ных конструкций стоит отметить тип автоматической камеры, предназначенной для получения серий фотографий. При исследовании редких явлений, каково единичное рассеяние α -частиц (излом прямолинейного пути при столкновении с ядром) и разрушение ядра при прямом ударе α -частицы, нередко необходимо получить громадное количество фотографий, на которых среди сотен тысяч святых путей окажется, может быть, всего несколько путей, на которых с α -частицей случилось „редкое событие“ — прямое столкновение с ядром.

Для этой цели Шимицу разработал простую конструкцию камеры, которая позволяет производить большое количество снимков последовательно. Устройство камеры показано на рис. 17. Точно пригнанный к цилиндру поршень качается в камере взад и вперед под действием мотора.

Хотя расширение камеры в этой конструкции не настолько внезапно, как в камере системы Уильсона, все же и в ней получаются прекрасные фотографии, если только позаботиться о том,

чтобы α -частицы впускались в камеру только непосредственно перед тем, как поршень займет свое крайнее положение (максимальный объем камеры). Если применять электрическое поле для очистки камеры от ионов, то она в состоянии работать через каждые несколько секунд.

При фотографировании путей частиц широко применяют одновременную съемку двумя фотоаппаратами под углом друг к другу; такая „стереоскопическая“ фотография дает несравненно более полное представление о путях α -частиц, тогда как одна фотокамера не показывает их пространственного расположения.

Камера Уильсона является одним из самых сильных приспособлений, применяемых при исследовании ядра. Особенно привлекателен этот метод своей исключительной наглядностью. В камере Уильсона мы действительно „видим“ следы катастроф в мире атомов, несмотря на то, что отдельные „действующие лица“ этих драм лежат далеко за пределами видимости самых сильных микроскопов.

Вместе с тем, в тех случаях, когда речь идет об исследованиях, сопряженных с наблюдением громадного числа отдельных α -частиц, обнаруживаются и недостатки метода Уильсона. В самом деле, на каждой фотографии не должно быть слишком большого числа путей, иначе в них невозможно будет разобраться; поэтому приходится снимать сотни, в некоторых случаях даже многие тысячи фотографий, если речь идет об исследовании „редких явлений атомного мира“. Для ряда задач, при которых вопрос о форме пути частиц не играет существенного значения, применение камеры Уильсона — стрельба из пушек по воробьям. Метод сцинтилляций, с достоинствами и недостатками которого мы уже познакомились, тоже не особенно пригоден для исследования редких явлений, так как счет большого числа сцинтилляций требует очень длительного времени и представляет страшно кропотливое и утомительное занятие.

В вопросах, связанных с исследованием большого количества отдельных ядерных явлений, со счетом частиц и т. д., большим подспорьем являются получившие широкое распространение, в особенности за последние 5-6 лет, электрические счетчики частиц. В основе всех типов электрических счетчиков лежит „ионизирующая способность“ исследуемых частиц, т. е. то, что они на своем пути в газе образуют цепочку ионов.

Представим себе две металлических пластинки (или два вставленных друг в друга цилиндра), хорошо изолированных от земли (рис. 18). Включим последовательно с ними батарею аккумуляторов и очень чувствительный прибор для измерения тока. Так как воздух или другой газ, отделяющий друг от друга наши пластинки, при обычных условиях состоит из нейтральных молекул или атомов, наш при-

бор не обнаружит ни малейшего тока. Однако, как только вблизи нашего устройства, которое носит название ионизационной камеры, поместить радиоактивный препарат, чувствительный прибор (гальванометр или электрометр) покажет ток. Частицы, испускаемые радиоактивным препаратом, пролекая между пластинками, образуют на своем пути большое количество ионов, которые и переносят ток, замыкая ранее разомкнутую цепь. В таком исполнении наша схема пригодна для измерения токов в газах, созданных большим количеством попадающих внутрь камеры частиц. α и β -частицы, попадающие все время в камеру, поддерживают в ней довольно значительное число ионов, так что наш измерительный прибор показывает приблизительно постоянный ток. Если частицы поступали бы в камеру редко, то прибор при достаточной чувствительности давал бы отдельные толчки тока, так как в промежутке между двумя налетами частиц газ в камере является изолятором и только после ионизации, произведенной частицей, в нем оказывается некоторое количество ионов, способное поддерживать ток в течение очень короткого промежутка времени.

К сожалению, несмотря на то, что β -частицы на своем пути создают несколько тысяч, а α -частицы даже сотни тысяч ионов, все же заряд каждого иона настолько мал, что толчок тока в ионизационной камере даже от α -частицы не может быть непосредственно замечен никаким, даже самым чувствительным электроизмерительным прибором.¹

Однако здесь на помощь можно привлечь усиление толчков тока, которое может быть осуществлено двумя путями. Разберем сперва первый способ. Исторически он является более молодым (предложен в 1926 г.), но за последнее время получает

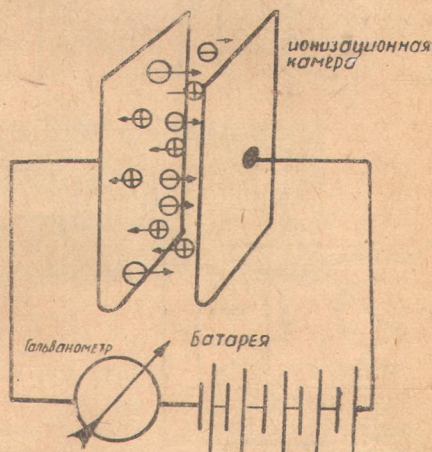


Рис. 18

¹ Четыре-пять лет тому назад Гофманом (Германия) был сконструирован электрометр, обладающий громадной чувствительностью. В принципе она достаточна для того, чтобы заметить толчок тока, вызванный попаданием в камеру одной α -частицы. Однако этот прибор настолько чувствителен к малейшим сотрясениям и вообще является настолько капризным, что работать с ним на такой чувствительности — истинное мучение. Кроме того, его подвижная система после каждого толчка довольно медленно возвращается в исходное положение, так что отдельные α -частицы могут быть замечены с его помощью только в том случае, если они попадают в камеру не чаще двух раз в минуту.

все большее и большее распространение благодаря своим значительным преимуществам. Он основан на усилении с помощью катодных ламп, получившем широчайшее распространение в радиотехнике. В основном его идея заключается в следующем: изолированный электрод ионизационной камеры, который раньше мы присоединяли непосредственно к электроизмерительному прибору, присоединяется к сетке *С* усилительной лампы (рис. 19). Тогда даже небольшого заряда, переносимого ионами на сетку лампы, оказывается достаточно для значительного изменения

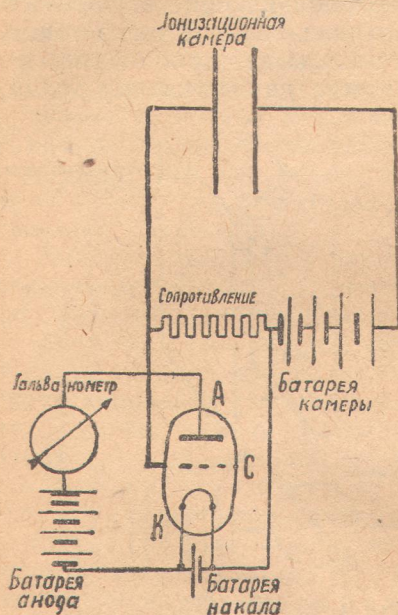


Рис. 19

тока, текущего между катодом *К* и анодом *А* лампы. Пролет каждой частицы в камере будет сопровождаться довольно значительным толчком тока, текущего через лампу, которая таким образом будет играть ту же роль, что и в радиоприемнике, т. е. усиливать толчки тока. Все же, однако, толчки анодного тока первой лампы еще недостаточны для того, чтобы привести в действие приборы, удобные для счета частиц, поэтому в счетчиках с усилительными лампами применяют дальнейшие ступени усиления, используя толчки тока в первой лампе для зарядки сетки второй, — и т. д.

В зависимости от качества усилительных ламп и от того, какова чувствительность прибора, с помощью которого предполагается регистрировать частицы, различные исследователи

применяют схемы, содержащие от четырех до восьми ламп, на детальном разборе которых мы, к сожалению, не имеем возможности остановиться. Пройдя соответствующее количество стадий последовательного усиления, толчки тока, отмечающие попадание в камеру отдельных частиц, увеличенные примерно в миллиард раз, подаются на регистрирующий прибор, тип которого выбирается до некоторой степени „по вкусу“ исследователя, отчасти же зависит и от характера исследования.

Действительно, если речь идет только о счете частиц, тогда важно знать только общее число толчков тока и неважна величина каждого толчка. В таких случаях счет ведется или на слух (телефон или громкоговоритель) или с помощью автоматического счетчика, который при каждом толчке или делает точку на бумажной ленте, или, что еще гораздо удобнее, на

специальном циферблате показывает число частиц, попавших в камеру за время, протекшее с момента запуска счетчика. С помощью такого рода автоматизации удается довести скорость счета до нескольких сот частиц в минуту. Конечно, „на слух“ считать с такой скоростью нельзя.

В некоторых случаях, однако, интересна, кроме того, и величина каждого толчка. При правильно работающей схеме эта величина в сильно увеличенном масштабе служит мерой заряда, перенесенного на сетку первой лампы, т. е. числа ионов, созданных частицей при пролете внутри камеры. По величине толчков тока можно различить, какая частица вызвала ионизацию в камере,¹ а следовательно, необходимо как-то регистрировать не только число, но и величину отдельных толчков. Это достигается с помощью осциллографа — прибора, широко распространенного в электротехнике, который состоит из очень легкой системы двух проволок (шлейф), помещенной между полюсами магнита и снабженной крошечным зеркальцем. При



Рис. 20

пропускании через систему тока последняя поворачивается, а световой зайчик от зеркала, попадая на движущуюся светочувствительную ленту, „записывает“ отклонения осциллографа или, другими словами, толчки тока. Полученная „осциллограмма“ (рис. 20) позволяет судить не только о числе частиц, но и о количестве ионов, созданных каждой частицей, т. е. о ее сорте. Кроме того, осциллограф позволяет значительно увеличить скорость записи частиц, которая может быть доведена до 2000 в минуту.

Счетчик Гейгера Совершенно иным принципом усиления толчка, созданного отдельной частицей, воспользовался Гейгер в своем остриевом счетчике. Чтобы понять, как он действует, нужно сказать несколько слов о процессе разряда в газе. Как мы видели, при обычных условиях через газ, состоящий из нейтральных частиц, ток не проходит. Это верно только приближенно. На самом деле, в любом газе существует

¹ Т. е. α -частицы или H -частицы (протоны); β -частицы в этом типе счетчиков благодаря малому количеству создаваемых ими ионов, не дают резких толчков тока. Разумеется, теоретически можно было бы прибегнуть к значительно большим усилениям, но практически пользоваться усилением большим, чем в миллион раз, не стоит, так как при больших усилениях начинают резко сказываться всевозможные „помехи“.

некоторое, правда ничтожно малое (три-четыре штуки в кубическом сантиметре), число ионов.¹ Конечно, их настолько мало, что переносимый ими ток не удастся заметить даже самыми чувствительными приборами. Однако, увеличивая напряжение электрического поля в газе и ускоряя тем самым движение этих ионов, мы, наконец, сможем сообщить им такую живую силу, что они окажутся в состоянии при ударе об атом (или молекулу) газа расколоть их на ионы. Таким образом, как только достигнуто критическое значение для скорости первичных ионов, они начинают образовывать новые путем столкновения; эти новые, в свою очередь подхваченные электрическим полем, разгоняются и сталкиваясь образуют опять новые и т. д. — ионный поток растет, как лавина, как снежный ком.

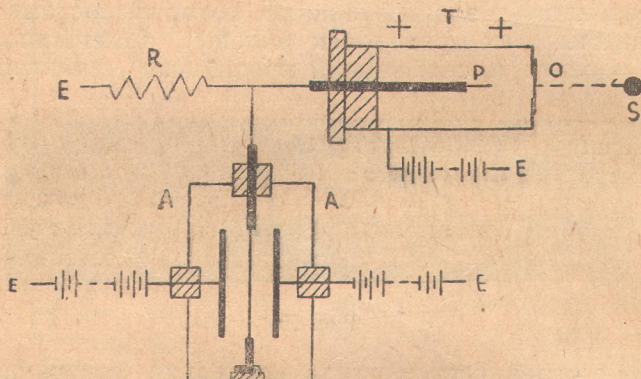


Рис. 21

Если в камере создать поле, достаточное для начала такой „ионизации толчком“ или „столкновением“, то при появлении в ней хотя бы одного иона мгновенно начнется разряд, при чем ток проходит в миллионы раз больший, чем могла бы непосредственно создать одна частица, даже если это α -частица, которая образует на своем пути свыше сотни тысяч ионов.

Для счетчика Гейгера совершенно безразлично, какая именно частица произвела первоначальную ионизацию, создала некоторое начальное количество ионов, так как любое исходное количество ионов в случае поля, достаточного для ионизации толчком, через несколько столкновений увеличивается в громадное число раз и приводит к разряду. Конструктивно камера в случае счетчика Гейгера имеет несколько другое оформление, чем камера, которую мы описали выше.

¹ Причиной появления этих ионов являются: 1) ничтожные количества радиоактивных веществ, содержащихся в земной коре, 2) ионизация ультрафиолетовыми лучами солнца и, наконец, 3) ионизация особым видом очень жестких лучей проникающее, космическое или (ультра- γ -излучение), доходящих к земле из мирового пространства.

Счетчик Гейгера (рис. 21) состоит из металлического кожуха, присоединенного к высоковольтной батарее, и иглы P , пропущенной внутрь счетчика сквозь крышку из очень хорошего изолятора. Игла отведена к земле через большое сопротивление R , которое настолько велико, что не успевает пропустить ток, идущий при разряде на иглу, благодаря чему потенциал иглы при разряде внезапно увеличивается, разряд прекращается, и игла медленно разряжается на землю. Скачки потенциала могут быть, как и в других счетчиках, усилены с помощью катодных ламп для записи на осциллографе, или без дальнейшего усиления приключаются к струнному электрометру A нить которого повторяет скачки потенциала, приближаясь к одному из „ножей“ электрометра в момент разряда и возвращаясь в исходное положение во время паузы между двумя отбросами. Исследуемые частицы пропускаются в камеру сквозь окошко O .



Рис. 22

Для внутреннего электрода выбрана форма иглы, так как при этой форме легче всего достигнуть значительного поля около самого электрода, чем обеспечивается большая чувствительность прибора и устойчивость его работы. Как мы говорили выше, для счетчика Гейгера число ионов, созданных одной вступившей в камеру частицей, играет второстепенную роль, и, следовательно, этот счетчик позволяет регистрировать не только α и H , но и β -частицы (см. рис. 22, на котором представлена запись α -, а затем β -частиц с помощью счетчика Гейгера и струнного электрометра).

Однако на-ряду со своими преимуществами счетчик Гейгера имеет и существенные недостатки. Во-первых, он не позволяет судить о природе частицы, вызвавшей отброс электрометра (толчок тока в разряде не зависит от первоначального числа ионов); во-вторых, требует чрезвычайно большого постоянства напряжения между кожухом и иглою ионизационной камеры, являясь в общем достаточно капризным прибором. Именно поэтому счетчик Гейгера неуклонно вытесняется более молодыми конкурентами — счетчиками с усилением на катодных лампах.

Мы ознакомились, таким образом, с основными техническими приемами, которые позволяют подойти к исследованию строения ядра на основе применения бомбардировки α -частицами ядер

нерadioактивных элементов. Мы рассмотрели спинциллирующий экран, камеру Уильсона, ионизационную камеру и счетчики — приборы, в которые вложено чрезвычайно много изобретательности и труда, но которые зато позволяют „видеть“ и „слышать“ отблески и отзвуки тех явлений атомного мира, которые связаны с отдельными α - и β -частицами. Не случайно мы не касались до сих пор γ -лучей, исследование которых сводится, в конечном счете, к тем же приемам, но производится несколько более косвенно и менее наглядно.

Способы изучения γ -лучей γ -лучи, как мы знаем, в отличие от лучей α и β представляют собой не поток заряженных частиц, несущихся с большими скоростями, а электромагнитные колебания, подобные свету или рентгеновым лучам, только со значительно меньшей длиной волны. Отличительным свойством γ -лучей является их громадная проникающая способность, которая растет с уменьшением длины волны и притом так, что самые „жесткие“ γ -лучи ослабляются слоем свинца в 1 см всего лишь наполовину; при достаточно же мощном источнике излучения они могут быть обнаружены после прохождения через слой свинца толщиной в 15 см. В менее плотных веществах γ -лучи поглощаются еще значительно слабее, беспрепятственно проходя, например, в воздухе расстояния, измеряемые многими сотнями метров.

Такая малая поглощаемость γ -лучей указывает на то, что они в очень малой степени расходуют свою энергию, проходя сквозь газ, а следовательно, не могут на своем пути отщеплять электроны от большого числа атомов, образуя ионы так, как это делают лучи α или β . Действительно, ионизация, производимая γ -лучами в газе, настолько незначительна, что ею практически невозможно пользоваться для изучения этих лучей, в то время как все методы исследования лучей α и β основаны, в конечном итоге, именно на их ионизирующей способности.

γ -лучи, подобно лучам Рентгена, вызывают почернение фотографических пластинок, однако этот способ обнаружения γ -лучей редко применяется на практике в виду сравнительно малой чувствительности светочувствительного слоя пластинок к этому виду излучения, что, в свою очередь, связано с их малой поглощаемостью.

Вторичные электроны По счастью, γ -лучи все-таки возможно достаточно удобно обнаружить и исследовать.

Дело в том, что, попадая на нейтральный атом, γ -лучи в некоторых случаях расходуют часть своей энергии на вырывание из этого атома одного из электронов оболочки. В то время как ионизация лучами α и β идет за счет уменьшения живой силы этих миниатюрных снарядов чудовищной разрушительной силы, так что после каждой новой ионизации уменьшается скорость пролетающей частицы, лучи γ , как и всякое другое электромагнитное колебание, распространяются со ско-

ростью света (300.000 км/сек), сохраняя эту скорость строго неизменной.

В чем же выражается уменьшение их энергии? Ведь мы знаем, что никакая работа не может быть выполнена без затраты соответствующего количества энергии, а, раз γ -лучи вырывают электроны из атомов, следовательно, они совершают работу против электрических сил, удерживающих электрон в составе атома.

Оказывается, что γ -лучи производят вырывание электронов за счет уменьшения своей частоты. Согласно теории квант, энергия излучения прямо пропорциональна его частоте (или обратно пропорциональна длине волны), так что, например, ультрафиолетовое излучение более „насыщено энергией“, чем видимый свет; в свою очередь рентгеновы лучи более богаты энергией, чем ультрафиолетовые, γ -лучи — более рентгеновых.

Таким образом, вырывание электрона из оболочки атома сопровождается уменьшением частоты γ -излучения, увеличением длины его волны. Это явление носит название явления или эффекта *Комптона*. „Вторичные“ или „комптоновские“ электроны, вырванные γ -лучами из оболочки нейтральных атомов, и представляют те последствия, по которым мы можем обнаруживать, измерять и исследовать γ -лучи.

Не имея возможности „непосредственно“ обнаружить γ -лучи ни методом спинцилляций, ни камерой Уильсона, ни счетчиками, мы можем их „проявить“, поставив на пути экран из тяжелого элемента (свинец, ртуть и т. д.) и обнаружив вторичные комптоновские электроны, вырванные ими из атомов тяжелого элемента. Изучая направления, скорости и число испущенных электронов, мы можем создать себе достаточно полное представление о вызвавшем их γ -излучении. Таким образом, вторичные электроны являются как бы „индикатором на γ лучи“ и, в конечном счете, позволяют пользоваться при обнаружении и измерении γ -лучей теми же методами, которые приняты для быстрых электронов (β -лучей), т. е. преимущественно ионизационной камерой и счетчиками.

Не станем долго останавливаться на дальнейших экспериментальных деталях исследования γ -лучей. Благодаря тому, что при этих исследованиях пользуются, так сказать, „третичными явлениями“ (γ -лучи вырывают комптоновские электроны, последние ионизуют газ в камере и только ионы этого газа дают измеряемый нами ток), все измеряемые величины очень малы (ток в ионизационной камере, число толчков тока в счетчиках) и требуют для своего измерения большой чувствительности приборов, вообще высокой экспериментальной техники. В частности, не мало осложняет производство опытов необходимость защиты измерительных приборов от рассеянного γ излучения, которое может совершенно исказить результат. Части установок для работы с γ -лучами защищаются толстыми свинцовыми экранами и перегородками толщиной иногда до 30 см.

V. ЯДРО ПОД ОБСТРЕЛОМ α -ЧАСТИЦ

Познакомившись с методами, позволяющими наблюдать действия отдельных частиц, испускаемых радиоактивными веществами, перейдем теперь к тем опытам, которые наряду с уже рассмотренными нами явлениями радиоактивного распада дали основной материал, на котором основаны наши представления о строении атомного ядра, т. е. к опытам по бомбардировке нейтральных атомов α -частицами.

Как мы знаем, ядро атома окружено оболочкой отрицательно заряженных электронов, которая защищает его от внешнего мира. Выбирая тип снаряда, который мы хотим забросить в ядро для исследования его свойств, мы должны остановиться на частице, которая возможно более беспрепятственно пронизывала бы электронную оболочку, проникая в центральные части атома. Испускаемые ядрами радиоактивных элементов α - и β -частицы обладают различной для различных элементов энергией; однако энергии α - и β -частиц во всяком случае довольно близки между собой (правда, большинство испускаемых ядрами β -частиц обладает энергией меньшей, чем у частицы α), так что на первый взгляд можно с одинаковой надеждой на успех бомбардировать ядра как α -, так и β -частицами.

Это, однако, совсем неверно: α -частицы, обладая массой, во много раз большей, значительно меньше отклоняются со своего пути при прохождении через внешнюю оболочку атомов, что можно видеть хотя бы из рис. 12 — 15, представляющих пути α - и β -частиц, снятые с помощью камеры Уильсона. Поэтому наш выбор должен остановиться на α -частице, которая и служила до последнего года единственным снарядом, которым пользовались для исследования ядер нерадиоактивных элементов.

Мы знаем, что не только силы, связывающие атомы в твердых телах, но и те силы, которые удерживают электронные оболочки атомов, — силы электрического происхождения, проявляющиеся как притяжение разноименных зарядов, исследованные еще полтора столетия тому назад французским физиком Кулоном, который, разумеется, и понятия не имел об электронах, ядрах и т. д. и производил свои опыты с легкими шариками на чувствительном приборе, называемом крутильными весами. Кулон установил, что сила притяжения двух разноименных зарядов или отталкивания двух одноименных возрастает с увеличением взаимодействующих зарядов (пропорционально их произведению) и убывает с увеличением расстояния между ними (обратно пропорционально квадрату расстояния). Свои опыты Кулон производил при расстоянии между центрами заряженных шариков, порядка сантиметров.

В дальнейшем все развитие представлений о периферической части атома (электронной оболочке), основанное на исследо-

ваниях электрических, химических, оптических и других свойств атомов, показало, что и взаимодействие отдельных атомов между собой и даже составных частей одного и того же атома подчиняется тому же закону Кулона, который таким образом оказался подтвержденным для взаимодействия зарядов, расположенных на расстояниях, измеряемых стомиллионными долями миллиметра.

Выяснение характера сил, действующих в самом сердце атома, его ядре, которое, как мы знаем, состоит в свою очередь из разноименно заряженных частиц, явилось задачей следующего этапа физики. Нельзя безоговорочно предположить, что и внутри ядра взаимодействие заряженных частиц подчиняется тому же закону Кулона, так как размеры ядра, как мы увидим в дальнейшем, еще в сотни тысяч раз меньше размеров атома. Для того чтобы выяснить характер взаимодействия составных частей ядра, установить внутреннюю структуру самой сокровенной части атома, нужно было прежде всего проверить справедливость закона Кулона в непосредственной близости атомного ядра. Для осуществления этого исследования можно воспользоваться быстрыми α -частицами, которые пролетают сквозь атом, подобно кометам через солнечную систему, почти достигая самого ядра.

Ясно, что при таком исследовании интересны только те редкие α -частицы, которые претерпевают значительное отклонение от своего пути при столкновении с атомом, так как это большое отклонение и указывает на то, что частица приблизилась к самому ядру (прохождение α -частицы через электронную оболочку, как мы знаем, не сопровождается сколько-нибудь заметным отклонением, благодаря тому, что масса электронов во много раз меньше чем у α -частиц).

Так как заряд α -частицы того же знака, что и заряд ядра, то взаимодействие между ними должно проявляться в виде взаимного отталкивания. Таким образом, наша аналогия с кометами оказывается неудачной: в то время как последние в сущности „падают к Солнцу“ и достигают максимальной скорости в непосредственной от него близости, α -частицы при движении к ядру тормозятся силами отталкивания, и это торможение тем резче, чем большим зарядом обладает ядро. Потому-то к ядрам могут подобраться только наиболее быстрые α -частицы и тем ближе, чем меньше заряд ядра, чем „легче“ атомы бомбардируемых элементов.

Разумеется, невозможно проследить во всех деталях путь α -частицы внутри атома; однако, если α -частица резко отклоняется от своего первоначального направления, то по величине этого отклонения можно судить о силах, которые на нее действовали во время полета вблизи ядра.

Способы изучения силового поля ядра с помощью α -частиц

Для исследования сил, действующих вблизи ядер различных элементов, или, как говорят, для изучения силового поля атомного ядра, пользуются следующим приемом: на биллионы нейтральных атомов обрушивают ураганный огонь сотен тысяч α -частиц, из которых громадное большинство на своем пути не проходит в непосредственной близости от ядер и почти на всем протяжении своего полета движется прямолинейно, постепенно утрачивая свою энергию, расходуемую на отщепление электронов оболочки; однако некоторое число α -частиц резко изменяет свое направление, что указывает на их столкновение с ядрами. Изучение именно этих α -частиц и дает возможность судить о силовом поле ядер.

Пути α -частиц и „вилки“

Наиболее наглядное представление о столкновении α -частиц с ядрами можно получить с помощью камеры Уильсона. Именно таким путем и пошел Блэкетт, пуская пучок α -частиц от радиоактивного препарата в камеру, заполненную исследуемым газом. Таким образом им были исследованы водород, гелий, кислород и аргон. Из полученных Блэкеттом фотографий три (для водорода, гелия и кислорода) приведены на рис. 23, 24, 25.

Среди обычных прямолинейных с небольшими искривлениями в самом конце путей α -частиц мы видим на каждой из приведенных фотографий так называемые „вилки“. Такая вилка — результат „столкновения“ α -частицы с ядром. Пролетая вблизи ядра и испытывая отталкивание, α -частица в то же время отталкивает и ядро. Чем легче ядро, тем большую скорость приобретает оно под влиянием отталкивания α -частицы, тем больший путь сможет оно пролететь в газе. Это подтверждается рисунками, на которых пути „ядер отдачи“ убывают с возрастанием массы ядра. В частности, на рис. 24, так как ядро бомбардируемого гелия совершенно подобно α -частице, его след после столкновения совершенно подобен следу α -частицы, так что никак не разобрать, который из путей принадлежит падающей α -частице, а который α -частице, подвергнувшейся удару.

Несмотря на всю свою наглядность и изящество, изучение рассеяния α -частиц ядрами с помощью камеры Уильсона имеет ряд существеннейших недостатков. Не говоря уже о том, что этот метод пригоден только для газа, исследование с камерой Уильсона представляет необычайно трудоемкий процесс. Вероятность прохождения α -частицы возле самого ядра, следовательно и образования „вилки“, как мы видели, очень мала. Так как на каждой фотографии не должно быть очень значительного количества путей, иначе в них невозможно будет разобратся, приходится впускать в камеру весьма ограниченное число частиц (для чего в качестве источника применяют „слабые“, т. е. испускающие небольшое количество частиц препараты). В силу этого на громадном большинстве фотографий



Рис. 23

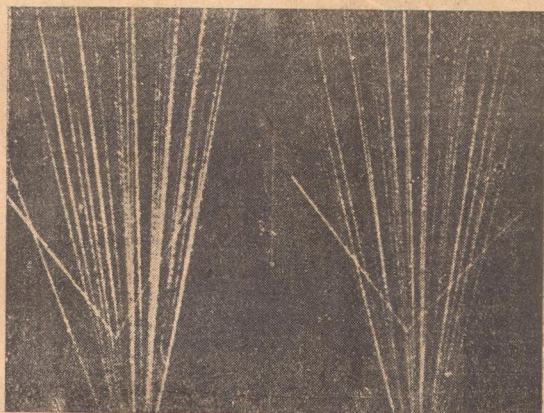


Рис. 24

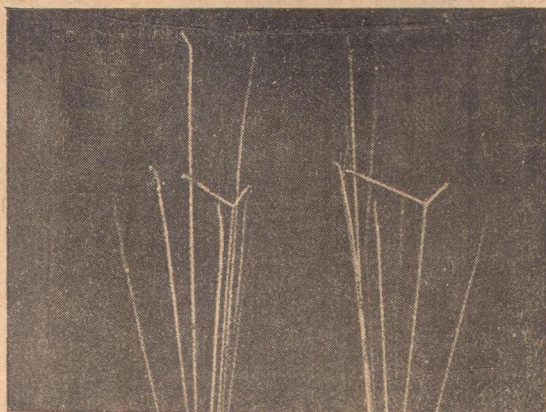


Рис. 25

вилок не получается; многие сотни снимков производятся „впустую“, результаты многомесячных экспериментов выражаются всего в немногих удачных фотографиях.

Распределение
рассеянных
 α -частиц по
углам

Поэтому при исследовании силового поля ядра обычно пользуются менее трудоемким приемом, который заключается в следующем. Громадным числом α -частиц обстреливается тончайшая пластинка из исследуемого вещества, а число рассеянных под различными углами частиц определяется по методу счета сцинтилляций. Таким образом удается определить, какая часть из всего числа рассеянных α -частиц отклоняется на данный угол. Этот же метод применим и для исследования рассеяния α -частиц в различных газах.

Не имея возможности подробно останавливаться на экспериментальных деталях этих исследований, рекомендуем тем из читателей, которые захотят с ними познакомиться, книгу Резерфорда, в лаборатории которого соответствующие методы были разработаны и были проделаны ставшие классическими опыты по рассеянию α -частиц.¹ Теория отклонения α -частиц, разработанная Резерфордом и Дарвином на основе представлений о взаимодействии α -частиц с ядром, подчиняющимся закону Кулона, позволяет предсказать число частиц, претерпевших отклонение на различные углы. Совпадение найденных опытным путем чисел с вычисленными показало бы, что предпосылки теории верны, т. е. что взаимодействие α -частицы с ядром на всем протяжении ее пути внутри атома действительно определяется кулоновскими силами.

Если бы, напротив, число α -частиц, отклоненных на определенный угол, оказалось меньшим или большим, чем вычисленное на основании теории, это значило бы, что частицы на своем пути внутри ядра испытывают силы меньшие или большие, чем следовало бы по закону Кулона. В таком статистическом исследовании числа частиц, рассеянных под различным углом, мы имеем средство „прощупать“ силовое поле вокруг ядра. Мы имеем как бы „зонд“, которым ощущаем тем более глубокие недра атома, чем больше угол, под которым мы наблюдаем рассеянные α -частицы.

Опыты Чадвика
по рассеянию
 α -частиц тяже-
лыми элемен-
тами

Один из талантливейших сотрудников Резерфорда Чадвик проделал ряд опытов со счетом α -частиц, рассеянных под разными углами. Им были „обстреляны“ быстрыми α -частицами тончайшие фольги из меди, серебра и платины. Подсчет частиц, рассеянных под различными углами, дал полное подтверждение теории. Помимо этого, опыты Чадвика позволили непосредственно определить заряд ядер

¹ Резерфорд — „Строение атома и искусственное разложение элементов“. Гиз (Современные проблемы естествознания) 1923 г.

исследованных элементов, при чем его результаты оказались в полнейшем согласии с определениями, полученными другими методами, что было грандиозным торжеством опытов по обстрелу атомов α -частицами. Минимальное расстояние, на которое при этих опытах α -частицы подбирались к платиновому ядру, измеряется всего семью биллионными сантиметра (7×10^{-12} см).

Из своих опытов Чадвик заключил, что на этих расстояниях кулоновский закон взаимодействия заряженных тел еще остается в силе.

Рассеяние α -частиц ядрами легких элементов

Чтобы прозондировать силовое поле в областях, еще более близких к ядру атома, следовало обратиться к более легким элементам, ядро которых, обладающее меньшим зарядом, способно „подпустить“ к себе α -частицу на еще меньшее расстояние.

Эти опыты были проделаны другим сотрудником Резерфорда — Билером. К сожалению, „поголовное“ исследование легких элементов весьма затруднительно в силу их неблагоприятных химических свойств, и Билеру пришлось ограничиться исследованием магния и алюминия с зарядами ядер, равными соответственно $+12$ и $+13$ элементарным. При своих опытах Билеру удалось заметить частицы, отклоненные на углы значительно большие, чем в опытах Чадвика (вплоть до 90°), что указывает на более глубокое проникновение частиц в „приядерную область“. При этих опытах вскрылись противоречия между теорией Дарвина — Резерфорда, рассматривавших α -частицы и ядра как точечные одноименные заряды, взаимодействующие по закону Кулона. Число наблюдаемых α -частиц, рассеянных под большими углами, значительно меньше, чем следовало по теории.

В чем здесь дело? Действуют ли на столь малых расстояниях какие-то новые силы, с проявлениями которых не приходится сталкиваться при исследовании обычных неизмеримо более крупных объектов? Заменяется ли взаимное отталкивание одноименных зарядов, наблюдаемых на больших расстояниях, силами притяжения? На эти вопросы опыты Билера ответа еще не дают. Однако на основании довольно наглядных предположений можно дать одно из возможных объяснений наблюдаемых отступлений от закона Кулона.

Толкование результатов исследования рассеяния α -частиц легкими ядрами

Ведь, в сущности говоря, закон Кулона справедлив только для точечных зарядов, иначе говоря, для таких заряженных тел, размеры которых значительно меньше, чем расстояние между ними. Это условие вряд ли выполняется при тех расстояниях, на которые α -частицы приближались к легким ядрам в опытах Билера. Ведь как α -частицы, так и обстреливаемые ядра представляют собой сложные образования из положительных и отрицательных частиц, и только на довольно больших расстояниях их можно рассматривать как од-

нородные частицы с зарядом, равным сумме зарядов их составных частей (протонов и электронов). Вникая более глубоко в процесс „столкновения“ α -частицы с ядром, мы не должны забывать о том, что α -частица отталкивается только протонами ядра, но в то же время притягивается внутриядерными электронами. Поэтому можно ожидать, что при приближении α -частицы к ядру его электроны будут смещаться навстречу частице, а протоны — отталкиваться в „дальнюю часть“ ядра. При этом расстояние от α -частицы до положительного заряда ядра (протонов) увеличится, а до внутриядерных электронов — уменьшится, и, следовательно, силы отталкивания будут расти с уменьшением расстояния медленнее, чем по закону Кулона, а силы притяжения от внутриядерных электронов — быстрее, чем можно было бы ожидать для точечного ядра.

Таким образом, электрическое поле приближающейся α -частицы может вызвать расталкивание противоположно заряженных частей ядра в разные стороны, т. е. смещение зарядов, которое в электростатике носит название поляризации. Проведенный на основе этих представлений упрощенный подсчет дает результаты, очень близкие к тем, которые в своих опытах получил Билер, а именно, что на α -частицу, подлетающую совсем близко к ядру, кроме кулоновской силы отталкивания (обратно пропорциональной квадрату расстояния), действует еще и сила притяжения, очень быстро возрастающая с приближением к ядру (обратно пропорционально пятой степени расстояния), которая, начиная с определенного расстояния, (по Билеру для ядра алюминия оно равно трем десятибиллионным сантиметрам — 3×10^{-13}), даже превосходит силу отталкивания.

Таким образом, можно сказать, что представление о поляризуемости ядер дает удовлетворительное объяснение кажущимся отступлениям от законов Кулона. Кроме того, в опытах по рассеянию α -частиц легкими ядрами мы встречаем подтверждение нашей теории о существовании в ядре разноименно заряженных частиц; наконец, все известные до сего времени факты говорят в пользу справедливости электростатического закона Кулона даже и для таких ничтожных расстояний, как в ядре.

Эта область (рассеяние α -частиц) представляет одну из наиболее разработанных и вместе с тем наиболее интересных отраслей исследования ядра. Помимо того интереса, какой представляет само по себе исследование природы тех сил взаимодействия, которые связывают между собой составные части ядер, опыты по рассеянию α -частиц дают возможность оценить размеры атомных ядер.

Число α -частиц, отброшенных при столкновении с ядрами золота под углом большим 90° , составляет не более одной десятитысячной от всех падающих α -частиц. Если мы учтем, что каждая из частиц

Размеры атомных ядер

прежде чем потерять свою скорость, пронизывает также около десятка тысяч атомов, то мы приходим к заключению, что α -частица попадает в ядро только в одном из ста миллионов столкновений с атомами. Представим себе ядро атома как центральное черное яблоко в белой мишени, площадь которой соответствует размерам всего атома. Из этого наглядного примера мы видим, что радиус ядра относится к радиусу атома, как один к корню квадратному из ста миллионов, т. е. 1 к 10 000.

Таким образом, поперечник ядра примерно в 10 000 раз меньше диаметра атома. Так как радиус атома золота измеряется примерно одной стомиллионной сантиметра, то радиус ядра не превышает одной биллионной сантиметра (т. е. выражается десятичной дробью, у которой после запятой идет одиннадцать нулей).

Необходимо заметить, что такие рассуждения дают величину ядра только очень приблизительно. Различные исследователи, занимавшиеся рассеянием α -частиц, предлагают несколько различные цифры. Размеры ядер для радиоактивных элементов могут быть оценены и на основании совсем иных соображений, на которых мы здесь не имеем возможности остановиться. Наконец, опыты по искусственному разрушению ядер, в свою очередь, позволяют произвести оценку размеров ядер и опять-таки дают несколько иные значения. Таким образом, вопрос о размере атомных ядер нельзя считать окончательно решенным, однако те пределы, в которых лежат эти размеры, или, как говорят физики, их „порядок величины“ можно оценить с достаточной достоверностью. „Порядок“ поперечников ядер — несколько биллионных сантиметра, ядра зачинают ничтожную часть объема атома. Более точное определение внутриатомных размеров — дело дальнейших исследований.

Разрушение ядер Раскроем теперь самую славную страницу исследования атомного ядра, на которой мы опять-таки встретим имя знаменитого Резерфорда, которому впервые удалось опровергнуть представление о невозможности превращений нерадиоактивных элементов, посчастливилось разрушить атомное ядро и тем самым широко раздвинуть рамки наших представлений о внутреннем строении вещества. Во всех опытах по разрушению ядер особую роль играют H -частицы — быстрые протоны. Для того чтобы понять тот путь, которым Резерфорд пришел к своим классическим опытам, необходимо коротко остановиться на некоторых свойствах этих H -частиц, которые могут быть изучены и не только при разрушении ядер.

H -частицы Опытный игрок на бильярде, точно ударив кием белый шар в центр, может добиться совершенно центрального удара этого шара в центр другого, скажем красного. При этом после столкновения белый шар остановится, „как вкопанный“, а красный покатится с той скоростью, которой

обладал белый до столкновения. Это явление происходит, однако, лишь при одном специальном условии, которое как раз на билиарде выполнимо: именно если шары обладают одинаковым весом, вернее, одинаковой массой. Если бы красный шар имел значительно большую массу, чем белый, он вовсе бы не пришел в движение, а белый отскочил бы от него, как от стенки. Если бы, напротив, тяжелее был белый шар, то красный после удара получил бы значительно большую скорость, а белый продолжал бы двигаться, хотя и медленнее, чем до столкновения.

Уменьшив размеры наших билиардных шаров приблизительно в билион раз, мы приходим к размерам атомных ядер. Представим себе теперь, что белый шар это α -частица (ядро гелия), а красный — ядро какого-нибудь иного атома, которое подвергается центральному удару α -частицы.

Мы уже видели, что, в сущности говоря, ни ядро ни α -частица не представляют собой в действительности упругих шариков. Их состав, строение, а следовательно и силы взаимодействия между ними в момент удара будут резко отличаться от того, что имеет место при ударе упругих шариков, однако для того, чтобы составить себе представление о характере ядерных столкновений, и даже для количественного описания этих столкновений, аналогия с билиардными шарами окажется очень полезной.

Масса большинства атомных ядер, как мы знаем, значительно больше, чем у α -частицы и при столкновении с таким ядром α -частица должна отскочить, при чем „подстреленное ядро“ после столкновения будет получать тем меньшую скорость, чем больше его масса. Это весьма наглядно подтверждается photographиями, снятыми с помощью камеры Уильсона с „нецентральных“ ударов α -частиц о ядра гелия и кислорода (рис. 24 и 25). Если, однако, представить себе, что α -частица ударяется о ядро водорода, в четыре раза более легкое, чем она сама, то можно ожидать, что после удара частицы будут вести себя, как шары во втором примере из билиардной игры, т. е. что легкое ядро водорода приобретет скорость значительно (по расчету на 60%) большую, чем первоначальная скорость α -частицы. Такое водородное ядро еще в большей степени, чем α -частица, будет обладать способностью беспрепятственно пронизывать атомы вещества, пролетая значительно более длинные прямолинейные пути, чем сама α -частица (рис. 23).

Таким образом, вследствие ядерного столкновения α -частицы с атомом водорода возникает быстро несущееся водородное ядро с большим пробегом, так называемый H -луч или H -частица.

Один из сотрудников Резерфорда — Дарвин, разработавший совместно с ним теорию рассеяния α -частиц, подсчитал, что такие частицы будут обладать в воздухе пробегами в четыре

раза большими, чем α -частицы, столкновению с которыми они обязаны своею скоростью.

Другому сотруднику Резерфорда—Марсдену удалось получить эти H -частицы. При бомбардировке сжатого водорода, а позднее твердых химических соединений, содержащих большие количества водорода (например, парафин), миллионами α -частиц от сильного радиоактивного препарата¹ Марсдену удалось наблюдать единичные H -частицы. Они оказались настолько проникающими, что их присутствие могло быть установлено с помощью сцинцилляций после прохождения пластинки из слюды, соответствующей воздушному промежутку около 30 см. Пробег выбивающих эти протоны α -частиц был немного больше 7 см., так что отношение пробегов, в полном согласии с предсказанием Дарвина, оказалось равным 4:1.

Подобно α -частицам H -частицы при столкновении с экраном из сернистого цинка также дают вспышки, но эти сцинцилляции, впервые наблюдаемые Марсденом, значительно слабее сцинцилляций, вызванных α -частицами, вследствие чего их гораздо труднее наблюдать. Ионизирующая способность и фотографическое действие этих „водородных лучей“ также значительно слабее, чем у α -частиц. Кроме того, опыты с H -частицами осложняются тем, что они испускаются в чрезвычайно малых количествах.

Марсден установил, что при прохождении ста тысяч α -частиц через сантиметровый слой водорода при атмосферном давлении выбивается всего одна H -частица. В такой малой „меткости“ бомбардировки водородных ядер α -частицами нет впрочем ничего удивительного, стоит только вспомнить ничтожные размеры как снаряда, так и мишени.

Однако, несмотря на малый выход H -частиц при бомбардировке водорода и его соединений α -частицами, „естественные H -частицы“, т. е. ядра водорода, которым сообщена огромная скорость ударом α -частицы, были наблюдаемы различными способами. На одной из знаменитых фотографий Блэккетта (рис. 23) можно видеть след α -частицы до и после столкновения с ядром, а также след выбитой H -частицы. С помощью камеры Уильсона фотографии путей H -частиц, выбитых из парафина, делались неоднократно; а пользуясь способностью H -частиц вызывать сцинцилляции, можно построить очень несложный приборчик, позволяющий видеть вспышки, вызванные H -частицами.

Этот прибор назван H -спинтарископом по аналогии с обычным спинтарископом, позволяющим наблюдать сцинцилляции непосредственно от α -частиц. Применяемый в этом приборе источник H -частиц

¹ Для всех явлений, происходящих с ядрами, несущественно — свободны ли соответствующие атомы или связаны в химические соединения.

изготавливается следующим образом. На небольшой серебряной или никелевой пластинке осаждается сильно радиоактивное вещество — полоний, испускающее исключительно α -лучи с пробегом в воздухе около 4 см. С помощью микротомы (перемещающаяся на салазках бритва, применяемая биологами для изготовления тончайших срезов тканей для микроскопического исследования) вырезается лепесток парафина толщиной в несколько сотых миллиметра, укрепляемый на тонком листке слюды. Толщина последнего подбирается таким образом, чтобы в ней были задержаны все α -частицы, выходящие из полония.

Если такой двойной слой положить вниз парафином на препарат полония, то большинство испускаемых им α -частиц со всей своей энергией бомбардируют парафин, но не могут вылететь наружу, застревая в слое слюды. Вместе с тем выбитые из парафина водородные ядра обладают настолько большой

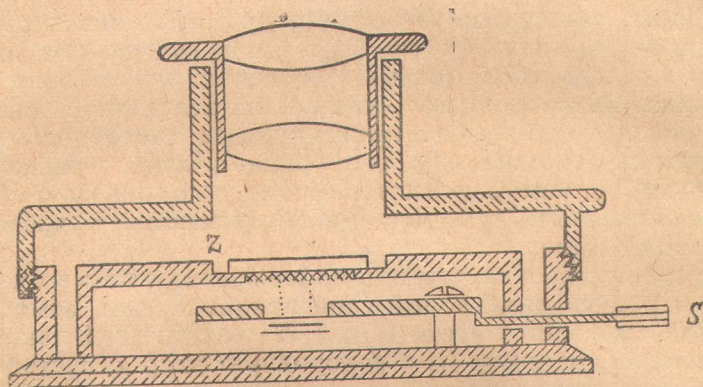


Рис. 26

проникающей способностью, что они легко пронизывают парафин и слюду и даже вызывают сцинтилляции на поставленном по другую сторону слюды экране.

На рис. 26 представлен в разрезе *H*-спинтарископ, который позволяет не только наблюдать сцинтилляции от *H*-частиц, но и сравнить их со сцинтилляциями α -частиц от слабого препарата полония. Оба источника (изготовленный, как было описано, источник *H*-частиц и открытый слабый препарат полония) помещены на подвижном держателе, который с помощью штифта *s* может быть установлен так, чтобы на экран *z* попадало излучение от любого из этих источников.

Если дать глазам отдохнуть в течение 10—15 минут в абсолютно темном помещении, то затем через микроскоп в верхней части прибора можно наблюдать мельчайшие, подобные булавочному уколу, вспышки, вызванные *H*-частицами, и значительно более яркие „ α -вспышки“ и, таким образом, стать свидетелем „бильярдной игры“ атомных ядер.

Однако, несмотря на то, что имеется ряд методов, допускающих наблюдение H -частиц, вплоть до чрезвычайно несложных в роде H -спинтарископа, все же нельзя забывать, что образование H -частицы—явление чрезвычайно редкое. Даже используя почти полностью всю энергию испускаемых α -частиц, поглощая их в слое парафина, не приходится рассчитывать на выход больший, чем сто H -частиц на миллион падающих „ α -снарядов“.

Вместе с тем H -частицы сами по себе достаточно интересны; они представляют собой протоны, т. е. наряду с электронами являются теми мельчайшими основными элементами, из которых построены все ядра, и, наконец, обладают громадной кинетической энергией, так что невольно напрашивается идея использовать именно их для опытов по обстрелу ядер; однако до последнего времени такие опыты не могли быть поставлены, в виду отсутствия достаточно мощных источников естественных H -частиц.

Идея искусственного расщепления атомов или превращения элементов зародилась еще в средние века. Во времена алхимиков поиски „философского камня“, с помощью которого можно превращать один элемент в другой, проводились при непосредственной поддержке феодальных владык, рассчитывавших таким образом поправить финансовое благосостояние своих государств и в первую очередь зачинить прорехи в собственных карманах.

Несмотря, однако, на эту поддержку, в исторических документах почти не встречается указаний на успешные результаты превращения „неблагородных металлов“ в золото. Единичные „удачные“ опыты не поддавались повторению, ибо или во время исчезал удачливый алхимик, или иссякали источники его „философского камня“. Естественно, что постоянные неудачи приводили в ярость „высоких покровителей“, и не мало алхимиков, не оправдавших надежд феодальных владык, покончили свою жизнь на виселице, плахе и костре. Однако даже и в тех случаях, когда интерес правителей к алхимическим опытам иссякал, верные своему делу алхимики продолжали свои „исследования“, окрыляемые не только и не всегда стремлением к наживе, а и философскими соображениями, согласно которым еще со времен Аристотеля предполагалось, что все существующее многообразие форм вещества состоит из одной и той же „первичной материи“, а следовательно, эти формы при соответствующих условиях могут перейти из одной в другую.

Нельзя, конечно, сказать, что все данные, полученные алхимиками, пропали даром; кое-чем смогла воспользоваться химия, которая, выкристаллизовавшись после Лавуазье в самостоятельную точную науку, заменила в большинстве шарлатанскую и непоследовательную алхимию; однако с полной достоверностью можно утверждать, что поиски „философского камня“ средневековыми алхимиками в вопросе о превращениях элементов

положительных результатов не дали, да и не могли дать, так как слишком уж бедны были те отрывистые сведения о строении вещества, которыми располагали исследователи того времени.

По мере развития химии представление об устойчивости и „непревратимости“ элементов начинает становиться все более и более распространенным, так что даже знаменитый Менделеев был убежденнейшим сторонником независимости отдельных химических элементов и считал нелепой идею „первичной материи“. Оружие, имевшееся в руках химиков, было ничтожно перед громадными силами, связывающими между собой части атомных ядер, и долго еще превращение элементов представлялось „быть может осуществимым теоретически, но невысказанным на практике“.

Открытие самопроизвольного (радиоактивного) распада некоторых новых элементов, естественно, пробудило интерес к старой, заброшенной проблеме превращения элементов. Возник ряд исследований, посвященных превращению обычных, нерадиоактивных элементов. Хотя имеющиеся в арсенале физика и химика меры воздействия не оказывали ни малейшего влияния на ход радиоактивных превращений, самые эти процессы в виде радиоактивных излучений дали в руки физиков могущественное оружие для атаки ядра, так как вскоре после открытия радиоактивности уже стало известно, что радиоактивные излучения способны затрагивать глубокие недра атомов и вызывать столь значительные потрясения в их структуре, каких не удавалось вызвать никакими другими воздействиями. Казалось возможным, что при некоторых особенно удачных столкновениях частиц, выброшенных при радиоактивном распаде, с ядрами атомов можно ожидать разрушения последних. В то же время из опытов по рассеянию α -частиц было известно, что такие столкновения должны быть необычайно редкими. Естественно, что в качестве снаряда, предназначенного для разрушения ядра, были выбраны α -частицы в силу своей огромной энергии и количества движения, которые соответствуют скорости атомов гелия при температуре в шестьдесят миллиардов градусов (6×10^{10}).

Начиная с 1907 г. разные исследователи бились над проблемой расщепления ядер ударами α -частиц. Нередко им казалось, что результат достигнут, т. е. что под действием энергичной бомбардировки α -частицами в исходном материале появлялись некоторые примеси посторонних элементов, однако эти утверждения не выдерживали серьезного анализа, так как всегда оказывалось, что появление новых примесей объяснялось какими-либо „более прозаическими“ причинами (загрязнение исходного материала, сосуда и т. п.).

Только в 1919 г. Резерфорду впервые удалось установить разрушение ядер. Это событие по своему значению стоит на-ряду с открытиями Беккереля (радиоактивность) и Рентгена, так как открыло

Открытие
Резерфорда

совершенно новый путь исследования строения материи. Как и два других великих открытия, окрыливших физику двадцатого века, открытие Резерфорда было им сделано случайно.

После того, как Марсдену удалось ударом быстрых α -частиц о ядра водорода придать последним громадную скорость (H -частицы), Резерфорд решил попробовать получить аналогичным образом ускоренные ядра других легких элементов. Метод эксперимента был в высшей степени простым и вместе с тем чувствительным; конструкция прибора ясна из рис. 27. Источником α -лучей служил сильный препарат радия C , нанесенный на поверхности диска D , укрепленного на направляющей $B-B$, и заключенный в прямоугольную коробку $A-A$, которая была достаточно хорошо уплотнена и могла быть откачана и запол-

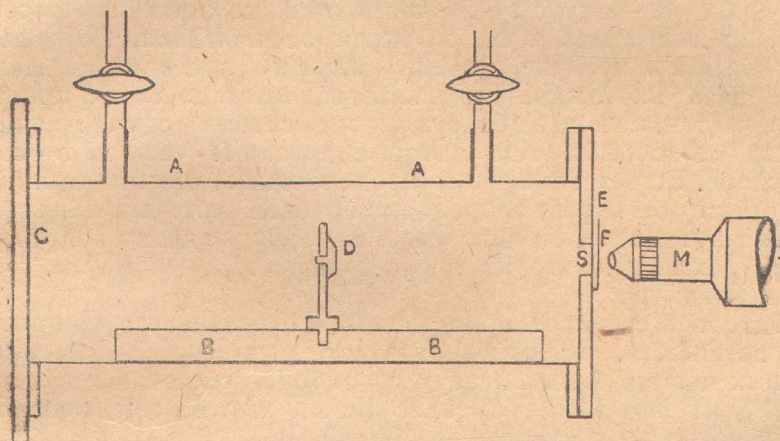


Рис. 27

нена любым газом. В дне E коробки было проделано отверстие, закрытое тонкой серебряной фольгой, за которой, на расстоянии около 2 мм, был укреплен экран из сернистого цинка F . Весь прибор помещался в сильное магнитное поле, загибавшее выбрасываемые препаратом β -частицы, которые в противном случае попадали на экран и вызывали его свечение, что делало невозможным наблюдение сцинтилляций.

Пока расстояние между диском D и экраном F (включая толщину фольги, которая соответствовала воздушному промежутку в несколько сантиметров) не превышало пробега α -частиц, испускаемых препаратом, на экране вспыхивало бесчисленное множество сцинтилляций, вызванных α -частицами, выброшенными препаратом, но не они интересовали Резерфорда. Он искал сцинтилляции при пробеге частиц, превышающем 7 см, — результат удара „вторичных частиц“ — ядер газа, заполняющего сосуд, приведенных в движение ударом α -частиц.

Резерфорд исследовал азот, кислород, воздух и углекислоту и сразу же установил наличие немногочисленных сцинтилляций при расстоянии от препарата до экрана в 9 см воздушного пробега. Вначале он предположил, что причина этих сцинтилляций лежит в ударах атомов кислорода и азота, получивших большие скорости от удара α -частиц; однако вскоре он сам отверг это объяснение, так как ему удалось показать, что радий *C*, на-ряду с громадным количеством α -частиц с пробегом в 7 см испускает небольшое количество так называемых дальнوبرежных α -частиц, о которых нам уже приходилось говорить в связи с γ -лучами. Пробег этих частиц равен в воздухе 9 см, так что сцинтилляции, о которых мы только что говорили, несомненно объяснялись длиннوبرежными α -частицами.

Однако на-ряду с этими частицами, которые при расстояниях, превышающих 9 см, на экран не попадали, Резерфорду при опытах в воздухе с очень сильным препаратом удалось установить ничтожное количество значительно более проникающих частиц, которые обнаруживались слабыми сцинтилляциями экрана, подобными тем, которые давали *H*-частицы в опытах Марсдена. Естественно было предположить, что эти частицы и есть быстрые ядра водорода, появление которых Резерфорд приписал вначале столкновению α -частиц с ядрами водорода в молекулах воды, которые могли содержаться в воздухе, заполняющем камеру.

Однако все усилия, приложенные к очистке воздуха от остатков влажности, не изменили заметным образом числа выброшенных частиц. Когда воздух в приборе (состоящий примерно на 80% из азота) был заменен чистым азотом, число сцинтилляций возросло в отношении 100:80.

После этого Резерфорду стало ясно, что соответствующие частицы несомненно происходят из азота, и в 1919 г. им было выдвинуто смелое утверждение о том, что они представляют собой осколки ядер, водородные ядра — протоны, выбитые из ядер азота быстрыми α -частицами.

Таким образом, те слабые сцинтилляции, которые Резерфорд считал на экране из сернистого цинка, расположенном вне пределов досягаемости для α -частиц, испускаемых препаратом, — по его мнению представляли первое указание на превращение элементов, вызванное громадной энергией налетевшей α -частицы, но происходящее исключительно редко: в случае совершенно центрального удара α -частицы в ядро.

В кислороде и углекислоте таких частичек наблюсти не удалось, так что вначале азот был единственным элементом, ядро которого оказалось возможным „взорвать“.

Прежде чем перейти к дальнейшим обобщениям и выводам из этого важного открытия, необходимо было убедиться в том, что длиннوبرежные частицы, вызывающие сцинтилляции экрана в опытах Резерфорда, действительно *H*-частицы, т. е. быстрые

протоны. Для окончательного суждения об их природе было недостаточно того, что они обладают пробегом не меньшим, чем у естественных H -частиц, и вызывают подобно им слабые сцинтилляции экрана. Поэтому были произведены опыты по отклонению этих частиц в магнитном поле, которые показали, что они действительно отклоняются и притом в надлежащую сторону и на такую величину, которая соответствует протону, несущемуся со скоростью, соответствующей его пробегу.

Эти опыты окончательно установили природу частиц, появление которых Резерфорд приписал искусственному расщеплению ядер.

Открытие Резерфорда, — пожалуй, самое значительное во всей его блестящей научной деятельности — вызвало необычайный интерес в научном мире. Несмотря на исключительный авторитет Резерфорда, вначале казалось слишком мало вероятным, что немногие слабые сцинтилляции, наблюдаемые на экране при наличии в миллион раз более сильной бомбардировки α -частицами, представляют собой осуществление мечты многих столетий, подтверждение гипотезы Проута и начало объединения физики и химии в новую отрасль науки, ставящей себе конечной целью исследование строения атомного ядра и искусственное его расщепление.

Однако дальнейшие опыты, проведенные Резерфордом совместно с одним из его наиболее талантливых учеников Чадвиком, полностью подтвердили его первоначальное смелое предположение.

Основным возражением против первых опытов Резерфорда оставалась ссылка на возможность образования „естественных“ H -частиц, ускоренных ядер водорода, под влиянием столкновения α -частиц с ничтожным количеством водорода, который мог в чистом виде или как соединение быть подмешан к исследуемым газам.

Однако опыты Резерфорда и Чадвика окончательно устранили это основное затруднение. Ими было показано, что H -частицы, получающиеся при бомбардировке азота, обладают значительно большим пробегом, чем „естественные“ H -частицы, полученные в водороде. Например, бомбардировка водорода α -лучами радия C с пробегом 7 см дает частицы, поглощающиеся слоем воздуха толщиной в 29 см, те же самые α -частицы, проходя в азоте, выбивают H -частицы с пробегом в 40 см. Эти опыты окончательно решили в положительном смысле вопрос, об осуществлении искусственного разрушения ядер, показав, что образование H -частиц в азоте не может быть приписано наличию примеси водорода.

Они дали также возможность подойти к искусственному разрушению ядер других элементов, ибо, располагая экран на расстоянии, превышающем по своей поглощающей способности

32 см воздуха, можно было иметь полную уверенность в том, что „естественные H -частицы“ до него не долетят, а следовательно, наличие сцинтилляций будет означать, что происходит расщепление ядер исследуемого элемента.

Дезинтеграция
других эле-
ментов

Таким путем было с несомненностью показано, что α -частицы вызывают расщепление или, как говорят, дезинтеграцию шести элементов, а именно: бора, азота, фтора, натрия, алюминия и фосфора. Разумеется, был подвергнут исследованию и ряд других элементов, но в этих опытах выбивания длиннопробежных протонов не наблюдалось. Конечно, можно было предположить, что протоны выбиваются и из ядер других элементов, но только обладают пробегами меньшими, чем 32 см воздуха. Поиски этих протонов, однако не дали вначале интересных результатов. Правда, было установлено, что протоны с небольшими пробегами наблюдаются почти всегда, однако, можно было думать, что они частью испускаются источником α -частиц, а частью объясняются примесью водорода или его соединений к исследуемым веществам.

Метод наблю-
дения под углом
к направлению
 α -частиц

Однако при проведении этих опытов было установлено, что при дезинтеграции протоны выбрасываются по всевозможным направлениям, в то время как естественные H -частицы (ядро водорода, ускоренное ударом α -частицы) вылетают только в направлении движения этих α -частиц. Поэтому, наблюдая сцинтилляции под углом, скажем, в 90° к направлению движения α -частиц, можно было с уверенностью сказать, что каждая вспышка — результат разрушения ядра, так как естественные H -частицы не могут попасть на экран.

Исходя из этого, Резерфорд и Чадвик вели дальнейшие свои исследования с другим прибором, схема которого изображена на рис. 28.

Пучок α -лучей от источника C падал на исследуемое вещество, помещенное на пластинке F , а сцинтилляции, вызванные выбитыми из него частицами, наблюдались на экране из сернистого цинка O , расположенного под углом в 90° (или более) к направлению падающих α -частиц. Как источник, так и исследуемое вещество были заключены в латунную коробку, из которой во время опыта выкачивался воздух. Экран находился снаружи этой коробки, против окошка, закрытого слюдяной пластинкой, толщина которой соответствовала слою воздуха в 7 см.

В этих условиях всякая сцинтилляция указывала на разрушение ядра. Естественные H -частицы на экран не попадали, что было проверено напусканьем в сосуд водорода, в результате которого число сцинтилляций несколько не увеличивалось.

С помощью этого прибора Резерфорду и Чадвику удалось доказать разрушение ядер еще семи элементов: неона, магния, кремния, серы, хлора, аргона и калия. Не удалось установить

дизинтеграции гелия, лития, бериллия, кислорода и углерода, а также элементов с атомным весом большим, чем у калия. Таким образом, в результате опытов Резерфорда оказались разрушенными ядра всех легких элементов, кончая калием, за исключением водорода, гелия, лития, бериллия, углерода и кислорода. Для всех этих элементов разрушение ядер сопровождается выбрасыванием чрезвычайно быстрых протонов

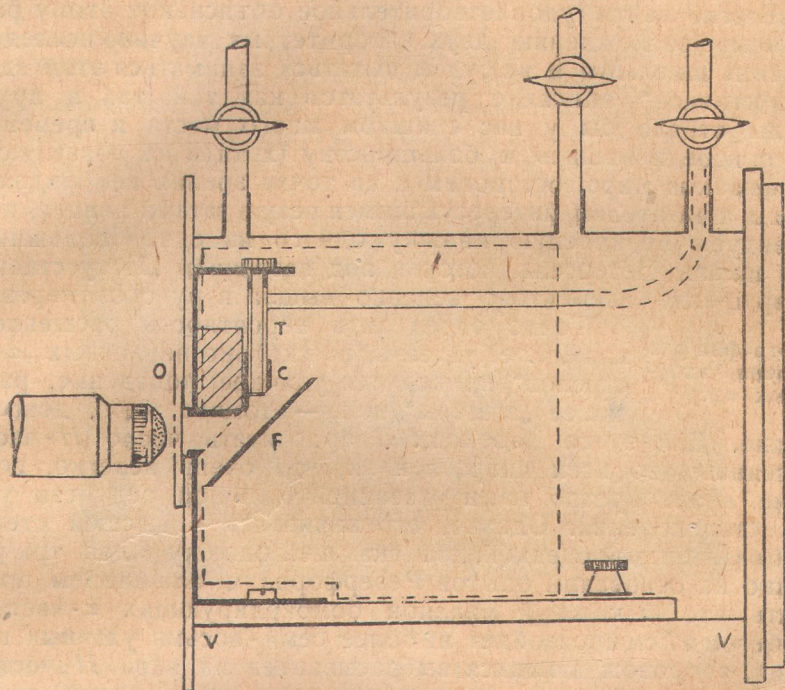


Рис. 28

и притом (во всяком случае, для большинства элементов) — во всевозможных направлениях.

Вскоре после первых опытов Резерфорда по разрушению ядер азота и одновременно с началом опытов Резерфорда и Чадвика, проблемой разрушения атомного ядра занялись двое венских ученых — Петерсен и Кирш, возглавившие в дальнейшем целую венскую школу исследования атомного ядра. Эта школа провела и проводит большое количество экспериментов по искусственному разложению ядер и связанным с этим вопросом задачам. Результаты этих исследований в большинстве случаев стоят в очевидном противоречии с данными Резерфорда и Чадвика. Коротко говоря, основным пунктом противоречия является то, что по опытам венцев расщепление ядра происходит

Разногласие между кембриджской и венской школами

значительно легче и чаще, чем это следует из результатов кембриджской школы. Кириш и Петерсен находят, что ядра почти всех элементов могут быть расщеплены ударом α -частиц, и вероятность этого расщепления даже для тех элементов, разрушение которых признают доказанным Резерфорд и Чадвик, по данным венцев значительно большая, чем по данным кембриджцев.

Нелегко найти удовлетворительное объяснение этому радикальному расхождению двух авторитетных научно-исследовательских школ. Мы и не будем пытаться заниматься этим здесь; „объективное“ описание результатов как той, так и другой школы отняло бы у нас слишком много места и времени, и мы, присоединившись к большинству (хотя и не подавляющему) физиков мира, остановимся на точке зрения кембриджской школы, а читателям, интересующимся результатами венцев, порекомендуем прекрасную книжку одного из основоположников этой школы, Петерсена, которая под названием „Искусственное превращение элементов“ недавно вышла в русском переводе.

Точно определить вероятность расщепления ядра, т. е. указать, на сколько неудачных „ α -выстрелов“ приходится удачное попадание, разносящее „в щелы“ цель — атомное ядро, довольно трудно. Для этого необходимо подсчитать число H -частиц, рассеянных во всех направлениях, что очень нелегко, вследствие неоднократно нами указанной большой редкости удачных столкновений. Однако, ограничиваясь в высшей степени приблизительной оценкой, допускающей ошибку в два-три раза, можно на основании опытов Резерфорда с алюминием утверждать, что на каждый миллион бомбардирующих α -частиц с пробегом в 7 см произойдет не более семи-восьми удачных попаданий, сопровождающихся выбрасыванием из ядра H -частицы. Для более тяжелых элементов (как хлор, аргон, калий) вероятность дезинтеграции еще значительно меньше и не превышает одной миллионной.

Когда вдумаясь в эти цифры, становится понятным, на какую громадную работу самоотверженно пошли два исследователя школы Резерфорда Блекетт и Гаркинс, поставившие себе целью заснять с помощью камеры Уильсона самый процесс разрушения атомного ядра ударом α -частицы. Вместе с тем их работа была действительно необходима по следующим соображениям. Описанные выше опыты Резерфорда и Чадвика сводились к регистрации на экране вспышек — результатов ударов H -частиц, образовавшихся при распаде ядра. В них исследователи фиксировали только одну точку на пути осколка ядра именно — его конечную точку. Этот метод не давал никаких сведений о движении остальной части ядра и α -частицы. Наиболее наглядным, и, пожалуй, единственным средством изучения всего процесса разрушения ядра является камера Уильсона, поэтому ею

и решили воспользоваться Блекетт и Гаркинс. Так как вероятность разрушения ядра необычайно мала—например, для наиболее удачных условий (азот) не превышает 20 случаев дезинтеграции на миллион падающих частиц,—сразу стало очевидно, что прежде чем посчастливится заснять удачный момент, понадобится снять громадное количество фотографий путей α -частиц в газе.

Опыты Блекетта Поэтому камера Уильсона была сконструирована так, что фотографии производились раз за разом, автоматически, через каждые 10 или 15 секунд. Фотографировались одновременно два снимка перпендикулярно друг к другу, чтобы получались две проекции путей и выяснялось их расположение в пространстве. Источ-

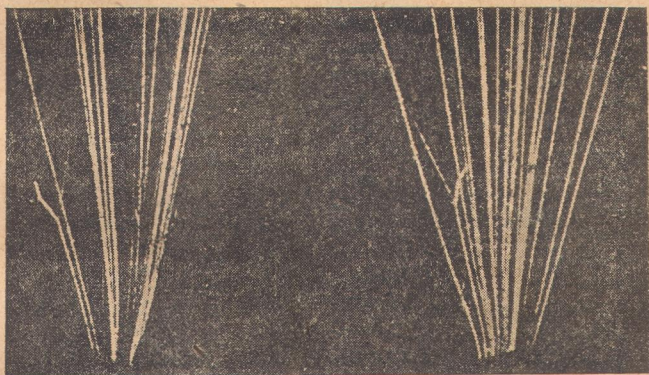


Рис. 29

ником α -лучей у Блекетта служил препарат из радия *Ви С*, испускавший два сорта частиц с пробегами 8,6 и 4,8 см. Камера была заполнена азотом с небольшой примесью кислорода, в присутствии которого, как оказалось, следы пробегов α -частиц в камере Уильсона получаются более резкими. Среднее число путей, заснятое на каждой фотографии, равнялось восемнадцати, а всего было снято двадцать три тысячи фотографий, на которых запечатлено около 270 000 путей α -частиц с пробегом в 8,6 см. и около 145 000 путей с четырехсантиметровым пробегом.

Среди этих фотографий встречается большое количество снимков путей, заканчивающихся „вилками“, о которых мы уже говорили в предыдущей главе и которые указывают на то, что, α -частица на своем пути подошла очень близко к ядру, вступив с ним в сильное взаимодействие или, говоря более просто, хотя и более грубо, α -частица попала в цель, упруго ударившись в ядро, но не разрушив его. Однако среди, примерно, четырехсот тысяч путей оказалось восемь, заканчи-

вающихся необычными вилками. Две из них приведены на рис. 29 и 30. На них зафиксировано разрушение ядра, т.е. вылет из него протона при ударе α -частицы.

Каждая из этих вилок состоит всего из двух ветвей. Одна из них, очевидно, не что иное, как путь выбитого протона. Она представляет собой тонкий, длинный и прямой след, совершенно сходный со следом естественной H -частицы (рис. 23), вдоль которого ионизация значительно слабее, чем на пути α -частицы. Вторая ветвь — короткий жирный след, по внешнему виду сходный со следом ядра азота в случае обычной вилки. Ни на одной из восьми фотографий нет ни малейшего указания



Рис. 30

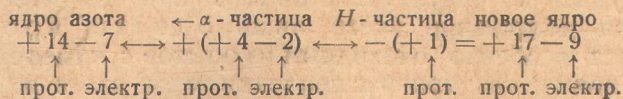
на третий след, соответствующий α -частице после столкновения.

Трудно себе представить, что α -частица, проскочившая сквозь потенциальный барьер, окружающий ядро, могла бы его покинуть, не обладая скоростью, достаточной для того, чтобы оставить след в камере Уильсона. Так как этих следов на фотографиях нет, приходится заключить что α -частица, выбившая из ядра протон, остается внутри его, не будучи „в силах“ выбраться сквозь потенциальную стену после того, как ею была затрачена значительная часть энергии на вырывание протона.

Таким образом, в результате столкновения ядро азота, состоявшее из 14 протонов и 7 электронов (атомный вес 14, атомный номер 7), теряет протон, но захватывает α -частицу (4 протона и 2 электрона), благодаря чему его масса (атомный вес)

Превращение
азота в кисло-
род

возрастает до 17, а число внутриядерных электронов увеличивается на 2, и, следовательно, заряд ядра (атомный номер) становится равным 8, согласно следующей схеме:



Новое ядро уже не является ядром азота, так как атомный номер его (17—9) равен 8 и соответствует кислороду. Так как атомный вес нового ядра 17 (а кислорода 16), мы имеем дело с превращением азота в изотоп кислорода.¹ Эти рассуждения подтверждаются подсчетами, которые можно сделать на основании фотографий Блекетта. Измерив точно углы, которые составляют путь падающей α -частицы, H -частицы и отброшенного ядра, а также скорость α -частицы (учтя потерю скорости на пути, пройденном от препарата до места столкновения с ядром), можно подсчитать скорость выброшенного протона, а сравнив пробег нового ядра со следом ядра азота в нормальных вилках, можно убедиться в том, что оно обладает атомным номером 8 и массой 17. Таким образом, не остается сомнения в том, что при разрушении ядра азота происходит образование нового элемента с испусканием протона и поглощением α -частицы, т. е. осуществляется превращение элементов, — заветная мечта многих поколений исследователей.

Однако этими сведениями о процессе разрушения ядра азота не исчерпывается то, что можно затрата энергии при разложении азота извлечь из опытов Блекетта. В самом деле, выяснив массу и скорость частиц, образовавшихся в результате столкновений ядра с α -частицей, можно подсчитать энергию их после столкновения и сравнить ее с энергией падающей α -частицы. Произведя этот подсчет, Блекетт установил, что кинетическая энергия частиц после столкновения в среднем на 20% меньше энергии налетающей α -частицы. Это непосредственно указывает на устойчивость ядра азота, на то, что при его преобразовании в ядро O_{17} происходит поглощение энергии.

Подведем теперь краткий итог тем сведениям о строении ядра, которые были получены в результате опытов по дезинтеграции. Бомбардировкой α -частицами удалось разрушить ядра элементов от бора до калия, за исключением двух элементов: углерода и кислорода. В связи с самыми новыми опытами, о которых нам еще предстоит говорить, необходимо еще раз указать на то, что при этих опытах не удалось разбить также ядра самых легких после водорода и гелия элементов — лития и бериллия (третьего и четвертого элемента с атомными

¹ Существование изотопа кислорода O_{17} было впоследствии доказано оптическим методом.

весами 7 и 9). Во всех случаях в результате дезинтеграции вылетает водородное ядро (протон, H -частица). Не удалось заметить выбивания каких бы то ни было иных частиц. Насколько можно судить по результатам опытов при дезинтеграции, наблюдается испускание всего лишь одного протона, что становится особенно очевидным из опытов с камерой Уильсона.

В то время, как при расщеплении ядра азота подсчет энергии продуктов распада ядра по сравнению с энергией падающей α -частицы показывает уменьшение энергии, в некоторых случаях, например, при выбивании протонов из ядер алюминия, энергия „осколков ядра“ больше энергии налетевшей α -частицы. Таким образом, в некоторых случаях дезинтеграция происходит с поглощением энергии, тогда как в других, наоборот, при ударе α -частицы ядро как бы взрывается с выделением энергии.

Вероятность разрушения ядер при бомбардировке α -частицами меняется от элемента к элементу. Хотя опытный материал, на котором основаны два последующих утверждения, довольно беден, все же можно заметить некоторую разницу в поведении четных и нечетных элементов (т.е. элементов с четным или нечетным атомным номером или, иначе, зарядом ядра). Как правило, теми же α -частицами из „нечетных“ ядер выбиваются более быстрые протоны, чем у четных, и притом для нечетных дезинтеграция происходит чаще. В связи с этим интересно отметить, что оба оставшихся неразбитыми элемента, вклинивающиеся в серию подвергнутых разложению легких элементов от бора до калия, принадлежат к четным (атомный номер 12 и 14). В то же время первые удачные эксперименты с разрушением ядер относились к шести нечетным элементам (кончая фосфором), для остальных же четных легких элементов дезинтеграции были реже и давали менее быстрые протоны, так что они были разложены только „во вторую очередь“.

Разница в свойствах четных и нечетных элементов

Разница в свойствах между четными и нечетными элементами проявляется и в других отношениях. Гаркинс, например, отметил, что в природе как в „непосредственно окружающей нас“ (земная кора), так и, повидимому, во вселенной, судя по составу упавших из мирового пространства метеоритов, значительно более распространены четные, нежели нечетные элементы. Астон установил, что нечетные элементы обладают в лучшем случае двумя изотопами, атомный вес которых отличается на две единицы, тогда как четные элементы часто обладают целым семейством изотопов, массы которых меняются в довольно широких пределах.

Все эти факты говорят за то, что четные ядра построены прочнее нечетных. Это заключение подтверждается для легких элементов точными данными об их атомных весах, полученных Астоном с помощью его масс-спектрографа.

Данные Астона
о дефекте массы
для легких эле-
ментов

Как мы уже говорили в главе второй, масса ядра в большинстве случаев не равна в точности сумме масс электронов и протонов, из которых оно состоит. Эти небольшие поправки для некоторых элементов вполне измеримы, а для других практически незаметны; мы говорили также, что этот дефект массы связан с устойчивостью ядра и определяется тем количеством энергии, которое испускается при разрушении ядра.

На основании своих опытов Астон приходит к выводу, что для легких элементов нечетные атомы обладают значительно большим дефектом массы, чем четные, что опять-таки указывает на менее прочную связь частей, из которых построены ядра нечетных легких элементов. Более того, судя по всей совокупности опытов по искусственному разложению ядер, а особенно по опытам Блекетта с камерой Уильсона, дезинтеграция заключается в поглощении α -частицы с испусканием протона. При этом разрушающееся нечетное ядро превращается в четное. По Астону, дефект массы при этом превращении должен уменьшиться, иными словами—часть массы должна исчезнуть. Мы уже знаем, что это означает. „Исчезновение“ массы должно сопровождаться „появлением“ энергии, которое мы и наблюдаем в виде громадной живой силы быстрых протонов, выбрасываемых при дезинтеграции именно нечетных элементов.

Новейшие ис-
следования ис-
кусственного
разрушения
ядер

За последние годы наши знания об искусственном превращении ядер обогатились рядом новых сведений, что было обусловлено в основном развитием новых электрических методов счета α -частиц и протонов, о которых мы говорили в предыдущей главе и которые заменили весьма полезный, но вместе с тем чрезвычайно утомительный и несовершенный метод сцинтилляций. Позе первому удалось показать, что протоны, испускаемые при дезинтеграции алюминия, могут быть разделены на несколько групп с вполне определенными скоростями. Его исследования были продолжены Мейтнер и Боте в Германии, де-Брольи и Ренгэ во Франции и Чадвиком и Констэблем в Англии.

Чадвик и Констэбль, например, разделили протоны, выброшенные из алюминия при бомбардировке α -частицами, на восемь резко различающихся по скоростям групп. Для объяснения наблюдаемых закономерностей этим исследователям пришлось допустить, что протоны и α -частицы подвергаемого бомбардировке ядра различно связаны с последним, занимая, как говорят, разные уровни энергии, подобно электрону в оболочке атома.

Далее, по предложению Гернея было сделано предположение, обоснованное представлениями волновой механики, о том,

что при столкновении с ядром α -частица будет иметь значительно больше шансов проникнуть сквозь потенциальный барьер в тех случаях, когда ее энергия близка к возможной энергии α -частицы или протона в ядре. При бомбардировке ядер α -частицами с определенной энергией происходит испускание протонов с двумя различными скоростями. Это, повидимому, указывает на существование двух различных „способов“ проникновения α -частиц в ядро. Подобные же результаты были получены и для других легких элементов; они дали кое-какие сведения о значениях энергии внутриядерных протонов и α -частиц, и надо надеяться, что применение более быстрых α -частиц, чем те, которые испускаются полонием, помогут разобраться в схеме „энергетических уровней“ ядер легких элементов и тем самым значительно расширят наши сведения о внутреннем строении ядра.

Мы видели из этого короткого обзора исследований результатов бомбардировки легких элементов α -частицами ядер, что ими раскрыта целая новая интереснейшая область „интимнейшей“ структуры вещества. Немногие вспышки зеленоватого света, чуть видимые в поле зрения микроскопа, восемь фотографий — плод многолетней упорной работы настойчивых исследователей дали нам сведения о чудовищных взрывах и катастрофах в мире атомов, опрокинули непоколебленное работой нескольких поколений ученых представление о „непревратимости“ элементов, наконец, сообщили ряд ценнейших сведений о размерах, строении и „энергетическом хозяйстве“ ядер. Нет сомнения в том, что постановка знаменитых опытов Резерфорда и его школы, а также их выводы из очень скудных, на первый взгляд, опытных материалов представляют образец блестящего научного исследования и являются результатом многолетней целеустремленной работы в определенном направлении.

Однако нельзя не признать, что по сравнению со всем объемом проблемы строения ядра эти опыты еще очень ничтожны. В самом деле, в результате их не только не стала яснее структура ядра, не только мы не можем „рассчитать“ ядро так, как может сейчас быть рассчитана электронная оболочка атома, но мы даже не уверены в самых основных фактах, положенных в основу всех наших новых представлений.

Самая возможность параллельного существования двух школ (кембриджской и венской), которые из своих опытов делают диаметрально противоположные выводы по основным вопросам: 1) какие элементы удалось подвергнуть дезинтеграции, 2) какова вероятность дезинтеграции для различных элементов, 3) какова минимальная энергия α -частиц, способных вызвать дезинтеграцию, и др., — указывает на то, что что-то неладно в этой области исследования. И это первое впечатление не обманывает. Дей-

ствительно, дело в том, что при том арсенале, который применяется физиками для разрушения ядра, эти разрушения—событие слишком редкое.

Пожалуй, ни в одной другой области физики не приходится делать таких важнейших выводов из единичных в сущности результатов опыты. Восемь фотографий Блекетта это, в конце концов, недостаточно прочный фундамент для построения исчерпывающей картины разрушения ядра. А какого громадного количества труда потребовали эти восемь фотографий! Ведь они отобраны из двадцати трех тысяч удачных снимков. Если, положить на фотографирование каждого (включая регулировку камеры Уильсона, подготовку фотоаппарата, источника света и проч.) по две минуты, а на проявление снимков, дальнейшую обработку и отбор фотографий с „необычными путями“ еще по две минуты, то мы увидим, что и этот, явно преуменьшенный, подсчет дает девяносто тысяч минут, то-есть около двухсот пятидесяти шестичасовых человекоднев! Тут сразу становится понятным все несовершенство орудия исследования, которое представляют собой α -частицы.

Не имея возможности увеличить число α -частиц, испускаемых препаратом, путем увеличения количества радиоактивного вещества (эти вещества в виду своей чрезвычайной редкости ценятся необычайно высоко: один грамм радия стоит свыше двухсот тысяч золотых рублей); используя, кроме того, ничтожную часть всех испускаемых α -частиц (так как они выбрасываются препаратом во все стороны, а направить их, вследствие их громадной скорости и значительной массы, не представляется возможным); и, наконец, не имея возможности поставить исследования с другим типом снарядов для обстрела ядер, — работы ядерной физики оказываются в тяжелом положении.

Немудрено поэтому, что в течение многих лет ряд исследователей делал попытки добиться разрушения ядер и превращения элементов другими способами. Сколько раз в печати мелькали сенсационные сообщения о блестящих успехах в этом направлении и сколько горьких разочарований пришлось испытать современным алхимикам, искренно убежденным в том, что им, наконец, удалось разрешить тяжелую задачу!

Мы здесь умышленно не останавливаемся на попытках, которые были сделаны учеными, ставшими на правильный путь—путь получения чрезвычайно быстрых заряженных частиц, разогнанных в сверхвысоковольтных разрядных трубках, если можно так выразиться,—на путь суррогатирования естественных α - и β -частиц. Они будут изложены в следующих главах, а пока опишем несколько неудачных попыток, наделавших в свое время много шума и оставивших даже по настоящее время в довольно широких, но недостаточно критических кругах впечатление великих достижений.

Эти попытки сводятся к самым разнообразным мерам воздействия на подлежащие превращению вещества. В некоторых случаях в результате длительного пропуска тока через разрядные трубки (при не особенно высоких напряжениях) получались газы, которых будто бы не было в трубке до начала разряда; в других — мощным разрядом конденсаторной батареи взрывались тонкие проволоки из тугоплавкого металла, якобы нацело превращаясь в гелий. Однако критическое исследование всех этих методов показало, что их „удачные“ результаты неизменно объяснялись непредусмотренным исследователем источником ошибок. Вещество, которое, по мнению исследователей, авторов данного метода, „образовывалось“ из какого-либо другого элемента, преспокойно находилось в приборе с самого начала опыта.

Возбуждавшие наибольшие толки эксперименты подобного рода были проведены небезызвестным химиком Мите и его сотрудником Шгаммрейхом в Берлине в 1924-25 г., которые встретили единомышленника в лице японского физика Нагаока, пришедшего другим путем к аналогичным результатам и совершившим ту же ошибку, что и Мите при толковании своих опытов.

Кажущееся превращение ртути в золото

Пропуская в течение нескольких сот часов довольно значительный ток через обычную ртутную дуговую лампу, Мите по окончании опыта, путем химического анализа установил в ртути, вылитой из этой лампы, присутствие золота и притом в количествах, которые можно было обнаружить на чувствительных весах. В результате этого опыта Мите пришел к заключению, что им открыт способ превращения элементов, осуществляющий эти превращения в масштабе, в миллиарды раз превышающем то, что имело место в опытах по превращению элементов при бомбардировке α -частицами.

Рассуждения Мите на первый взгляд кажутся достаточно убедительными. В самом деле, заряд ядра ртути (+80) всего на единицу больше, чем у золота (+79). Достаточно загнать один электрон в ядро ртути, чтобы получить атом с зарядом 79, т. е. атом золота. А ведь при прохождении тока в ртутном паре дуги движется громадное количество электронов. Вместе с тем, благодаря положительному заряду ядра вряд ли нужно очень много энергии, чтобы „влепить“ в это ядро один лишний электрон. Так думал Мите. Хотя в последнем рассуждении он и не прав, так как, несомненно, в ядре существует какой-то неизвестный нам механизм, препятствующий проникновению внутрь его электронов, и только присутствием его можно объяснить долговечность нерадиоактивных ядер, окруженных все время электронным облаком, — все же сама постановка вопроса отнюдь не являлась нелепой. Однако в этом случае „золото из ртути“ должно было бы по атомному весу отличаться от обычного золота. Атомный вес ртутного золота должен был бы

равняться атомному весу одного из изотопов ртути, чего в действительности не оказалось. „Золото Мите“ оказалось обычным золотом.

Вскоре известный немецкий химик Габер, заслуживший печальную славу изобретателя химической войны, повторил опыты Мите; оказалось, что примесь золога в ртути не росла со временем пропускания тока через трубку и, повидимому, объяснялась примесью золота в исходном продукте. Этот метод превращения ртути в золото был окончательно оставлен после опытов, поставленных в Америке с исключительно чистой ртутью, в результате которых было установлено, что если в ртути не было золота до пропускания разряда через дугу, то его не оказывается и после разряда.

Таким образом, и эта поздняя алхимическая попытка была присоединена к коллекции разбитых иллюзий искателей философского камня. Аналогичная судьба постигла „открытие“ двух молодых голландских ученых, будто бы превративших в ртуть таллий и свинец путем пропускания сильного тока.

Таким образом, до последнего времени (март 1932 г.) бомбардировка α -частицами была единственным приемом, с помощью которого удалось осуществить разрушение ядра и превращение элементов. Мы уже говорили о том, что затруднения, которые возникают при применении этого метода, заставили перейти к изысканию иных методов преодоления устойчивости ядра, в основном сводящихся к суррогатированию α -частиц в виде пучка ионов, ускоренных в разрядных трубках на несколько миллионов вольт. Последние увенчавшиеся успехом опыты в этом направлении говорят за то, что недалек тот час, когда „искусственные“ α - и H -частицы смогут при исследовании атомного ядра полностью заменить „естественные“.

Однако, прежде чем быть вытесненными из арсенала исследователей новым более мощным оружием, α -частицы в руках хорошо известного нам Чадвика „спели свою лебединую песню“, приведя к открытию, представляющему достойное продолжение опытов Резерфорда и являющемуся, пожалуй, самым крупным шагом в исследовании процессов разрушения ядра после открытия разрушения ядра азота в 1919 г. Речь идет об открытии нейтронов, существование которых в настоящее время, после серии опытов ряда исследователей, можно считать доказанным.

Для того чтобы разобраться в том, каким образом в физику ядра вошло это „новое действующее лицо“ — нейтрон, частица нейтральная, т. е. не обладающая зарядом, — нам придется бегло познакомиться с теми опытами, на основании которых была создана „гипотеза нейтронов“.

Опыты Боте и Боте и Беккеру в 1930 г. удалось показать, что Беккера (γ -лучи некоторые легкие элементы, подвергнутые бомбардировке α -частицами полония, испускают γ -лучи. Наиболее заметным это явление было у бериллия.

Более поздние опыты Боте (в Германии), Кюри-Жолио (во Франции) и Уэбстера (в Англии) показали, что эти бериллиевые γ -лучи обладают большей проникающей способностью, чем все до тех пор исследованные „естественные γ -лучи“; именно после прохождения слоя свинца, толщиной в четыре сантиметра, они ослабляются менее, чем наполовину.

Зная проникающую способность этих лучей, можно было определить и их энергию. Этот подсчет привел Уэбстера к заключению, что проникающее излучение бериллия является результатом захвата α -частицы ядром бериллия, при чем последнее превращается в ядро изотопа углерода с атомным весом 13 ($\text{Be}_9 + \alpha_4 = \text{C}_{13}$), а избыточная энергия излучается в виде очень жестких γ -лучей.

Совсем недавно (работа напечатана в 1932 г.) опыты Кюри-Жолио. Кюри-Жолио, дочь знаменитого Кюри, впервые добывшего радий, вместе со своим мужем Жолио, сделали поразительное наблюдение. Пропуская „бериллиевые лучи“ через тонкое окошко в ионизационную камеру (см. главу четвертую), они, что несколько не удивительно, обнаруживали незначительную ионизацию; однако, прикрыв окошко слоем парафина или другого вещества, содержащего в значительных количествах водород, они убедились в резком увеличении тока через ионизационную камеру. Дальнейшие опыты показали, что излучение бериллия выбивает из парафина протоны с пробегам до 26 см и скоростью около 30 000 км в секунду.

Можно было думать, что γ -лучи бериллия вырывают протоны, подобно тому, как они вырывают электроны — явление, которым широко пользуются при исследовании γ -излучения. Однако такое толкование встретило два серьезных затруднения. Передача части энергии жестких лучей электронам, при которой электрон приобретает кинетическую энергию, увеличивая свою скорость, а лучи теряют часть своей энергии, что сопровождается уменьшением их частоты, — явление хорошо известное и изученное под названием эффекта или явления Комптона.

Зная скорость, а следовательно и энергию выброшенного γ -лучами электрона, можно легко подсчитать энергию излучения, выбросившего этот электрон. Кроме того, нетрудно определить вероятность вырывания электрона, т. е. число электронов, которое может быть выброшено при данной интенсивности γ -лучей.

Произведя эти вычисления для наблюдаемых ими протонов, Кюри и Жолио пришли к явному противоречию: во-первых, число выброшенных протонов во много тысяч раз превышало вычисленное, во-вторых, энергия лучей бериллия оказалась раз в двадцать больше, чем у самых жестких до сих пор известных γ -лучей, и оставалось совершенно непонятным, откуда может взаться эта чудовищная энергия.

В самом деле, предполагалось, что при бомбардировке бериллия α -частицами происходит захват α -частиц ядрами бериллия и превращение их в изотоп углерода C_{13} . Зная, по данным Астона, дефект массы для C_{13} , можно было подсчитать изменение массы при этом превращении и вычислить из него максимальную энергию, которая может быть выделена в виде γ -лучей. Эта энергия в лучшем случае составляет не более одной трети от чудовищной энергии, вычисленной из скорости протонов в опытах Кюри и Жолио.

Опыты Чадвика

Для выяснения природы загадочного излучения бериллия, которое, судя по результатам опытов Кюри и Жолио, не могло быть обычным γ -излучением, ряд опытов был поставлен Чадвиком. Пользуясь ионизационной камерой и электрическим счетчиком, состоявшим из усилительной установки с автоматической регистрацией толчков тока, которые вызывались появлением внутри камеры ионов, вырванных быстрыми заряженными частицами, Чадвик убедился, прежде всего, в том, что излучение бериллия вырывает не только быстрые протоны из соединений, содержащих водород, но и вызывает появление быстрых заряженных частиц, попадая и на другие легкие элементы. Таким образом им были исследованы литий, бериллий, бор, углерод и азот, которые он помещал перед окошком ионизационной камеры (азот и литий в виде химических соединений), и водород, гелий, азот, кислород и аргон, которыми он наполнял камеру. Во всех случаях счетчик давал отбросы регистрирующего приспособления, что указывало на вырыв заряженных частиц из исследуемых элементов. Судя по пробегу, эти частицы представляли не что иное как „атомы отдачи“, т. е. атомы исследуемого вещества, претерпевшие столкновения с чем-то, что испускалось бериллием под влиянием α -бомбардировки. Помещение между бериллием и исследуемым веществом слоя свинца толщиной около двух сантиметров заметно не отражалось на количестве выброшенных излучением бериллия атомов отдачи; это указывало на громадную проникающую способность этого излучения.

Пути атомов отдачи были сфотографированы Чадвиком и Фитцером с помощью камеры Уильсона; после их тщательного изучения можно было с большой степенью достоверности утверждать, что представление об излучении бериллия, как о γ -излучении, должно быть отброшено, так как для объяснения длины наблюдаемых пробегов атомов отдачи пришлось бы допустить, что это излучение еще в два-три раза жестче, т. е. обладает в два-три раза большей энергией, чем это следует из опытов по „облучению“ водорода, а такой энергии, как мы видели, при поглощении α -частиц ядрами бериллия взяться неоткуда.

Нейтроны

Положение казалось безвыходным. И здесь-то Чадвик сделал неожиданное, невероятное и вместе с тем единственно возможное предположение, объясняющее

все несообразности, обнаруживающиеся при попытках отождествить излучение бериллия со „сверхжесткими γ -лучами“. Дело в том, что γ -излучение, падая на какую-либо частицу, может передать ей только небольшую часть своей энергии. Отсюда и получаются те громадные значения энергии γ -лучей бериллия, которые были подсчитаны Кюри, Жолио и Уэбстером.

Если же предположить, что излучение бериллия — не электромагнитное колебание, а поток быстро несущихся частиц, то выход из затруднения найден: эти частицы могут при столкновении с атомами передать им значительную часть своей энергии, в некоторых случаях — даже полностью всю свою энергию (случай центрального удара двух билиардных шаров одинаковой массы). Таким образом, образование быстрых атомов отдачи, наблюдаемых в камере Уильсона или зафиксированных электрическим счетчиком, при таком объяснении излучения бериллия вовсе не требует чудовищных значений энергии, которым неоткуда взяться.

Определяя скорости атомов отдачи по их пробегаем, Чадвик сумел подсчитать и массу частиц, из которых состоит излучение бериллия. Она оказалась очень близкой к единице, т. е. массе водородного атома или протона. Однако снаряды, вылетающие из бериллия, не могли быть ни протонами, ни, тем более, атомами водорода. Пролетая с большой скоростью мимо окружающих атомов, атом водорода мгновенно потерял бы свой электрон, превратившись тем самым в голое ядро водорода — протон. Но и протоны не могли бы с такой легкостью пролетать сквозь свинцовые слои, толщина которых измерялась сантиметрами. Чтобы пролететь такой слой свинца, протон должен был бы обладать настолько чудовищной энергией, что перед ней бледнеет даже гигантская энергия γ -лучей, которая была определена на основании первых опытов с бериллиевым излучением.

Частицы, из которых, по мнению Чадвика, должно состоять это излучение, обладая массой протона, должны вместе с тем отличаться проникающей способностью, превышающей во много тысяч раз проникающую способность самых быстрых протонов, полученных путем дезинтеграции алюминия. Скорость этих частиц не может быть особенно большой (с одной стороны потому, что неоткуда взяться соответствующей энергии; с другой, потому, что вычисления, основанные на скоростях атомов отдачи, выбитых излучением бериллия, показывают, что, если они действительно вызваны ударом частиц с массой около единицы, то скорость этих частиц до удара не более 30—40 000 км/сек.).

Единственным объяснением громадной проникающей способности этих частиц может быть то, что они необычайно слабо взаимодействуют с атомами, встречающимися на их пути, почти не растративая своей скорости и пролетая даже через такие

труднопроходимые скопления атомов с громадными ядерными зарядами, какими являются слои свинца. Это возможно только в том случае, если эти частицы, в отличие от всех элементарных частиц, с движением и взаимодействием которых мы до сих пор сталкивались, не обладают зарядом и являются нейтральными.

В этом и заключается смысл предложения Чадвика, которое одним ударом разрушает загадочный узел, запутавшийся вокруг проблемы бериллиевого излучения.

В нескольких словах мысль Чадвика такова. Под действием бомбардировки бериллий (один из легких элементов, из которых в опытах Резерфорда выбить протонов не удалось) выбрасывает нейтроны, — частицы с массой, равной массе протона, но лишенные его заряда. Ввиду отсутствия заряда эти частицы очень слабо взаимодействуют со встречающимися на своем пути ядрами, вследствие чего они, несмотря на не слишком большую скорость, обладают громадным пробегом. При очень „удачном“ попадании в ядро атома они передают ему значительную часть своей энергии, которая и затрачивается на приведение в движение подстреленного ядра (атом отдачи). Не имея заряда, нейтроны образуют на своем пути ничтожное количество ионов; поэтому их нельзя непосредственно обнаружить ни одним из широко применяемых при исследовании ядер методом (ионизационная камера и счетчики, камера Уильсона, сцинтилляции), и только очень мощный поток нейтронов можно заметить по образованию ничтожного количества атомов отдачи. Нейтроны выбиваются из ядер бериллия,¹ следовательно, они являются одной из составных частей этого ядра, а может быть входят в состав ядер и других элементов.

Открытие нейтронов совершенно разрушает прежнее наше неполное представление о строении ядер элементов. Как и всякое „свежее“ открытие, оно еще кажется слишком необычайным, отчасти даже невероятным. Нейтроны еще не завоевали себе прочного положения среди прочих представлений, с которыми мы оперируем в ядерной физике. Мы еще не вывели пока почти никаких заключений из этого открытия: очередной сдвиг в наших представлениях о внутреннем строении материи, связанный с важнейшим открытием Боте, Кюри — Жолио и Чадвика, только начался.

Мы не знаем почти ничего о внутренней природе самих нейтронов; вопрос о том, являются ли они каким-либо особым видом частиц, каким-то „третьим типом кирпичей мироздания“, наряду с электронами и протонами, или образованием из протона и электрона, необычайно прочно связанных друг с другом, — остается открытым.

¹ В опытах Чадвика есть указания и на то, что следующий за бериллием элемент — тор под действием α -бомбардировки также испускает нейтроны; однако это заключение менее достоверно.

Точно так же остается совершенно неясным, какую роль играют нейтроны в строении атомных ядер, хотя уже имеются указания о том, что представление о нейтронах сможет пролить свет на ряд самых сложных и запутанных проблем атомной физики; но это все дело дальнейшего исследования. То, что с довольно значительной степенью достоверности вытекает из опытов с бериллиевым излучением, сводится к следующему: бериллий, один из легких элементов с атомным номером 4 и атомным весом 9, под действием α -бомбардировки обнаруживает новый, неизвестный до сих пор тип искусственного разрушения ядер. Он сводится, повидимому, к поглощению α -частицы ядром и испусканию нейтрона.

В результате этого процесса атомный номер (заряд ядра) бериллия увеличивается на две единицы, а атомный вес (масса ядра) на три, т. е. происходит превращение бериллия (Be_9) в углерод (C_{13}), сопровождающееся вылетом нейтрона, частицы с массой 1 и зарядом 0, обладающей довольно значительной скоростью (30—40000 км/сек) и громадной проникающей способностью.

Это явление, повидимому, не более частое, чем дезинтеграция ядер других легких элементов, хотя на основании полученных данных еще нельзя с точностью определить вероятность такого разрушения ядра при столкновении α -частиц с атомами бериллия. При исследовании этого интереснейшего явления, как и вообще при изучении искусственного разрушения ядер и превращения элементов, ощущается с особой остротой несовершенство α -бомбардировки как средства для изучения структуры ядра. В связи с этим становится совершенно понятным, что с каждым годом внимание исследователей, работающих в области изучения строения ядра, все более сосредоточивается на усовершенствовании методов этого исследования, на замене естественных α -частиц их суррогатом — ионами, ускоренными в разрядных трубках сверхвысокого напряжения. В следующих главах мы познакомимся с основными направлениями работы в области построения источников высокого напряжения и разрядных трубок и с тем успехом, которым увенчались эти работы.

VI. ИСКУССТВЕННЫЕ МОЛНИИ И ИОННЫЕ ПУШКИ

Мы видели, что силы, связывающие составные части атомных ядер, необычайно велики. В течение многих десятилетий атомные ядра противостояли всем воздействиям, которым их подвергали сотни исследователей, и только используя внутриядерную энергию, за счет которой при радиоактивном распаде с чудовищной скоростью выбрасываются α -частицы, удается проникнуть в недра ядра и вызвать таким образом его разрушение.

Как получить
быстрые
ионы

Задавшись целью суррогатировать естественные α -частицы, исследователи должны были изыскать способ придать предназначенным для разрушения ядра частицам скорости, близкие к тем, которыми обладают естественные α - и H -частицы и даже значительно большие. Хотя на пути к этой цели можно было предвидеть громадные затруднения, все же цель казалась заманчивой благодаря тому, что число заряженных частиц, т. е. интенсивность бомбардировки, могла быть во много раз больше, чем при исследовании с помощью естественных α -частиц.

В самом деле, из радиоактивных измерений известно, что один грамм радия, находящийся в равновесии со всеми своими продуктами распада, испускает в секунду примерно 35 миллиардов α -частиц. Учитывая, что в распоряжении исследователей редко бывают препараты радия в количестве, превышающем несколько миллиграмм, и что α -частицы испускаются во всевозможных направлениях, так что в лучшем случае при исследованиях по разрушению ядер удается использовать не более сотой части всего α -излучения, — в громадном большинстве случаев приходится обходиться относительно малой интенсивностью α -бомбардировки, во всяком случае не превышающей нескольких десятков тысяч α -частиц в секунду. Вместе с тем, при разгоне заряженных частиц в сосуде с разреженным газом мы без труда можем получить токи около одной тысячной ампера. При таком токе поток ионов, движущихся в трубке, измеряется числом около 5×10^{15} (пятьдесят миллионов миллиардов) частиц в секунду, так что, если бы только этим частицам придать скорость α -частиц, то наш сосуд — „ионная пушка“ — по числу выбрасываемых снарядов соответствовал бы полутонне радия, при чем все частицы выбрасывались бы в одном направлении, т. е. сравнение оказалось бы еще раз в тысячу выгоднее в пользу ионной пушки.

Каким же образом получить столь быстрые частицы? Ответ на это напрашивается сам собой. Так как речь идет об ионах, частицах заряженных, то на них необходимо воздействовать электрическим полем, воспользовавшись тем, что на заряженный ион, находящийся в электрическом поле, станет действовать электрическая сила, которая будет ускорять его во все время его полета в поле.

Измерение скорости заряженных частиц в вольтах

Подобно тому, как бомба, сброшенная с самолета, ускоряет свое движение в течение всего времени своего полета, приобретая в конце его тем большую скорость, чем с большей высоты она сброшена, — заряженная частица, ускоренная в разрядной трубке, движется тем быстрее, чем выше приложенное к трубке напряжение. Кинетическая энергия частицы приобретается за счет работы электрических сил, выражающейся произведением ее заряда на пройденную разность потенциалов. Так как для сообщения заряженным частицам большой ско-

рости пользуются исключительно методом ускорения в электрическом поле, то исследователи, работающие с быстрыми заряженными частицами, обычно выражают скорость частиц в вольтах, при чем, говоря „частицы со скоростью, допустим, в сто тысяч вольт“, понимают под этим частицы, обладающие энергией, равной энергии электрона, прошедшего в разрядной трубке разность потенциалов в сто тысяч вольт; α -частицы, энергия которых достаточна для разрушения легких элементов, обладают скоростью в 2—3 миллиона вольт. Скорость самых быстрых α -частиц (длиннопробежных частиц тория C) достигает примерно 4,5 миллионов вольт. Отсюда, видно, что, задавшись целью получить искусственно частицы, способные разрушить атомное ядро, мы должны ускорить ионы в разрядной трубке, приложив к ней напряжение в несколько миллионов вольт. В этом и заключалась нелегкая задача, стоявшая перед исследователями атомного ядра, искавшими нового оружия для его разрушения.

Две части задачи получения сверхбыстрых ионов

Всякий газ, как известно, состоит из громадного количества атомов (или молекул), находящихся в непрерывном быстром и совершенно беспорядочном движении. Отдельные частицы, носясь во всевозможных направлениях в занятом газом объеме, не могут беспрепятственно пролетать значительные расстояния. Они непрерывно сталкиваются друг с другом, при чем число этих столкновений, естественно, растет с увеличением давления газа. В воздухе, при атмосферном давлении, например, каждая частица газа (молекула кислорода или азота) испытывает в среднем около миллиарда столкновений в секунду, пролетая „спокойно“, т. е. не сталкиваясь, расстояния, в громадном большинстве случаев, не превышающие нескольких десятитысячных миллиметра. С уменьшением давления воздуха средние расстояния между двумя столкновениями возрастают приблизительно обратно пропорционально давлению.

Совершенно очевидно, что пытаться ускорить заряженные атомы, сообщить им скорость, достаточную для разрушения ядер, можно только в сильно разреженном газе, обеспечив им беспрепятственный полет в разрядной трубке.

В противном случае при каждом своем столкновении с молекулами газа наши частицы будут терять свою энергию, затрачивая ее на отщепление электронов от оболочки этих молекул, т. е., как мы видели в случае радиоактивных частиц в газе, будут вызывать ионизацию газа вместо того, чтобы набирать на своем пути скорость, необходимую для разрушения ядра.

Таким образом, задача получения „искусственных снарядов“ для разрушения ядер распадается на две главные части: первую — получение высокого напряжения, достаточного для сообщения частицам надлежащей скорости, и вторую — построе-

ние соответствующей разрядной трубки с чрезвычайно сильно разреженным газом. При разрешении как первой, так и второй части задачи встречаются серьезные технические трудности, которые различными исследователями разрешаются по-разному, иногда путем остроумнейших приемов и уловок.

В погоне за грозами За последние пять — шесть лет техника получения сверхвысоких напряжений (напряжения, превышающие полмиллиона вольт) сделала гигантский шаг вперед. Почти каждый свежий выпуск электротехнических журналов Германии и Америки приносит известие о новых успехах в этой области. Лаборатории, располагающие источниками напряжения, превышающего миллион вольт, насчитываются уже не единицами, а десятками. Мы, к сожалению, лишены возможности остановиться на последних достижениях техники получения сверхвысоких напряжений и отсылаем интересующихся к нашей книжке из этой же серии, посвященной указанному вопросу.¹ Здесь мы ограничимся только изложением основных принципов получения высоких напряжений, при чем обратим особое внимание на те из них, которые были предложены специально для разрешения проблемы искусственного разрушения ядра и, не имея непосредственного отношения к электротехнике, не были описаны в упомянутой книжке.

Пять лет тому назад техника получения сверхвысоких напряжений стояла на значительно более низком уровне, чем сейчас. В распоряжении исследователей ядра не было источников сверхвысокого напряжения, так как немногочисленные, существовавшие тогда трансформаторные установки технической частоты с напряжением до миллиона вольт, принадлежавшие в основном предприятиям, изготовлявшим элементы изоляций линий передач, повышающих и понижающих подстанций, были вследствие своей дороговизны, громоздкости и большой мощности недоступны исследовательским физическим лабораториям. Импульсных генераторов по схеме Маркса на такие напряжения еще не существовало, а вопрос о получении сверхвысоких напряжений с помощью трансформаторов Тесла не был достаточно проработан и не сулил особенных перспектив.

К этому периоду относится попытка использования атмосферного электричества, проведенная тремя молодыми немецкими учеными: Брашом, Ланге и Урбаном,

Названные исследователи выбрали область, богатую грозами, в районе Лугано (северная Италия), и в качестве рабочей площадки использовали седлообразную вершину горы Желлерозо, между двумя пиками которой была подвешена антенна, сперва в форме сетки с исполинскими ячейками, затем, однако, в виде ординарного троса. Длина антенны достигала 600 м, средняя высота над землей — 80 м, а над уровнем моря — около 1700 м.

¹ А. К. Вальтер — Сверхвысокие напряжения — ОНТВУ, 1932 г.

Первым затруднением, с которым пришлось бороться, оказалось образование короны. Это явление заключается в том, что газ в области, где электрическое поле достигает величины около

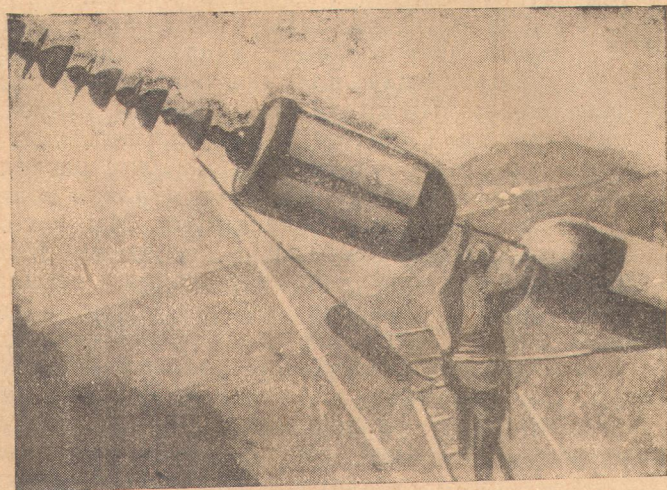


Рис. 31

30 000 вольт на сантиметр, подвергается ионизации, т. е. становится проводящим, что вызывает утечки заряда с изолированной

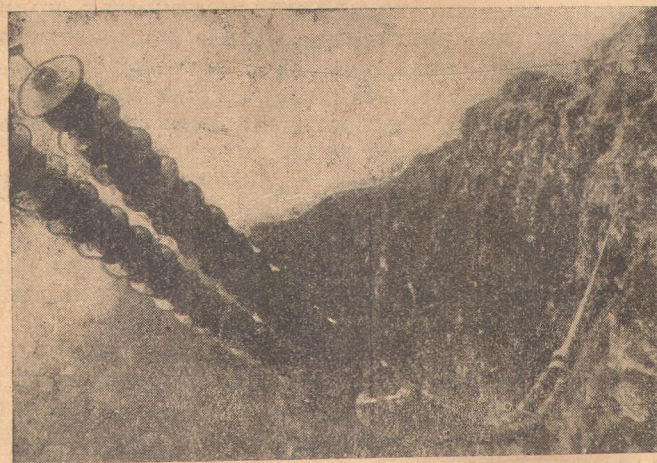


Рис. 32

системы. Это затруднение удалось несколько обезвредить, нанизывая на тросы защитные цилиндры (рис. 31), благодаря которым поле вблизи проводника делается значительно меньше.

Летом 1927 г. во время грозы на антенне сразу же получилось напряжение около 2,5 млн. вольт, при котором с легкостью были перекрыты изоляторы, служившие подвесом антенны. В 1928 г. гирлянды были удлинены до 40 элементов, но во время первой же грозы, вследствие громадных потенциалов, до которых зарядилась антенна, 13-метровые гирлянды были перекрыты с чудовищным треском.

После этого гирлянды были удлинены до 120 элементов (рис. 32), но при этом вес антенны увеличился настолько значительно, что ее никак

не удавалось натянуть достаточно высоко от земли. Тогда вместо изолирующих гирлянд был применен пропитанный изолирующим составом пеньковый канат, и значительно облегченная таким образом система была подвешена на еще большей высоте. Из этой антенны во время грозы сыпались искры, длина которых ограничивалась только максимальным расстоянием (18 м) в искровом разряднике, устройство и внешний вид которого конятыны из рис. 33 и 34.

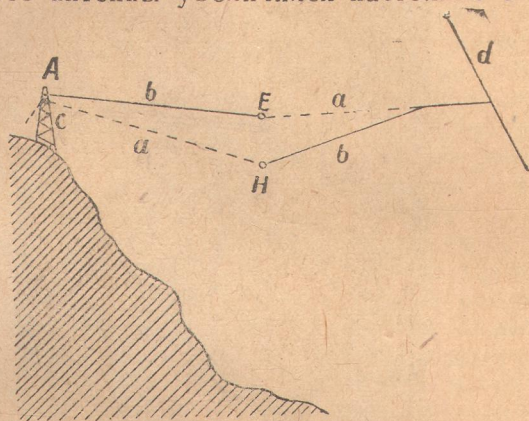


Рис. 33

Такая длина искры при постоянном напряжении или при переменном технической частоты (50 периодов) соответствовала бы 8 миллионам вольт. Так как напряжение антенны в момент удара молнии имело характер кратковременного (0,01 — 0,001 секунды) удара, а при ударном напряжении длина искры значительно меньше, можно думать, что потенциал антенны при этих опытах достигал 14 — 16 млн вольт.

Однако это разрешение проблемы получения сверхвысоких напряжений нельзя было признать удачным. Несмотря на то, что исследователи выбрали специально область, богатую грозами, все же число их не превосходило 30—40 в течение летнего сезона. Необходимость вынужденных простоев в работе, выжидания, „под парами“, т. е. с вполне подготовленной аппаратурой — когда, наконец, соблаговолит разразиться гроза; наконец, серьезные затруднения, связанные с тем, что момент удара напряжения не может быть выбран по произволу исследователя, — все это заставило отказаться от атмосферного электричества, как источника сверхвысокого напряжения, тем более, что ко времени окончания предварительных опытов на горе Женеерозо (лето 1929 г.)

техника: получения сверхвысоких напряжений лабораторными методами шагнула далеко вперед.

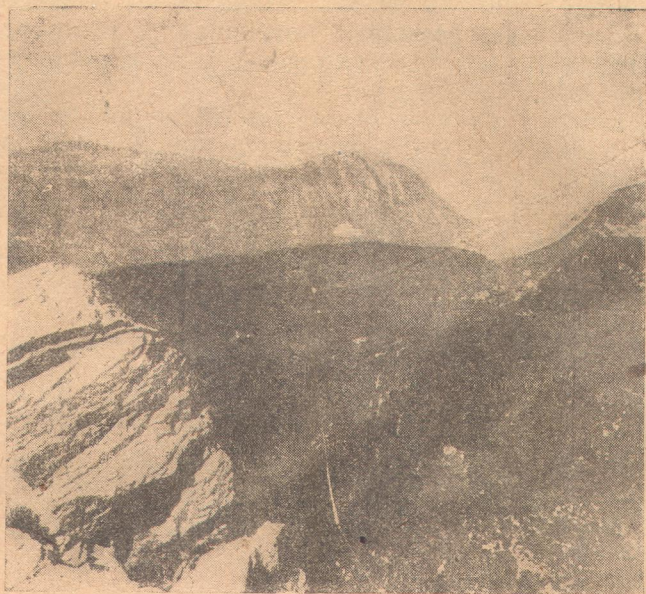


Рис. 34

Четыре основных направления в технике создания сверхвысоких напряжений

К этому времени наметились четыре основных направления в технике создания высоких напряжений, из которых два развились преимущественно под давлением насущных потребностей электротехники, ввиду необходимости испытания элементов изоляции высоковольтных линий и станций и изучения работы этих объектов в связи с перспективами дальнейшего роста рабочего напряжения линий передач. Эти оба направления — получение высокого напряжения технической частоты и электрических ударов, импульсов.

Два других направления — сверхвысокие напряжения высокой частоты и постоянное высокое напряжение — развивались не только электротехниками, но и физиками, разрабатывавшими проблему ядра, которые подчас шли совсем необычными для электротехников путями, в связи с тем, что требования, обязательные для технической испытательной установки (например, довольно значительная мощность), зачастую не играли существенной роли при выборе установки для питания сверхвысоковольтных трубок — источников снарядов для исследования ядра.

Остановимся теперь вкратце на каждом из упомянутых направлений, укажем положенные в основу их принципы и рассмотрим их основные достоинства и недостатки.