

28459

26475

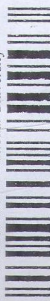
74.3	10.X
8.8	2.X
87.9	8.X
12.5	—
2.0	10.X

УРОСЪ
ПОЛУДАХЪ
1. ДОСТУНУ.

100

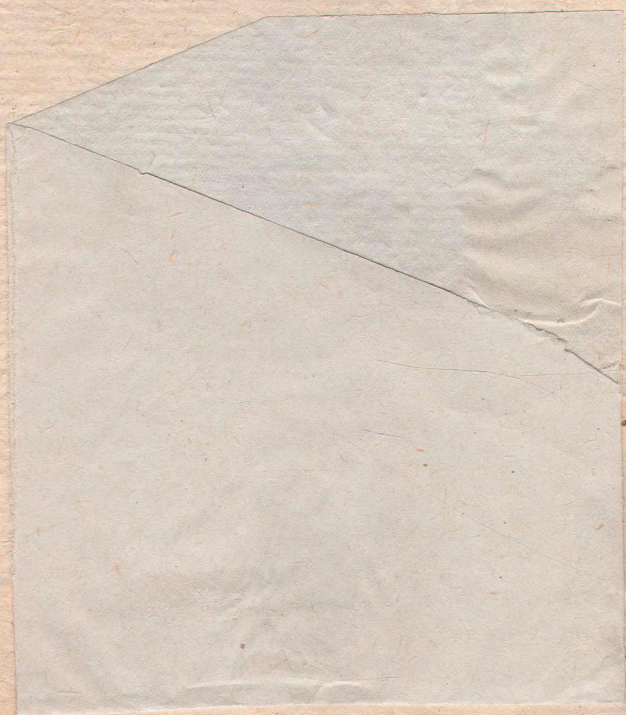
I

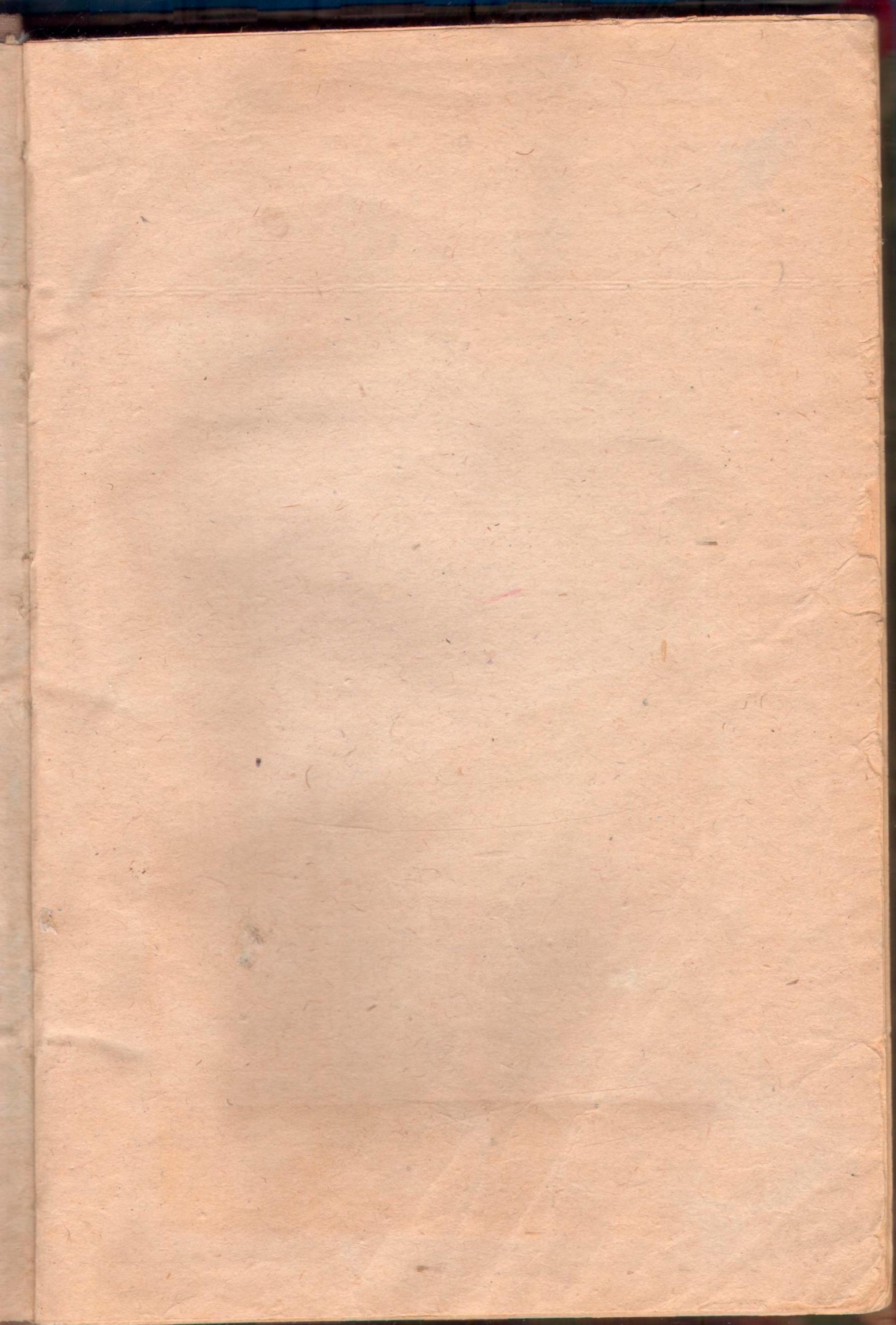
V.N. Karazin Kharkiv National University



01084497

3





А. К. ВАЛЬТЕР

95

18

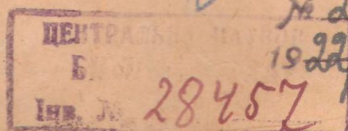
АТАКА АТОМНОГО ЯДРА.

с 91 рисунком в тексте

ЦЕНТРАЛЬНА НАУКОВА

БІБЛІОТЕКА

№ 126666 +



ОНТИ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО УКРАИНЫ
ХАРЬКОВ

НКТП
1934

58 14

Библиографическое описание этого
издания помещено в „Літописі Укра-
їнського Друку“, „Картковому
Репертуарі“ и других указателях
Української Книжної Палати

СЕКТОР ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ

13-4-4

Типо-лито-цинкография ДНТБУ
Харьков, Суздальск. ряды, 18/20.
Главлит № 2610. Заказ № 929.
Тираж 4.000. 6 бум. лист. В бум.
листе 102.000 зн. Бумага 62×94.
1 метр. ст. 36 кг.

3001 — 7000

Ответственный редактор *В. В. Гей*
Техническое оформление *И. М. Скок*

1. ЗНАЧЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ЯДРА

Физики всего
мира изучают
строение ядра

Вряд ли в истории физики можно указать еще на одну проблему, над которой работали бы столь же крупные силы мировой науки, которая столь же занимала бы их, как проблема атомного ядра. Эта проблема может быть смело названа центральной, и с каждым годом, по мере приближения к ее разрешению, по мере получения новых результатов, проливающих свет на загадку строения ядра, она становится все более глубокой, все более захватывающей, и к работе над ней привлекаются все более и более широкие слои исследователей, она становится велущей, стержневой проблемой тематики все новых и новых институтов. Трудно даже перечислить все научно-исследовательские ячейки и всех исследователей, занятых разрешением вопросов, прямо или косвенно касающихся проблемы строения ядра: число первых измеряется многими десятками, а вторых — сотнями.

Можно уже говорить о целых школах, о сильных научно-исследовательских группах, целеустремленно работающих в этой отрасли; даже таких насчитывается не мало: в Англии — школа Резерфорда (Кембридж), насчитывающая ряд авторитетнейших специалистов, как Резерфорд, Чадвик, Эллис, Кокрофт и др., и около тридцати лет упорной и плодотворной работы; в Америке — Лауренс, Ливингстон и др. (Калифорнийский университет) и ван-Грааф (Принстон); во Франции — школа Кюри; в Австрии — Петерсен и Кирш (Вена); в Германии — даже ряд „школ“ — Мейтнер (Берлинский институт университета), Боте, Браш и Ланге (исследовательский институт фирмы АЕГ) и др.

В дореволюционной России исследованием атомного ядра не занимались вовсе, да, впрочем, и о „русской“ физике в ту эпоху говорить не приходится, так как она ютилась в двух-трех университетских кафедрах и подбирала крохи западно-европейской научной мысли. За шестнадцать лет существования Советского Союза наша физика не только окрепла и выросла, но, опираясь на мощную материальную базу в виде сети научно-исследовательских институтов, в которых работают с большевистским упорством и энтузиазмом тысячи молодых наших специалистов, решительно вышла на одно из первых мест, обогнав ряд евро-

пейских стран, в том числе скандинавские страны и Францию, и став примерно на четвертое место (после Германии, Англии и Америки).

**Исследование
атомного ядра
в СССР**

При бурном росте и укреплении физики Советского Союза центральная проблема — физика ядра — естественно не могла не занять места в тематике наших институтов. И, действительно, здесь физики СССР уже имеют за собой довольно крупные достижения. Достаточно указать теоретические исследования молодого ленинградского физика Гамова, который первый в мире сделал крупный шаг к разработке теории строения ядра; экспериментальные исследования Скобельцына (Ленинград) и др. Однако до 1930 г. у нас не было ни одной лаборатории, ни одного института, целеустремленно посвятившего себя, подобно Кевендишскому институту Резерфорда, проблеме ядра. Вместе с тем советская физика, социалистическая физика должна завоевать первенство в разрешении проблемы международно-исторического значения, должна занять первое место среди передовых стран, научные силы которых брошены на штурм ядра.

Учитывая это, молодой Украинский физико-технический институт (УФТИ) в Харькове, выйдя из периода организации и освоения оборудования, переключил свои лучшие силы на решение этой проблемы, выделив сильную бригаду в составе до двадцати человек и крупные средства на работы по исследованию ядра, и закрепил эту тему как стержневую в тематическом плане института на вторую пятилетку. Работа этой бригады уже дала ряд крупных достижений; темпы и качество ее не оставляют сомнения в том, что путь, пройденный крупнейшими лабораториями Запада и Америки, будет совершен ею в более короткий срок, и, при наличии правильной организации труда и молодого энтузиазма ее участников, бригада УФТИ станет одной из ведущих лабораторий мира.

Не даром вокруг атомного ядра напряженно работали десятки лабораторий и сотни исследователей. После десятилетий упорной, неблагодарной, кропотливой работы, которая год за годом давала новые сведения о строении ядра, но давала их настолько скупо, что трудно было заметить приближение к конечной цели, — 1932 г. был ознаменован рядом крупнейших открытий, которые по праву принадлежали школе Резерфорда, наиболее сильной научно-исследовательской группе, работающей в области ядра. Эти открытия, до известной степени, опрокинули установившиеся до сего времени представления о строении ядра, и результаты их еще куда трудно оценить. Можно только сказать, что в исследовании ядра произошел решительный сдвиг, скачок, что открытия 1932 г. послужат тем трамплином, с которого научное исследование сможет сделать еще более решительный прыжок в

тайники самой существенной, самой основной и вместе с тем самой трудно достижимой части атома. Когда мы в следующей главе, более подробно познакомимся с основами строения атома, нам легче будет оценить смысл и значение открытий, о которых идет речь; однако и здесь уже можно сказать, в чем они заключаются. Это:

1) установление Чадвиком испускания ядрами атомов особых до сего времени совершенно неизвестных, нейтральных, т. е. незаряженных, частиц нейтронов, которые, очевидно, входят в состав атомного ядра и о существовании которых до сих пор ничего не было известно;

2) достигнутое Кокрофтом и Уолтоном расщепление ядер ряда элементов, вызванное ударом заряженных атомов водорода, предварительно ускоренных в разрядной трубке действием высокого постоянного напряжения;

3) открытые Андерсоном и Блэкеттом „ядерные“ взрывы, сопровождающиеся выделением громадной энергии и испусканием неизвестных до сих пор частиц — позитронов.

Однако, прежде чем рассматривать всю важность и значение именно этих результатов, нам необходимо разобраться в том, почему же исследование атомного ядра является столь актуальным, почему эта задача заняла центральное место в физике, что может дать разгадка строения атомного ядра и в чем заключается его загадка.

Атомистическая теория, представляющая все Атом, его оболочка и ядро тела в природе не сплошными, а состоящими из отдельных мельчайших частиц атомов и молекул, — в течение многих лет уже может считаться не догадкой, не гипотезой, а столь же верным отражением действительности, как представление о шаровидной форме земли или о том, что земля и другие планеты обращаются вокруг солнца. Миллионы всевозможных экспериментов, проведенных исследователями (преимущественно физиками и химиками), с момента зарождения этих наук и до сего времени не дают ни одного результата, противоречащего этой теории. Ее достоверность не многим меньше достоверности того утверждения, что Солнце взойдет сегодня так же, как и вчера, хотя последнее подтверждено наблюдениями всего человечества, во всяком случае со времени зарождения письменности.

Все бесчисленное множество различных веществ, окружающих нас, состоит из относительно небольшого количества (92) элементов; атомы этих элементов, соединяясь между собой в различных комбинациях, дают более сложные частицы — молекулы, из которых построены окружающие нас тела. В середине прошлого столетия этим и ограничивались представления о строении вещества. Оставалось неясным, чем различаются атомы 92 сортов, почему они связываются в совершенно определенных комбинациях в молекулы, какие силы сдерживают атомы

в молекуле, и, кроме того, в этой картине строения вещества не оставалось места для электричества: электричество представлялось какой-то особой „невесомой“ жидкостью, которая может заполнять „поры“ между отдельными атомами, но не участвует в них в виде составной части. Конец девятнадцатого века был ознаменован большими сдвигами в развитии представлений о строении вещества. Основным из них было открытие атомной структуры (строения) электричества. На сцену появляется электрон — элементарный электрический заряд — атом электричества. Устанавливается его масса (вес), величина заряда, и электрон завоевывает почетное место, как „кирпич мироздания“ — одна из составных частей, из которых построен атом. Около 1912 г. получает право гражданства модель (т. е. наглядный образец) строения атома, которая, правда, претерпев за последние годы немаловажные изменения, все же сохраняет самые основные черты и в современных представлениях о строении атома. Согласно этой модели (ее творцами были Резерфорд и Бор),¹ всякий атом состоит из положительно заряженного ядра, окруженного оболочкой отрицательно заряженных электронов. При „нормальных условиях“, т. е. когда атом не подвергается сильным воздействиям извне, — положительный заряд ядра равен отрицательному заряду оболочки, так что весь атом в целом нейтрален, т. е. как бы не обладает электрическим зарядом. Различные сорта атомов отличаются величиной заряда ядра или, что то же, числом электронов в его оболочке, при чем самый простой атом водорода обладает всего 1 электроном в „оболочке“; самый сложный — атом урана — 92 электронами. Таким образом, в атоме намечаются две части: периферическая, внешняя, представляющая рой отрицательно заряженных электронов, обращающихся вокруг ядра, и внутренняя, положительно заряженная часть — самое ядро атома.

Периферическая часть атома является наиболее доступной для всякого воздействия, и даже без особенно мощных средств в ней можно вызвать различные изменения. Можно привести несколько типов таких изменений, которые часто случаются в жизни атомов и обуславливают очень многие его свойства. Одним из типичных изменений такого рода является возбуждение атома.

О том, что такое возбуждение, можно себе составить весьма грубое, но довольно наглядное представление на следующем примере. Представьте себе довольно туго натянутую струну. Оттянув ее, а

¹ Первая модель атома с электронами предложена Томсоном. Согласно этой модели, атом представляет собой равномерно наэлектризованный положительным электричеством шар, внутри которого неполновидно покоятся электроны. Эта модель позволила в грубых чертах объяснить ряд атомных свойств, в частности испускание света атомами и действие магнитного поля на излучение атомов (эффект Зеемана), но ее пришлось оставить после опытов Резерфорда с рассеянием α -частиц при прохождении через материю (об этом см. ниже).

затем отпустив, мы замечаем, что струна приходит в колебательное движение, при чем слышен постепенно ослабевающий звук; чем сильнее натяжение струны, тем этот звук выше. Работа, которую мы потратили на растяжение струны, перешла в ее дрожание — в звук, который „излучается“ в окружающее пространство.

Нечто подобное можно проделать и с атомом: „оттянув“ один из электронов оболочки (этого, конечно, нельзя сделать руками или каким-либо инструментом, но лишь ударом другого атома или электрона, или путем „раскачивания“ атома светом), мы приводим атом в возбужденное состояние, подобно натянутой струне. Роль упругих сил, развивающихся в струне, играют здесь силы притяжения между положительным ядром и отрицательным электроном. Электрон, „соскакивая“ в свое первоначальное состояние, „излучает“ избыточную энергию в виде света, при чем частота этого света (аналогично высоте звука в случае струны) будет зависеть от прочности связи данного электрона с ядром, от работы, которая была затрачена на „оттягивание электрона“, — на возбуждение атома.

Излучение и поглощение света атомами, т. е. оптические их свойства, оказываются, таким образом, тесно связанными с тем, как построены их электронные оболочки и каковы силы, притягивающие электрон к ядру.

Электронная теория атома почерпнула мощную поддержку в изучении оптических свойств атома и, с другой стороны, помогла разобраться в этих оптических свойствах. Можно смело сказать, что было бы невозможно понять всю сложную и разнообразную область этих оптических свойств без наших современных представлений о строении оболочки атома. Спектральный анализ, т. е. определение состава вещества по испускаемому и поглощаемому им свету, который дал в руки химика самый чувствительный метод для обнаружения ничтожных количеств примесей в исследуемых соединениях, — целиком обязан нашим представлениям об электронной оболочке и ее строении. Спектральный анализ позволяет с величайшей достоверностью говорить о составе звезд, расширяя область исследования химика, раздвигая стены его лаборатории на миллиарды миллиардов километров, — делая объектом точного исследования мира отдаленных уголков вселенной, пылающие солнца которых кажутся нам мерцающими звездочками.

Однако оптическими свойствами далеко не исчерпывается та область, которая развилась, получила объяснение и обоснование в наших представлениях об оболочке атома.

По мере того, как атом подвергается все более и более мощным внешним воздействиям (например, при увеличении скорости, а следовательно, и силы удара попадающей в него „пули“ — электрона или другого атома), появляется возможность возбуждения

Ультрафиолетовые и рентгеновые лучи

все более и более прочно связанных с ядром электронов, расположенных во внутренних слоях оболочки, а следовательно, возрастает и частота света, который испускается атомами, когда электрон вновь „проваливается“ на свое прежнее место.

Наш глаз в состоянии ощущать только очень маленькую область „света“, именно такой свет, частота которого лежит между 4×10^{14} (четыреста тысяч миллиардов) колебаний в секунду — „красный“ свет и 8×10^{14} (восемьсот тысяч миллиардов) колебаний в секунду — „фиолетовый“ свет. Электромагнитные колебания с большей и меньшей частотой, которые по существу представляют собой то же явление, что и свет, нашим глазом не воспринимаются, и поэтому о них можно говорить как о „невидимом свете“, который, однако, прекрасно чувствуется фотопластинкой и другими методами, доступными современному исследователю. Излучение видимого света — результат возбуждения самых слабо связанных с ядром (оптических) электронов. Возбуждение более глубоких (более прочно связанных) электронов дает излучение „более высокочастотного“, уже невидимого света, который носит название ультрафиолетового и который за последнее время получает все более и более широкое распространение в медицине („горное солнце“), технике (браковка различных окрашенных изделий — по степени отражения ими ультрафиолетового света), сельском хозяйстве (повышение всхожести семян облучением ультрафиолетовыми лучами) и даже в технике судебной экспертизы (обнаружение подлогов).

Еще более мощное „расшатывание“ атома вызывает возбуждение еще более „прочных“ электронов и излучение еще более высокочастотного, коротковолнового или, как говорят, „жесткого“ света, который известен под названием рентгеновых лучей. Их применение в медицине, основанное на большой проникающей способности этих лучей, широко известно. Ими пользуются не только для диагностики (обнаружение неисправностей в человеческом организме), но и для лечения (поверхностная и глубокая терапия). Рентгеновы лучи получают из года в год все более и более широкое распространение в металлургии и металлообрабатывающей промышленности, позволяя „заглянуть“ внутрь сплошных металлических изделий (валы, маховики, моторные блоки и т. д.) и установить их пригодность еще до окончательной обработки (просвечивание), а также являются мощным подспорьем при исследовании строения металлов (сплавы) и тех изменений, которые в них вызывают холодная и горячая обработка (размер и строение зерен металла, их взаимное расположение и т. д.).

Химические	Можно было бы без конца заниматься пере-
свойства атомов	числением областей, в которых выяснение природы
и ионы	электронной оболочки произвело решительный
	переворот, позволило объяснить происходящие явления, овла-

деть ими и использовать их в бесчисленных технических применениях.

К ним относятся — магнитные свойства материалов, целиком определяющиеся свойствами электронной оболочки; электрические свойства — проводимость, электрическая прочность твердых, жидких и газообразных тел и т. д., механические свойства твердого тела и другие свойства, непосредственным образом определяющие технические применения данного вещества. Однако, несмотря на весь интерес и поучительность этой страницы истории развития физики и ее технических применений, мы не можем здесь остановиться на них подробнее и упомянем только о том, как связаны химические свойства атома с его электронной оболочкой.

Под действием внешних воздействий электрон может быть не только „оттянут“ из своего первоначального положения в оболочке на большее расстояние от ядра (возбуждение), но и вовсе оторван от атома (ионизация). Так как в своем нормальном состоянии атом электрически нейтрален (положительный заряд ядра равен отрицательному заряду оболочки), то при ионизации (отрыв электрона) у атома обнаруживается положительный заряд, равный элементарному заряду электрона. Такой атом носит название положительного иона. Можно оторвать от атома и не один, а два и более электронов, при чем получаются двух- и более зарядные ионы. В зависимости от того, как сильно связаны с ядром самые внешние электроны оболочки атома, для ионизации атома требуется большая или меньшая энергия. Например, атомы, так называемых, щелочных металлов (литий, калий, натрий, рубидий, цезий), у которых один из электронов оболочки связан с ядром очень слабо, теряют его сравнительно легко, „охотно“, образуя однозарядные положительные ионы.

В отличие от элементов с атомами, легко теряющими электроны, существуют атомы, электронная оболочка которых построена так, что в нее сравнительно легко может „пристроиться“ посторонний данному атому электрон, в результате чего образуется атом, у которого заряд электронной оболочки больше положительного заряда ядра, т. е. отрицательный ион. Таким образом, в зависимости от строения оболочки атом под влиянием достаточно мощных внешних воздействий (например, при ударе быстрых электронов) может преобразовываться в положительный ион, теряя один или несколько электронов, или в отрицательный — улавливая в свою оболочку один или несколько посторонних электронов.

Образование ионов играет решающую роль в целом ряде физических процессов, как то: проводимости жидкостей, разряде в газах. Исключительное значение ионы играют и в химических процессах. Встретившиеся друг с другом два иона разных знаков взаимно притягиваются, в результате чего происходит образование молекул — частиц из двух и более атомов, связанных

силами притяжения электрических зарядов.¹ Из свойств электронных оболочек вытекают, таким образом, все химические свойства атомов: их „валентность“, „химическое сродство“, стойкость сложных молекул. В электронных оболочках получает твердое обоснование вся химия, и разбор их строения позволяет овладеть самой сущностью химических превращений элементов, без чего невозможно управление ими и их использование для целей промышленности.

Мы видим, таким образом, что развитие наших представлений о строении внешней части атома, его электронной оболочки, дало громадный сдвиг в уяснении ряда „периферических свойств“ ядра. Электрические, магнитные, оптические, химические свойства вещества, определяющиеся строением внешней части атомов, получили разъяснение. Электронная теория атомов позволила предсказать многие свойства атомов, позволила овладеть рядом этих свойств.

Последствия выяснения структуры периферии атома огромны. Каждый день приносит известия о новых исследованиях, открывающих новые технические возможности, которые не могли бы быть использованы без детального знакомства со строением атома и со свойствами его периферической части. Выяснение электронной структуры периферии атома — это факт, имеющий колоссальное значение, это грандиозная победа исследователей, которая сделала эпоху в физике, открыв ряд технических возможностей громадного значения.

При описании всех тех многочисленных свойств атомов, которые находят свое объяснение в строении его внешней электронной оболочки, мы совсем не касались его ядра, которое нас интересовало только как центральный положительный заряд, сдерживающий силой электрического притяжения электронную оболочку, представляющую собой обращающихся вокруг него электронов.

Однако значение атомного ядра далеко не исчерпывается его ролью „сдерживающего центра“. В самом деле, в ядре, прежде всего, сосредоточена почти вся масса (вес) атома. Если для водорода ядро в 1800 раз тяжелее, чем электрон в его оболочке, то для урана ядро уже примерно в 4000 раз тяжелее всей оболочки.

Таким образом, при различных движениях атома в целом (например, при движении ионов в сильно разреженном газе) внешняя оболочка с ее ничтожной массой играет весьма ма-

¹ Не всегда соединение двух или нескольких атомов в молекулу происходит благодаря силам притяжения между положительным ионом (атом, потерявший один или несколько электронов из оболочки) и отрицательным (атом с избыточными электронами в оболочке). В частности, возможны соединения двух одинаковых атомов (H_2 , O_2) и т. п. Взаимодействие в таких молекулах, называемых в отличие от гетерополярных, ионных — гомеополярными, также целиком определяется строением их электронных оболочек.

лую роль, и характер движения, определяющегося массой атома, зависит целиком от его ядра.

Существует целый ряд явлений, в которых на-ряду со свойствами электронной оболочки играет значительную роль и масса атома (явления теплопроводности, внутреннего трения и диффузии в газах и пр.). Исключительную роль играет масса атома, а значит и ядро, также в вопросах химии. Мы уже говорили о том, что химические соединения различных атомов обуславливаются связыванием их электронных оболочек, но нельзя забывать, что при химических превращениях атомы все-таки остаются в основном неизменными.

В самом деле, пусть кристалл каменной соли совершенно не похож на металл натрий (легкий, мягкий металл, чрезвычайно жадно соединяющийся с кислородом) и хлор (зеленоватый, ядовитый, тяжелый газ), но ведь каменную соль, образовавшуюся из этих двух веществ, можно разложить обратно на хлор и натрий или расплавив ее и пропуская электрический ток (промышленный способ добывания натрия), или путем очень сильного нагрева, или, наконец, рядом химических операций.

Атомы хлора так же, как и натрия, остаются в любых соединениях хлором и натрием. Вся химия построена на различных соединениях атомов 92 сортов, но при всех бесчисленных превращениях, которые претерпевают химические соединения, атомы каждого сорта сохраняют свою массу и заряд ядра, т. е. остаются теми же атомами, в каком бы соединении они ни были. Атом железа в метеорите, упавшем из необъятного межзвездного пространства, это такой же атом, как и тот, что проходит в составе кровяного тельца через наш мозг, как и тот, что связывается с углеродом в огнедышащей пасти магнитогорской домны, как и тот, что в виде красного соединения с кислородом придает окраску кирпичам, из которых сложены наши здания.

Химические превращения настолько резко изменяют большинство тел, что нелегко отказаться от впечатления о коренных, глубоких изменениях в атомах при химических реакциях.

В самом деле, что общего в драгоценном сапфире или рубине, который украшает ювелирные изделия, с кислородом, которым мы дышим, и с алюминием, из которого строим самолеты; что общего у васильковых, прозрачных кристаллов медного купороса с серой, медью и кислородом,—а между тем, сапфир и рубин представляют почти чистый глинозем—вещество, молекулы которого состоят из двух атомов алюминия и трех атомов кислорода, а медный купорос состоит, как известно, из меди, серы и кислорода.¹

¹ В окрашенные кристаллы медного купороса входит еще водород, но не в виде атомов, а в молекулах воды, которая размещается между молекулами сернокислой меди при кристаллизации медного купороса из раствора (кристаллизационная вода).

Тела, построенные из сложных молекул, вовсе не напоминают своими свойствами элементов, из атомов которых построены эти молекулы. Однако всегда можно без особых трудностей высвободить атом из соответствующей молекулы и убедиться в том, что при химических соединениях складываются, разрушаются и перестраиваются молекулы — комплексы атомов, но самые атомы остаются неизменными.

Действительно, производя электролиз (пропуская ток) через раствор глинозема в криолите (минерал, состоящий главным образом из фтористого натрия), мы можем выделить из глинозема алюминий, а нагревая до высокой температуры алюминий в присутствии кислорода, мы можем снова получить глинозем.

Подвергая электролизу раствор медного купороса, мы можем выделить из него медь и кислород, а опустив медь в серную кислоту, мы снова получим раствор медного купороса. Таким образом, выбирая подходящие воздействия (температура, электрическое поле и др.), мы можем производить всевозможные „химические превращения“, но эти превращения только „скользят по поверхности“ атомов, не изменяя их основной части — атомного ядра, которое определяет „лицо атома“, его химическую природу.

Химия среди миллионов химических превращений, которые непрерывно протекают в окружающем нас мире и в нас самих, не знает превращений атомов. 92 различных сорта атомов в бурном водовороте химических превращений связываются по одному, по два, иногда десятками и даже сотнями, образуя молекулы от простейших двуатомных до сложнейших органических (белки), разъединяются, заменяют друг друга, но не превращаются один в другой. Атом кислорода остается кислородом, атом железа — железом и золота — золотом.

До последних двух десятилетий идея превращения элементов, зародившаяся в средние века (поиски „философского“ камня для превращения различных элементов в золото), оставалась беспочвенной, и химики свыклись с мыслью о том, что окружающие нас тела состоят из 92 различных сортов вещества. После того, как было выяснено строение атомов в общих чертах, стало ясным, что различие в 92 элементах заключается не в их электронных оболочках, а в „устройстве“ их ядер, однако от этого не стало легче, так как природа ядра оставалась совершенно неизвестной. Установить эту природу, разобравшись в том, что представляет собой ядро, чем различаются ядра различных элементов, — вот те вопросы, которые стали в центре внимания физиков. И когда исторические исследования явления радиоактивности показали, что в состав положительных ядер некоторых элементов входят электроны (атомы отрицательного электричества), что ядра некоторых элементов претерпевают распад и превращение в другие ядра, когда, наконец,

Резерфорду удалось искусственно вызвать распад ядра и превращение элементов,—тогда отпали все искусственные перегородки, которые отделяли „92 сорта“ атомов, и начала развиваться и крепнуть мысль о том, что ядра всех элементов построены из одного и того же материала, что все элементы взаимно превратимы. Примерно, в этой стадии находятся наши сведения о строении ядра на сегодняшний день. Завеса, прикрывающая строение ядра — самой важной, самой характерной и вместе с тем самой трудно доступной части атома, трещит под нетерпеливыми руками исследователей. Искусственные перегородки, затруднявшие в течение сотен лет объединение и обобщение наших представлений о веществе, о „кирпичах мироздания“, — рушатся.

Мы стоим на пороге величайших открытий современности, результаты которых ни учесть, ни предугадать нельзя. Мы только сейчас начинаем осознавать тот громадный толчок, который получила наука в результате разъяснения строения внешней электронной оболочки атома, и пожинать плоды тех технических применений, которые нам дало это расширение научного кругозора. А ведь к строению ядра мы только-только начали подходить. Важно лишь сказать, что разрешение проблемы ядра даст во всяком случае не меньший сдвиг в науке, чем выяснение природы внешней оболочки атома.

Энергетический
интерес пробле-
мы ядра

Мы не касались еще одной стороны проблемы ядра — стороны энергетической. Проблема изыскания новых источников энергии не случайно занимает все большее и большее место среди основных проблем современной науки. Использование энергии солнца, тепловых ресурсов водных массивов, механической энергии приливов постепенно перерастает из стадии полуфантастического прожектерства в стадию постановки опытов, экономических расчетов (см. дискуссию ак. Иоффе и инж. Регирера на страницах газеты „Техника“). Дело не только в том, что запасы энергии в виде ископаемого топлива (уголь, нефть, торф, сланцы), „белого“ (энергия падающей воды) и „голубого“ угля (энергия ветра) в течение ближайших двух-трех сотен лет при современном бурном развитии промышленности смогут оказаться на исходе, но и в том, кто первый — мы, страна, строящая социализм, или они, загнивающий капиталистический Запад, овладеет новыми, более обширными и более дешевыми энергетическими ресурсами. Такое положение обязывает нас, советских физиков и исследователей, отнестись с самым полным, глубоким вниманием ко всем возможностям использования новых видов энергии, к тщательной разведке и исследованию запасов энергии, может быть даже недоступных для нас на современной ступени технического развития, к подготовке методов завоевания этих запасов.

В таком положении как раз находится исследование проблемы энергии атомного ядра. Уже первые опыты, установившие явление радиоактивности, т. е. выбрасывания из ядер атомов некоторых тяжелых элементов положительно и отрицательно заряженных частиц, и испускание этими ядрами очень „жесткого света“ (с частотой большей, чем у рентгеновых лучей), показали, что при радиоактивных превращениях выделяется громадное количество энергии, намного превышающее количества, которые могут быть получены при сжигании наиболее теплотворных сортов топлива.

Выделение энергии при радиоактивном распаде

Правда, естественные радиоактивные превращения идут сравнительно очень медленно, зато общее количество энергии, выделяемое при распаде, скажем, одного грамма радия, примерно равно той энергии, которая выделяется при сжигании полутонны лучшего твердого топлива. Конечно, не в использовании энергии распада радия искать новый источник энергии. Ведь грамм радия в сотни раз дороже тонны угля. Энергетическая ценность этого открытия заключается в том, что оно впервые указало на наличие внутри ядер атомов грандиозных запасов энергии.

Принцип эквивалентности массы и энергии

Дальнейшие успехи в оценке запасов внутриатомной энергии оказались возможными после разработки Астоном метода чрезвычайно точного определения атомных весов (см. следующую главу) и после установления высказанного знаменитым творцом теории относительности Эйнштейном принципа эквивалентности массы и энергии, из которого вытекает, что всякая энергия обладает массой.

Согласно этому принципу, масса всякой системы, обладающей некоторым запасом энергии, т. е. системы неустойчивой, которая при разрушении выделяет энергию, — несколько больше массы ее составных частей (например, заряд патрона до выстрела весит несколько больше, чем продукты горения заряда). Однако в обычных условиях при тех запасах энергии, о которых идет речь при химических превращениях, эти изменения массы настолько ничтожны, что никакими самыми точными методами этого изменения измерить нельзя, и в химии „закон сохранения массы“ считается поэтому незыблемым. Масса устойчивых образований, для разрушения которых нужно затратить некоторое количество энергии, несколько меньше массы их составных частей.¹

После того, как исследования Астона, Резерфорда и других (см. следующую главу) позволили сделать некоторые заключе-

¹ Масса E эргов энергии равна $\frac{E}{c^2}$ грамм, при чем c — скорость света, а $c^2 = 9 \times 10^{20}$.

ния о строении ядра, оказалось возможным ориентировочно оценить и те количества энергии, которые могут быть выделены при образовании или распаде ядер некоторых элементов.

Подсчет дал для некоторых ядер огромные значения; так, например, оказывается, что при образовании 1 ядра гелия из 4 ядер водорода и 2 электронов выделяется энергия в 0,00004 эрга, что в пересчете на грамм гелия дает энергию в 150 млн больших калорий, 170 000 киловатт-часов, т. е. равносильна энергии сжигания 20 тонн лучшего твердого топлива. Таким образом, если бы мы только сумели создать условия, при которых пошло бы превращение водорода в гелий, то одного грамма водорода хватило бы для замены энергии, вырабатываемой Днепрэльской станцией в течение получаса.

Сейчас мы ничего еще не можем сказать о том, каким образом создать те условия, которые способствуют превращению водорода в гелий, — но уже новейшие опыты Кокрофта и Уолтона указывают на возможность искусственного расщепления ядер ряда элементов с выделением значительной энергии.

Разумеется, от этих подсчетов до технического применения — „дистанция огромного размера“, однако ничто не указывает на принципиальную невозможность искусственного возбуждения процесса распада и образования ядер, а необыкновенные технические перспективы использования чудовищных запасов внутриядерной энергии делают атомное ядро еще более привлекательным предметом систематического исследования.

Таким образом, проблема атомного ядра заслуженно заняла центральное место. Не даром передовые отряды ученых всего мира ведут с разных концов штурм этой маленькой твердыни, этой самой маленькой и вместе с тем самой важной и самой хорошо защищенной крепости во всей вселенной.

Не даром передовые лаборатории Союза включились в атаку атомного ядра, поставив перед собой задание и на этом участке догнать и перегнать капиталистические страны Западной Европы и Америки.

Перед нами, физиками Союза, стоит задача не только ожесточенно бороться за первенство в деле исследования ядра, но и широко популяризовать проблему ядра среди трудящихся масс нашей страны, осветить перед ними всю важность и глубину этой проблемы, рассказать о тех трудностях, которые стоят перед нами, о том, как мы их преодолеваем, о достижениях заграничных ученых, о тех этапах, которые нам предстоит пройти и которые нами уже пройдены. Это и является целью, которую поставил перед собой автор книжки, представляющей попытку в небольшом объеме дать очерк основных методов исследования ядра и тех результатов, которые с помощью их достигнуты.

II. ОСНОВНЫЕ ПОДСТУПЫ К ИССЛЕДОВАНИЮ ЯДРА

Все то, что на сегодняшний день известно об атоме и его ядре, приводит к убеждению, что все известные нам атомы состоят из двух сортов частиц. О первом из этих сортов — электронах, атомах отрицательного электричества с малой массой ($\frac{1}{1844}$ массы самого легкого атома — атома водорода), нам уже пришлось немало говорить, когда мы касались строения внешней части атома и его периферических свойств.

Вторым сортом являются протоны — положительно заряженные ядра атома водорода, заряд которых по величине равен заряду электрона, а масса в 1844 раза больше.

Более ста лет тому назад английский врач и химик Проут впервые высказал предположение о том, что водород — самый легкий из всех веществ — является тем первичным веществом, из которого построены атомы остальных, более тяжелых элементов.

В его время атомные веса были известны не с большой точностью и не для всех элементов. Проута на его идею натолкнуло то обстоятельство, что для многих элементов атомные веса представляли примерно целое кратное атомного веса водорода. Позже, по мере усовершенствования методов определения атомного веса, было установлено, что, если атомный вес водорода условно принять за единицу, то атомные веса других элементов вовсе не всегда выражаются целыми числами. Эти измерения подорвали авторитет представлений Проута, которые в течение многих лет казались противоречащими данным опыта.

Только много позже, уже в двадцатом веке, Астону удалось разработать гораздо более совершенный способ определения атомных весов, которого мы подробнее коснемся ниже и который привел к удивительному открытию, заставившему отнестись с большим вниманием к заброшенным идеям Проута. Открытие заключалось в том, что атомные веса всех элементов (т. е. удельные веса их атомов по отношению к атому водорода) действительно выражаются целыми числами¹ и что вместе с тем правы химики, которые, определяя, например, атомный вес хлора, давали для него цифру, близкую к 35,5, т. е. отнюдь не целое число.

Это кажущееся противоречие разрешается существованием у ряда элементов так называемых изотопов. Изотопами были названы различные элементы или, вернее, разные „сорта“ одного и того же элемента, которые тождественны во всех своих химических и почти во всех физи-

¹ Если пренебречь небольшими поправками, которые связаны, как указывалось выше, с запасами внутриатомной энергии.

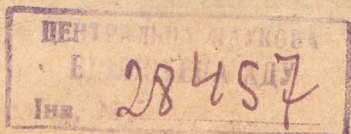
еских свойствах и различаются только массой (весом) своих атомов. Естественно, конечно, что химики, определяя атомный вес какого-нибудь элемента, состоящего из двух или нескольких изотопов, могли получать и получали нецелые значения атомных весов. Например, для хлора, обладающего двумя изотопами, „хлор 35“ и „хлор 37“, при чем атомов хлора 35 примерно в три раза больше, чем хлора 37, суммарный химический метод даст 35,5 — среднее значение атомного веса для обоих изотопов.

То, что масса всех атомов представляет целое кратное массы атома водорода, само по себе подсказывает, что ядра всех атомов состоят из протонов, ядер водорода. Однако это предположение стало вполне достоверным только после того, как Резерфорду в 1919 г., а вслед за ним венцам Петерсену и Киршу удалось более непосредственно убедиться в том, что водородные ядра являются на-ряду с электронами вторым основным строительным материалом, из которого образованы атомы элементов. Бомбардируя вещества, в состав которых входят легкие элементы,¹ несущимися с громадной скоростью заряженными частицами, названные ученые убедились в том, что удары этих частиц выбивают из ядер ряда элементов протоны — положительные ядра водорода. Таким образом, можно с большой степенью достоверности утверждать, что ядра элементов действительно построены из протонов. Однако остается нерешенным вопрос о том, из одних ли протонов состоят эти ядра, — и на этот вопрос приходится сразу дать отрицательный ответ.

Если бы ядра всех элементов состояли только из протонов, то атомный вес для любого атома равнялся бы заряду его ядра (предполагается, что под атомным весом мы понимаем число, показывающее, во сколько раз атом данного вещества тяжелее атома водорода; заряд ядра мы измеряем в элементарных зарядах, равных заряду электрона или протона). Измеренный таким образом заряд равен числу электронов в оболочке атома и носит название „атомного номера“.

В самом деле, если допустить, что ядро состоит только из десяти протонов, то атомный вес такого атома равен десяти, а заряд ядра (атомный номер) также должен равняться десяти. Атомный номер, или число электронов в оболочке, определяет целый ряд атомных свойств и может быть благодаря этому установлен с полной достоверностью. Оказывается, что из всех существующих элементов только для одного водорода атомный

¹ Опытами Резерфорда и его школы, которые будут подробнее описаны ниже, было установлено выбивание ядер водорода из 13 легких элементов (от бора до калия, за исключением углерода и кислорода); Петерсен и Кирш считают доказанным выбивание ядер водорода еще из многих других, более тяжелых атомов.



вес равен атомному номеру, для всех же остальных элементов атомный вес больше атомного номера. Заряд ядра меньше, чем ему следовало бы быть, если бы оно состояло исключительно из протонов. Вес атома указывает на то, что ядро состоит из протонов, и это предположение подтверждается опытами с разбиванием ядер. Вместе с тем, по атомному номеру можно утверждать, что, если ядро и состоит из протонов, то заряд ядра меньше суммы зарядов этих протонов.

В каком случае это может быть? В том и только в том случае, если заряд части ядерных протонов скомпенсирован отрицательно заряженными частицами, входящими в состав ядра, при чем масса этих частиц должна быть очень малой (иначе не получится целого атомного веса).

Внутриядерные электроны

Нам известны частицы, удовлетворяющие этим условиям. Это не что иное, как электроны. Допустив, что в состав ядра, кроме протонов, входят еще и электроны, так называемые внутриядерные электроны (их не следует путать с электронной оболочкой, окружающей ядро), мы можем легко объяснить неравенство атомного веса и атомного номера. В самом деле, если ядро состоит из десяти протонов и четырех электронов, то атомный вес равен десяти, а атомный номер (заряд ядра) на четыре единицы меньше, т. е. равен шести. Зная атомный вес и атомный номер, мы можем „угадать“, сколько протонов и электронов входит в состав ядра любого элемента. Читатель, взяв таблицу Менделеева, сможет без труда дать „анализ ядра“ для всех 92 элементов; мы же для примера приведем этот анализ только для нескольких элементов:

Элемент	Атомный вес (число протонов в ядре)	Атомный номер (число электронов в оболочке)	Число внутриядерных электронов (атомный вес минус атомный номер)
Водород . . .	1	1	0
Углерод . . .	12	6	6
Алюминий . . .	27	13	14
Железо 56 . . .	56	26	30
Железо 54 . . .	54	26	28
Медь 63 . . .	63	29	34
Медь 65 . . .	65	29	36
Уран	238	92	146

Явление радиоактивности, открытое Беккерелем в 1895 г., которое дало нам первые сведения о строении атомного ядра, веско подтверждает представление о вутриядерных электронах.

Ядра ряда тяжелых элементов неустойчивы, они „самостоятельно“, т. е. без внешних воздействий распадаются, выбрасы-

вая два рода частиц так называемые α - и β -лучи (альфа- и бета-лучи) и „жесткий“ невидимый свет — γ -лучи (гамма-лучи). Исследования над β -частицами сразу же показали, что последние представляют не что иное, как быстрые электроны. Таким образом, было установлено, что из ядер радиоактивных элементов выбрасываются электроны, и, следовательно, представление о внутриядерных электронах получило солидное обоснование.

Загадки ядра Как видите, в физике ядра уже наметились основные отправные пункты, кое-что уже известно, кое о чем можно догадываться; но некоторые вопросы ее до сих пор ставят исследователей в тупик.

Согласно изложенных представлений атомы состоят из двух основных типов частиц: электронов, более легких частиц, носителей отрицательного заряда, и протонов, примерно в 2000 раз более тяжелых частиц, заряженных положительно. Атомы построены в виде положительного ядра, окутанного облаком или роєм обращающихся вокруг него отрицательных электронов, при чем положительный заряд ядра равен суммарному отрицательному заряду этой электронной атмосферы. Число электронов в оболочке и строение ее определяют химические, оптические и многие другие свойства атома. Почти вся масса атома, однако, сосредоточена в его ядре. Атомные веса выражаются целыми числами, что указывает на то, что ядра состоят из протонов.

Различие между атомным весом и зарядом ядра указывает на наличие внутри ядра электронов, которые своим присутствием почти не меняют массу ядра, но сильно уменьшают его положительный заряд, компенсируя часть заряда протонов. Предположение о внутриядерных электронах подтверждается испусканием β -частиц ядрами радиоактивных элементов.

Однако во всех этих представлениях остается совершенно открытым вопрос об устойчивости атомного ядра, о сожательстве в минимальном объеме отрицательных и положительных частиц, о запасе внутриатомной энергии и т. д. В самом деле, ядро в целом положительно; между протонами должны возникнуть и проявляться громадные силы отталкивания.

Что же сдерживает между собою отдельные протоны? Что препятствует атому „взлететь на воздух“, разрушиться? Почему это все-таки происходит у радиоактивных элементов? Эти и бесчисленное множество других вопросов, относящихся к „загадке“ ядра, остаются на очереди и подлежат разрешению по мере дальнейшего исследования.

Основные направления исследования ядра Для того, чтобы овладеть загадкой атомного ядра, и познакомиться с деталями его строения, приходится подробно изучать все свойства атомов, прямо или косвенно связанные с его ядром. Задача осложняется тем, что сравнительно небольшое число

этих свойств зависит только от ядра, в большинстве явлений в мире атомов ту или иную роль играют их периферические электроны. Кроме того, непосредственное исследование ядра требует чрезвычайно мощных воздействий на атом, так как ядро представляет в большинстве случаев очень прочное образование, в отличие от электронной оболочки, которая легко реагирует на всякого рода внешние воздействия.

Трудности, связанные с исследованием ядерных свойств, заставили исследователей атомного ядра разработать ряд совершенно различных методов исследования ядра, подходить к нему с разных сторон, проверяя одним методом результаты другого, завоевывая пядь за пядью подступы к ядру, собирая отрывочные мелкие штрихи, характеризующие его, и составляя из них все более и более полную картину его строения. Мы не сможем здесь подробно остановиться на всех исследованиях, которые дают какие бы то ни было сведения о строении ядра. Для этой цели нам пришлось бы коснуться приемов и технических ухищрений, применяемых в самых различных физических изысканиях. Приходится ограничиться перечислением основных методов и объяснением их принципов. Более подробно нам удастся описать последние исследования по разрушению ядер — „молодую“ отрасль исследования ядра, которая, вместе с тем, представляется наиболее мощным и обещающим приемом.

Мы уже говорили о том, как атом испускает свет. Возбужденные внешним воздействием периферические электроны, возвращаясь в свое исходное положение в оболочке, отдают избыточную энергию в виде света видимого, если электрон слабо связан с атомом, и более высокочастотного невидимого (ультрафиолетового или рентгеновского), если были возбуждены „глубокие“ электроны оболочки, более прочно связанные с ядром. „Состав“ излучаемого атомом света или его спектр, определяется устройством электронной оболочки, а так как все атомы одного и того же элемента построены одинаково, то атомы этого элемента испускают излучение одинакового состава. Каждый элемент имеет вполне определенный спектр, вполне определенный набор колебаний. Подобно тому, как пианино может издавать известный набор звуков, определяемый числом, натяжением и длиной струн, так и атом излучает свет строго определенных частот или длин волн, и этот спектр определяется числом электронов, зарядом ядра и характером движения электрона в оболочке. Изменяя характер движения электронов в атоме, мы можем изменить и испускаемый им спектр.

Одним из методов воздействия извне на характер движения электронов в оболочке атома является помещение излучающих атомов в магнитное поле. Исследуя спектр светящегося газа, в одном слу-

Оптические методы исследования ядра

Явление Зеемана

чае без поля, в другом — между полюсами сильного электромагнита, Зееман установил резкое различие в этих спектрах. Влияние магнитного поля на спектр носит поэтому название эффекта или явления Зеемана. Нетрудно понять, почему магнитное поле видоизменяет движение электронов внутри атома. Ведь каждый обращающийся вокруг ядра электрон представляет собой как бы замкнутый ток, который, как известно, обладает свойствами магнита, и, следовательно, должен „поворачиваться“ под действием магнитного поля.

Детальное исследование явления Зеемана позволило сделать чрезвычайно ценные заключения о характере движения электронов в оболочке атома. Мало того, по мере усовершенствования методов исследования спектров, становилось все более и более очевидным, что каждый электрон, помимо обращения вокруг атомного ядра, обладает еще и „собственным вращением“, подобно волчку или земному шару, который, обращаясь вокруг Солнца, одновременно вертится вокруг собственной оси. Таким образом, каждый электрон-волчок является маленьким магнитиком или, как говорят, обладает магнитным моментом.

Самые новейшие исследования показывают, что для объяснения всех деталей явления Зеемана необходимо допустить, что и ядро атома тоже представляет собою магнитик. Таким образом, исследование эффекта Зеемана представляет один из путей изучения ядра. Зная магнитные свойства отдельного электрона, число внутриядерных электронов и магнитные свойства всего ядра в целом, можно делать некоторые заключения о строении ядра.

Нельзя сказать, что этот оптический путь сам по себе дал много ценных сведений. Магнитные свойства ядер выражены настолько слабо, что только самые мощные оптические методы, имеющиеся в руках современного физика-экспериментатора, дают некоторое представление о них. Однако в соединении с другими более непосредственными методами исследования оптический метод является чрезвычайно ценным подспорьем, тем более, что даваемые им сведения о ядре основываются не только на изучении явления Зеемана.

Мы уже говорили о том, что отдельные атомы, связываясь электрическими силами взаимодействия, образуют более сложные частицы — молекулы. Простейшие молекулы состоят из двух атомов (например, молекула водорода H_2 , хлороводородной кислоты HCl , угарного газа CO), более сложные — из трех и более атомов. Под влиянием внешних воздействий (удары частиц, раскачивание светом) молекулы так же, как и атомы, излучают свет, однако излучение света происходит нередко несколько иначе, чем у атомов. Помимо „электронного спектра“, излучаемого так же, как и в атоме, возбужденными электронами, когда они „проваливаются“ на свое нормальное „насиженное“ место внутри электронной

оболочки, молекула может излучать еще и свой специфический молекулярный спектр.

Чтобы понять, откуда берется этот спектр, рассмотрим простейшую двухатомную молекулу, которую мы грубо можем себе представить (рис. 1) как два тяжелых шарика, связанных между собой пружиной. Шарика—это ядра атомов, образующих молекулу; в виде пружинки представлены электрические силы связывающие их между собой. В то время как потенциальная энергия атома определяется положением электронов в его оболочке, потенциальная энергия молекулы (в простейшем случае—двухатомной, строение которой представлено на условной схеме

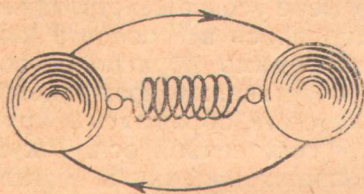


Рис. 1

рис. 1) будет зависеть не только от положения электронов в электронной оболочке (которая на этом рисунке не изображена), но и от взаимного расположения и свойств входящих в нее ядер.

Подобно тому, как атом при удалении электрона со своего обычного положения оказывается возбужденным, в роде оттянутой

струны, молекула может быть возбуждена при изменении взаимного расположения ядер. В силу этого молекулы, кроме „электронного спектра“, связанного с возвращением электронов из возбужденного состояния в нормальное, излучают электромагнитные колебания, связанные с изменением взаимного расположения ядер.

Излучаемый при этом молекулами спектр дает некоторое представление о строении входящих в них ядер.

Детали явления Зеемана и молекулярные спектры—один из подступов к проблеме ядра. Как то, так и другое явление требует для своего исследования точнейших оптических методов, представляющих вершины экспериментальной техники. У нас в Союзе такого рода исследования ведутся в Государственном Оптическом институте в Ленинграде. Работы проф. Фриша и других научных сотрудников этого института стоят на уровне передовых зарубежных институтов и уже дали ценные сведения о величине магнитного момента ядер некоторых элементов.

Молекулярные спектры позволяют также подойти к исследованию изотопов некоторых элементов; однако вопросы изотопии, как и вообще свойств атомов, непосредственно связанных с массой ядра, до последнего времени разрешались по методу, разработанному Астоном; мы сможем коснуться этого метода более подробно в связи с тем, что „магнитно-электрическое взвешивание“ или масс-спектрокопия является одним из наиболее важных методов исследования атомных ядер и продуктов их естественного и искусственного распада.

Взвешивание
атомов и их ос-
колков налету

Существует только один путь для бесспорного и точного анализа пучка элементарных частиц, который позволяет с величайшей точностью измерить массу заряженной частицы (если заряд ее известен), и поэтому является одним из самых ценных способов исследования атомного ядра.

В сущности говоря, этот метод, техническое оформление которого принадлежит Астону, непосредственно дает „удельный заряд“ частицы, т. е. отношение ее заряда e к массе m , величину, которую принято обозначать $\frac{e}{m}$. Определение этой величины сводится к измерению отклонения, которое претерпевают частицы под действием отклоняющих электрической и магнитной сил. Электрический заряд частицы определяет отклоняющую силу, испытываемую при пролете сквозь электрическое и магнитное поле. Отклонению противодействует инертная

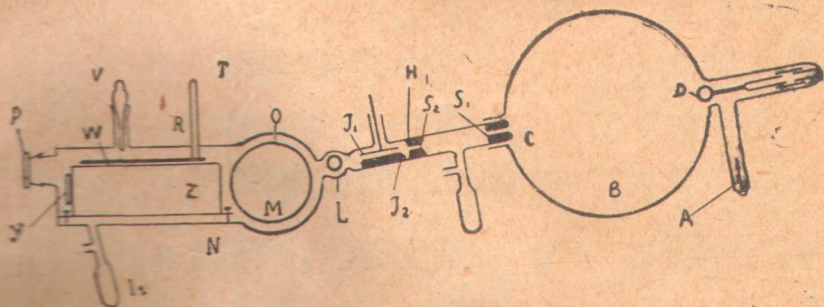


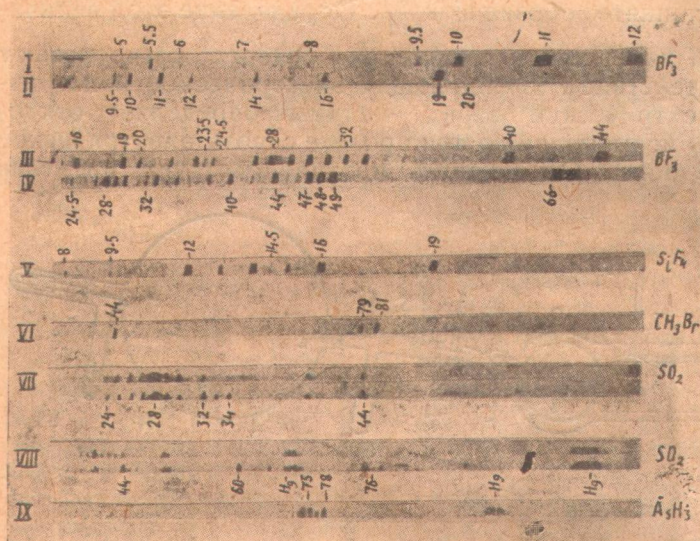
Рис. 2

масса частицы, благодаря которой последняя стремится сохранить первоначальное направление полета. Поэтому отклонение прямо пропорционально e , обратно пропорционально m и зависит также от скорости частицы v , при чем „непреклонность“ частицы, т. е. ее противодействие отклоняющим силам в электрическом и магнитном поле, растет с увеличением скорости. По счастью, однако, электрическое и магнитное отклонение различно зависят от скорости (первое обратно пропорционально v , второе — v^2); поэтому измерение отклонения частиц в электрическом и магнитном поле одновременно позволяет вычислить как их скорость v , так и удельный заряд $\frac{e}{m}$.

Весьма изящный способ Астона, позволяющий осуществить это измерение, заключается в следующем. Узкий пучок положительно заряженных частиц, вылетающих из разрядной трубки В и выбранных узкими щелями S₁ и S₂ (рис. 2), проходит вначале через электрическое поле (между пластинами J₁ и J₂, заряженными разным знаком), а затем через магнитное поле в М,

при чем направление электрического и магнитного полей выбраны таким образом, что они дают отклонения в противоположные стороны. При подборе соотношения электрического и магнитного поля Астону удалось добиться того, что частицы разной скорости, но одинакового удельного заряда $\frac{e}{m}$, попали в одно и то же место экрана $У$, давая на нем как бы изображение щели.

Таким образом, пучок частиц с различным отношением



Ри. 3с

(рис. 3) $\frac{e}{m}$

разлагается, давая на экране ряд черточек (изображений щели), „чистое“ отклонение которых от оси прибора, т.е. разность электрического и направленного в противоположную сторону магнитного отклонений, пропорциональ-

но удельному заряду.

С помощью этого метода Астону удалось произвести свои знаменитые измерения $\frac{e}{m}$ для ионов в различных элементах. Так как заряд частиц представляет целое кратное заряда водородного иона — протона и равен обычно 1, 2, иногда 3 таким зарядам, то, на основании отклонений черточек или линий „масс-спектра“, оказывается возможным без труда определить массу различных атомов.

Опыт Астона представляет не что иное, как своего рода взвешивание атомов во время полета. Пользуясь своим прибором, который получил название масс-спектрографа, Астон показал, что большинство элементов состоит из атомов не одного сорта, а из двух или нескольких изотопов, атомные веса которых отличаются на одну или несколько единиц. В противовес прежним представлениям, масса атома и

атомный вес не определяют, как мы видели, химических свойств атома; все периферические свойства (химические, оптические и т. д.) определяются электрическим зарядом ядра, числом его элементарных зарядов, которое совпадает с порядковым номером атома в периодической системе элементов.

В самом деле, величина этого заряда однозначно определяет внешние действия атома, т. е. число и группировку тех электронов, которые образуют оболочку и осуществляют связь между атомом и внешним миром. Таким образом, атомы с одним и тем же зарядом ядра являются изотопами одного и того же элемента, при чем слово изотоп (от греческого *изос* — одинаковый, равный, и *топос* — место) означает, что эти элементы занимают одно и то же место в последовательности элементов, несмотря на то, что их атомные веса могут отличаться на несколько единиц. Ряд масс-спектрограмм Астона, на основании которых было сделано открытие изотопов, приведен на рис. 3. Внимательно рассмотрев этот рисунок, можно заметить линии, соответствующие изотопам одного и того же элемента.

Таким образом, масс-спектрограф производит разделение, сортировку пучка частиц различной массы, нечто в роде того, что проделывают еще и посейчас в глухих медвежьих уголках Союза, отсеивая зерно от мякины, перебрасывая его лопатой из одного угла амбара в другой, при этом более тяжелые зерна летят дальше, а мякина отпадает по дороге, не долетая туда, куда падает зерно. Метод Астона никоим образом не является способом расщепления атомов; при его применении свойства атомов остаются совершенно неизменными; с его помощью достигается лишь разделение уже существующих в пучке различных по своей массе ионов. Говоря о разрушении ядер, мы опишем применение масс-спектрографа к исследованию продуктов разрушения атомов. Благодаря большой скорости исследуемых частиц и их ничтожно малому количеству в этом случае приходится прибегать к громадным электрическим и магнитным полям и к особым способам регистрации падающих на экран частиц, однако принцип способа остается тем же, что и у Астона.

Астон, в течение многих лет совершенствуя свой прибор, достиг громадной точности в измерении атомных весов, достигающей в лучших случаях сотых долей процента. Такое точное определение представляет громадный интерес в связи с тем, что для ряда элементов точное значение атомного веса — единственное данное для суждения о внутриядерной энергии.

Разумеется, измерение с точностью до сотых долей процента дается нелегко. Прежде всего с соответствующей точностью следует измерить и поддерживать постоянными электрическое и магнитное поля. „Линии“ масс-спектра должны быть чрезвычайно резкими, для чего атомы в течение всего своего полета не должны рассеиваться в приборе столкновениями об атомы и молекулы газа, который для этого со всевозможной тщатель-

ностью выкачивается; наконец, высокие требования предъявляются также и к чувствительному слою фотографической пленки или пластинки, которая устанавливается на экране (рис. 2) и служит для запечатления масс-спектра.

Масс-спектрография требует высокой экспериментальной техники, которая развита Астоном и его школой; она постепенно осваивается и физиками Союза, показателем чего могут служить работы Яковлева (физический институт московского университета) по масс-спектрографическому разделению изотопов. Эта задача представляет особый интерес в силу того, что, вследствие тождественности большинства физических и химических свойств изотопов, их разделение другими способами чрезвычайно затруднительно.

Таким образом масс-спектрография, являющаяся одним из основных источников наших сведений о ядре и дающая ответы на вопросы о точном значении массы атомов, а отсюда и о внутренней энергии, о числе и относительном количестве изотопов, о природе осколков атомов, возникающих при естественном или искусственном распаде атомных ядер, — становится достоянием советской науки.

Открытие явления радиоактивности дало первые достаточно достоверные сведения о строении ядра, и до нынешнего года радиоактивные элементы представляли самое необходимое оружие для исследования ядер. Это заставляет нас особенно заострить внимание на явлениях радиоактивности, рассмотреть достаточно подробно как основные факты, которые легли в основу наших представлений о ядре, так и те технические приемы, которые были выработаны в течение почти сорока лет работы над явлениями радиоактивности.

III. РАДИОАКТИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И ИХ ПРЕВРАЩЕНИЯ

В 1896 году Беккерель случайно установил открытие Беккереля, α - и β -лучи — излучение, испускаемое наиболее тяжелым из существующих атомов — атомом урана. Он показал также, что эти лучи проникают, подобно лучам Рентгена, сквозь различные вещества и действуют на фотографические пластинки. Дальнейшие исследования показали, что излучение урана состоит из трех различных составных частей, из которых одна очень похожа на лучи Рентгена, но обладает еще большей проникающей способностью, вторая — ничто иное, как катодные лучи, т. е. пучок быстро несущихся электронов, наконец, третья составная часть представляет пучок быстрых положительно заряженных частиц. Эти три сорта „лучей“ были названы по первым буквам греческого алфавита соответственно γ -, β - и α -лучами. Они могут быть легко „рассортированы“ действием сильного магнитного поля, как это показано на известном схематическом рисунке 4.

α -лучи (хотя и незначительно) отклоняются магнитным полем в направлении, по которому можно заключить, что они представляют быстрые положительно заряженные частицы. β -лучи отклоняются значительно сильнее и в противоположном направлении, откуда можно заключить, что эти частицы заряжены отрицательно и обладают значительно меньшей массой. Трудно было установить их тождество с электронами. Наконец γ -лучи в самых сильных полях остаются неотклоненными от своего первоначального направления, т. е. ведут себя подобно видимому свету или рентгеновым лучам.

Дальнейшим исследованием этих лучей мы обязаны супругам Кюри, которым впервые удалось (1898 г.) выделить из природного минерала — смоляной обманки — небольшое количество знаменитого элемента радия, „радиоактивность“ которого, т. е.

способность к испусканию указанных типов излучения, в миллионы раз сильнее, чем у урана. Фотографические методы исследования вскоре отошли на второй план и были вытеснены значительно более чувствительными электрическими методами, основанными на том, что все три типа лучей, проходя в газах, делают их про-

водящими, производя на своем пути ионизацию, т. е. отщепление электронов от оболочки атомов газа, благодаря чему в газе, наряду с нейтральными (не заряженными) атомами, появляются носители электричества, которые перемещаются в электрическом поле, давая ток.

Дальнейшее исследование явлений радиоактивности вскрыло целый ряд новых неизвестных дотоле явлений, истолкование которых привело к совершенно новым представлениям о строении атомов. Оно указало на наличие внутриядерных запасов энергии, неизмеримо больших, чем энергия всех известных химических соединений, и опровергло создавшееся в течение веков представление о неделимости и вечности атомов. Атомы могут образовываться и распадаться, „рождаться“ и „умирать“, и закон постоянной изменяемости движения, преобразования оказался, таким образом, применимым и к основным химическим элементам.

Более того, в течение последних пятнадцати лет радиоактивные элементы в руках самого выдающегося из современных исследователей атомного ядра Эрнста Резерфорда (рис. 5) ока-

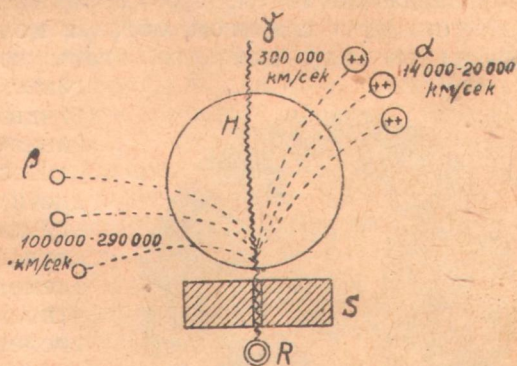


Рис. 4.

зались орудием, с помощью которого удалось осуществить превращение других нераспадающихся „самопроизвольно“ атомов. Быстрые α -частицы, пробивая „силовую броню“, защищающую внутреннюю часть атома, достигают его ядра, разбивают это ядро, при чем осколки атома вылетают прочь, и образуется новый тип атома.

Это вынужденное взрывом атома превращение элементов и представляет наиболее мощный прием атаки ядра, тот „лобовой удар“, о котором мы и будем главным образом говорить.

Радиоактивность Принято считать, что болезнь и смерть — бедствия, которые преследуют нас, живых и, конечно, минуют мир атомов.

Правда, мы знаем, что кирпичи мироздания вступают в соединения друг с другом, образуя молекулы, и расторгают эти временные связи для того, чтобы вступить в другие, однако

самые атомы принято считать вечными и неизменными образованиями.



Рис. 5

Исследования последних тридцати с лишним лет отняли у нас эту иллюзию. Атомы, во всяком случае атомы наиболее тяжелых элементов, как и мы, живут в течение ограниченного периода времени. Они рождаются, от рождения несут в себе зародыш своей гибели и по прошествии некоторого срока внезапно и бурно умирают. Их смерть — катастрофа в атомном мире, чудовищный взрыв, распад, при котором часть умирающего атома выбрасывается с такой силой,

что она пронизывает сотни тысяч других атомов и в некоторых случаях даже наносит им смертельные раны.

Все это относится к замечательной группе явлений, которые носят название радиоактивности, открытие которой, более чем какие-либо другие открытия, сделало эпоху в физике и химии. Помимо этого, открытие радиоактивности вызвало грандиозные сдвиги в ряде смежных наук и, прежде всего, позволило заглянуть в тайны неорганической материи значительно глубже, чем можно было предвидеть лет тридцать-сорок тому назад. Наиболее удивительным для физиков в этих новооткрытых явлениях казалось то, что радиоактивное излучение на первый взгляд не вызывает никаких заметных изменений в излучающем веществе.

Кажущееся несохранение энергии

Соответствующее излучению громадное выделение энергии, которое может быть установлено не только такими чувствительными приборами, как электроскоп и фотографическая пластинка, но

для препаратов значительной активности—даже просто термометром, казалось противоречащим принципу сохранения энергии. Этот принцип или закон, который уже в течение сотни лет является основой всей физики, гласит, что выделение энергии в каком бы то ни было виде может иметь место только за счет потребления соответствующего количества энергии. Вот этого-то источника энергии вначале и не могли усмотреть в явлениях радиоактивности. Были высказаны довольно фантастические предположения о том, что неизвестный вид излучения, которое доходит до земли из мирового пространства, всасывается и накапливается атомами радиоактивных веществ и выделяется ими в виде радиоактивных излучений. Окончательное решение загадки, данное Резерфордом и Содди, представлялось на первый взгляд не менее фантастическим. Они высказали предположение, что энергия, выделяемая в виде излучения, исходит из недр атомов и выделяется при превращении или распаде их ядер. Выделение этой энергии настолько огромно, что достаточно превращения в высшей степени ограниченного числа атомов за единицу времени для того, чтобы объяснить наблюдаемые действия.

Радиоактивные элементы претерпевают таким образом постепенное превращение, и первоначальное количество их атомов неуклонно падает. Вновь образовавшиеся атомы, образующиеся при распаде, как правило, и сами активны, т. е. в свою очередь испускают лучи и образуют новые, опять таки активные продукты превращений.

Отсюда следует, что рано или поздно среди членов такого ряда распадающихся и переходящих друг в друга элементов устанавливается своеобразное подвижное равновесие.

Радиоактивное равновесие

Характеризуется оно тем, что для каждого сорта атомов за одинаковый промежуток времени столько же атомов рождается, сколько и распадается. Необходимым условием для наступления такого радиоактивного равновесия является наличие „родоначальника“, первого элемента ряда, распадающегося настолько медленно, чтобы у нас, наблюдателей, создавалось впечатление процесса, не изменяющегося с течением времени.

Поэтому радиоактивные элементы располагаются в виде семейств, в которых радиоактивность, подобно наследственной болезни, переходит от поколения к поколению. Эту болезнь атом скрывает в себе в течение всей своей жизни, зато с тем большей мощью она проявляется в момент распада, когда выбрасывается довольно большая часть атома (α -частица), или меньшая (β -частица). Одновременно с выбрасыванием частицы

атом испускает γ -луч, до некоторой степени подобно тому, как звук сопровождает выстрел. Радиоактивный распад напоминает выстрел еще и в том отношении, что и сам распадающийся атом под влиянием „отдачи“ приходит в быстрое движение и откидывается в виде так называемого атома отдачи в сторону, противоположную направлению вылета его осколка.

α -частицы заряжены положительно. Их заряд вдвое больше положительного заряда протона или отрицательного заряда электрона (так называемого элементарного заряда). После потери своей громадной скорости, которая в момент вылета достигает свыше 20 000 км/сек, они нейтрализуют свой положительный заряд, улавливая два электрона, и оказываются атомами гелия, что было показано спектральным анализом собранных в большом количестве нейтрализованных α -частиц. Гелий—второй после водорода по легкости элемент и принадлежит к числу редких газов, в небольшом количестве входящих в состав атмосферы. Гелий имеет громадное промышленное значение как газ для наполнения дирижаблей, так как он почти не уступает водороду в подъемной силе и вместе с тем совершенно не горюч. Атомный вес гелия, а следовательно и α -частицы, равен 4.

α частица представляет атом гелия, лишенный электронной оболочки, состоящей из двух электронов. Согласно высказанному нами выше правилу (число внутриядерных электронов = атомный вес — атомный номер), она состоит из четырех протонов и двух электронов. Как мы увидим в дальнейшем, ядро гелия (α -частица) представляет чрезвычайно прочное образование, которое не разрушается при самых мощных воздействиях. Атомный вес гелия, если говорить вполне точно, несколько меньше суммы весов четырех протонов и электронов: этот „дефект массы“, как мы видели, указывает на „прочность“ α -частицы, на то, что при образовании ее выделяется большое количество энергии, или, что то же, на то, что для ее разрушения нужно затратить громадное количество энергии.

Большая скорость испускаемых радиоактивными препаратами α -частиц наряду с их довольно значительной массой обуславливает большую живую силу, или кинетическую энергию, таких частиц. Этим и объясняется то, что почти исключительно эта форма радиоактивного излучения вызывает теплообразование, наблюдающееся у радиоактивных элементов.

β -частицы представляют не что иное, как электроны, которые выбрасываются из ядра с еще большей, чем у α -частиц, скоростью. Наиболее „жесткие“, т. е. быстрые, β -частицы некоторых радиоактивных элементов движутся со скоростью, близкой к скорости света (около 300.000 км/сек).

α - и β -распад

Существует два основных типа радиоактивного распада: распад с выбрасыванием α -частицы

и с выбрасыванием β -частицы. Испускание γ -лучей, как явление вторичное, мы пока во внимание не принимаем. В первом случае масса распавшегося атома уменьшается на массу испущенной α -частицы (атомный вес падает на 4); таким образом, „новорожденный“ атом легче своего предшественника. Во втором случае изменение атомного веса, благодаря малой массе электрона, практически незаметно. Кроме того, при радиоактивном распаде изменяется заряд ядра, т. е. атомный номер, при чем при испускании α -частицы он уменьшается на две единицы (потеря двух элементарных зарядов частицы), а при испускании β -частицы возрастает на единицу, так как при потере β -частицы, обладающей единичным отрицательным зарядом, один лишний положительный заряд в ядре оказывается нескомпенсированным.

Кроме характера испускаемых частиц, радиоактивное превращение характеризуется еще и своей быстротой. Обычно мерой этой быстроты служит тот промежуток времени, в течение которого распадается половина атомов данной порции элемента. Этот промежуток носит название времени или периода полураспада. По истечении следующего периода полураспада остается уже только четверть первоначального количества атомов; спустя третий период — только одна восьмая и т. д. Этот факт можно выразить и другими словами, сказав, что из данного числа атомов за секунду распадается определенная часть, и эта постоянная, определяющая темп распада, весьма различна для членов одного и того же семейства.

Таким образом, например, из биллиона атомов радия в секунду распадается приблизительно четырнадцать штук, а соответствующее скорости этого распада время полураспада измеряется для радия приблизительно 1600 лет. С начала нашей эры из грамма радия сохранилось бы до настоящего времени менее половины.

Ближайший „отпрыск“ радия — эманация, или радон — является благородным газом и притом наиболее тяжелым в группе элементов, которая начинается гелием. Радон распадается приблизительно в 150 000 раз скорее, чем радий, так что из миллиона его атомов в секунду распадается примерно два, а время его полураспада примерно равно четырем дням.

Существуют однако элементы более долговечные, чем радий, и менее долговечные, чем радон. Родоначальник семейства — уран — распадается в миллион раз медленнее радия, так что любое количество этого элемента для того, чтобы наполовину распасться, требует, четыре с половиной миллиарда лет, с другой стороны четвертый (считая от радона) продукт распада, радий C распадается настолько стремительно, что время его полураспада равно одной миллионной доле секунды.

Продолжительность жизни отдельных атомов радиоактивного элемента, как и у людей, колеблется в широких пределах

вокруг некоторого среднего значения (например, средний возраст, которого достигает атом радия, равен 2280 лет, т. е. на 700 лет превышает время полураспада). Среди атомов радона есть такие, которые распадаются уже в течение первой секунды с момента их рождения, а некоторые их сверстники переживают их на недели и даже месяцы. Однако такие атомы столько же редки, как столетние старики в мире людей.

Почти все радиоактивные вещества принадлежат к одному из двух семейств, родоначальниками которых являются уран и торий. Третье радиоактивное семейство, которое считалось ранее самостоятельным и по своему наиболее распространенному представителю было названо серией актиния, в результате позднейших опытов оказалось ответвлением серии урана. В самом деле, один из ее членов (уран II) распадается двояким путем: три процента его атомов превращаются в атомы очень быстро распадающегося элемента, названного „уран Y“, при распаде которого образуется протоактиний — родоначальник серии актиния, тогда как 97% урана II переходят в элемент ионий, продолжая основную линию семейства.

На рис. 6 представлена схема превращений семейства урана, при чем на нем изображена родословная только для основной ветви.¹ Каждый сорт атома отмечен ободком, внутри которого обозначено название соответствующего вещества, его атомный вес и заряд ядра (атомный номер). Число слева от квадрата показывает время полураспада, в течение которого половина всех атомов претерпевает превращение. Тип распада представлен обозначенными буквами α и β и штрихами, которые расположены справа у соответствующих квадратов. Длина штриха представляет в произвольном масштабе пробег частицы в воздухе, важную постоянную, о которой речь впереди.

Особого внимания заслуживают два последних члена семейства. Предпоследний (радий F) представляет собою не что иное, как чрезвычайно активный элемент, который был в свое время выделен супругами Кюри из основного уранового минерала — смоляной обманки — и назван полонием. Это „ α -излучающий“ элемент с относительно медленным распадом (период полураспада 137 дней), количество которого при радиоактивном равновесии относится к количеству радия, как соответствующие периоды полураспада, т. е. 137 дней к 1580 годам, и составляет не более одной четырехтысячной количества радия.

¹ Для простоты на этой схеме не отмечено, что в семействе урана в двух местах имеются разветвления. Так, небольшая часть атомов RaC переходит с α -излучением в элемент RaC', который в свою очередь, испуская β -излучение, распадается, образуя RaD. В дальнейшем под RaC мы будем понимать этот элемент вместе с обоими своими отпрысками.

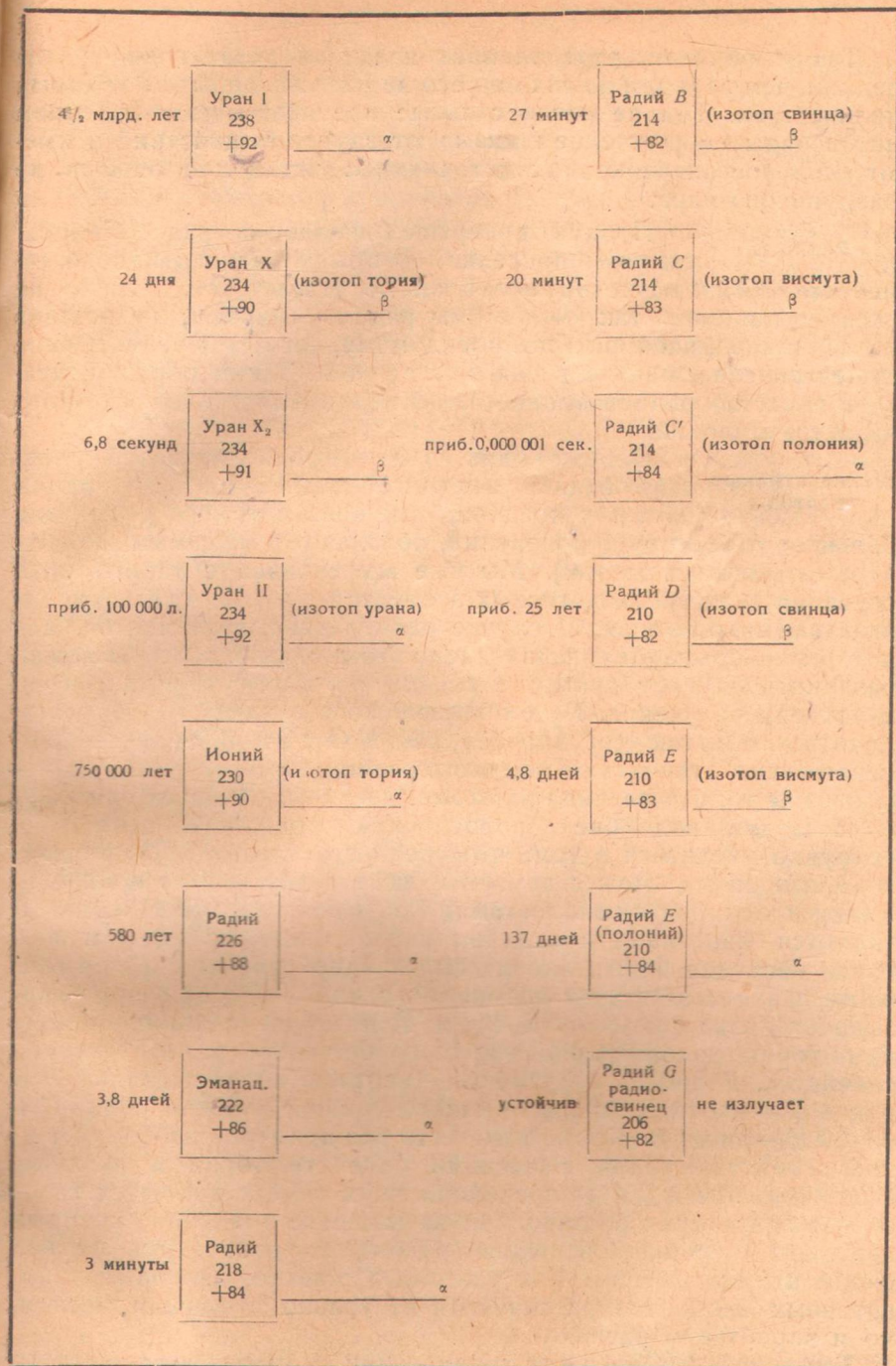


Рис. 6

Таким образом, этот элемент является значительно более редким, чем радий, и до сих пор его не удалось добыть в видимых количествах. Тем не менее сильные препараты полония своим интенсивным α -излучением вызывают заметное действие и имеют большое значение как источники α -частиц для опытов по разрушению ядра.

Радий G Продукт превращения полония—радий G—представляет последний отпрыск радиоактивного семейства урана, на котором оно как бы угасает. Это, однако, не следует понимать так, что атомы радия „умирают, не оставив наследников“, наоборот, им, повидимому, достается безмятежное существование, они не радиоактивны. Таким образом, угасает свойство радиоактивности, последним носителем которого является полоний.

Радиоактивные изотопы Нередко один из членов радиоактивного семейства обладает исключительным сходством с одним из своих предков, отделенным от него двумя или большим количеством поколений, обладая тем же самым зарядом ядра (атомным номером). Мы уже встречались с такого рода случаями для нерадиоактивных элементов и знаем, что оно носит название изотопии. В случае радиоактивных элементов, для которых впервые было установлено это свойство, изотопы можно различить друг от друга не только по массе ядер, но и по характеру излучения. Путем химического анализа изотопы различить нельзя, так что, например, радий G с атомным весом 206,0 невозможно отличить от обычного свинца (атомный вес 207,2), несмотря на то, что разница их атомных весов превышает единицу.

Исследуя подробнее родословную уранового семейства, нетрудно убедиться в том, что среди его членов многие являются изотопами друг с другом и даже с другими не принадлежащими к семейству элементами. Так, например, уран I и уран II являются изотопами с зарядом ядра, равным 92 зарядам протона, несмотря на то, что массы их ядер отличаются на 4 единицы, что соответствует потере α -частицы с массой 4 при переходе от урана I к урану II. Уран X и ионий являются изотопами тория, родоначальника другого большого радиоактивного семейства. Радий A и радий C' — изотопы полония, радий B и радий D — изотопы RaG и обычного свинца, наконец радий C и радий E — висмута. Кроме того, есть ряд примеров изотопии членов семейства урана с членами семейств тория и актиния. Например, в каждом из последних двух семейств имеется газобразный продукт распада, так называемые эманации, которые изотопны с эманацией радия (радон), но отличаются от нее своим атомным весом. Как уже было сказано, изотопы радиоактивных элементов различаются не только атомными весами, но и характером распада.

Так, например, хотя все три эманации выбрасывают α -частицы, однако пробег этих частиц и скорость распада совершенно

различны. Так, например, эманация радия (радон) распадается наполовину за 38 дней и испускает α -частицы с пробегом 3,9 см, период полураспада для эманации тория (торон) измеряется всего 54 секундами, и пробег ее α -частиц 4,8 см; наконец, эманация актиния (актон) распадается наполовину ровно в 4 секунды, испуская α -частицы с пробегом 5,8 см.

Семейство тория во многом напоминает семейство урана. Его родоначальник — элемент торий, окись которого находит техническое применение в колпачках ауэровских газонакалильных ламп, и распадается еще медленнее, чем уран. Время полураспада достигает для него шестнадцати миллиардов лет. Он превращается через два промежуточных продукта в вышеупомянутую эманацию тория (торон), продукты преобразования которой, по аналогии с серией урана, носят названия тория А, В и С. Они представляют изотопы соответствующих членов семейства урана (радий А, В и С) и подобны им по типу испускаемого излучения. Конечный продукт, торий D, повидимому не радиоактивен и представляет изотоп свинца, атомный вес которого (208) почти на единицу превышает атомный вес обычного свинца. Неактивный конечный продукт серии актиния также является изотопом свинца, однако его атомный вес до сих пор с точностью установить не удалось. Серия актиния аналогична семействам тория и урана еще и в другом отношении: ближайшие потомки эманации актиния (актона) — актиний А, В и С — являются изотопами соответствующих членов семейств урана и тория.

Необыкновенное сходство трех радиоактивных семейств, о котором мы только что говорили, позволяет сделать заключение о каком-то общем законе, которому удовлетворяет строение их ядер. Было сделано много попыток найти или, вернее, угадать этот закон, однако свойства радиоактивных семейств до последнего времени исчерпывающе не истолкованы.

Неоднократно также ставился вопрос и о том, действительно ли все другие вещества, не принадлежащие к радиоактивным семействам, не активны или может быть и они также перетерпевают распад, которого не удалось наблюдать только потому, что он идет слишком медленно. Все довольно многочисленные опыты, поставленные с этой целью, дали отрицательный результат, и только у двух элементов — щелочных металлов калия и рубидия — было установлено чрезвычайно слабое, но несомненное β -излучение.¹ Все же остальные элементы считаются в действительности неактивными, и их атомы не подвержены „естественной смерти“, т. е. превращениям

¹ В конце 1932 года установлено, что один из редкоземельных элементов — самарий — обладает α -радиоактивностью, а в начале 1933 года то же свойство открыто у одного из самых легких элементов — бериллия.

в другие. О „насильственной смерти атомов“, т. е. о разрушении ядер ударом посторонних частиц, речь будет идти ниже.

Что может дать исследование явлений радиоактивности?

Несмотря на то, что явления радиоактивности дали, пожалуй, самые первые и в то же время наиболее важные сведения о строении атомного ядра, несмотря на то, что в течение почти двадцати пяти лет (с 1896 по 1919 г.) все исследования атомного ядра были посвящены изучению явлений радиоактивных превращений и тех типов излучения (α , β и γ), которыми они сопровождаются, — все же в понимании самой сущности радиоактивных превращений исследователи ядра не добились еще решающих успехов. Прежде всего, до сих пор не только не создана исчерпывающая теория радиоактивности, которая смогла бы дать ответ на вопрос о том, что такое радиоактивность — болезнь, которой болеют только избранные атомы, и как она связана с внутренним строением ядра; лишь за последнее пятилетие стали намечаться пути к созданию этой теории.

Помимо создания общей теории радиоактивных явлений существует еще ряд первоочередных задач, которые стоят „в порядке дня“ исследований радиоактивности. К ним принадлежит в первую очередь вопрос о происхождении γ -лучей. Рассказывая о радиоактивных превращениях, мы умышленно не задерживались на γ -излучении, так как изучение его находится еще в совсем зачаточном состоянии, и только в течение последних года-двух вопрос этот начинает приобретать некоторую ясность. Вот эти проблемы (и еще ряд других) назрели и стоят на очереди, и в их разрешении за самое последнее время намечается несомненный сдвиг. Значение указанных задач настолько велико, что на них есть смысл остановиться несколько подробнее.

Применение к ядру волновой механики

Период с 1926 г. ознаменовался крупными событиями на фронте теоретической физики. К этому году противоречия между так называемой классической механикой и электродинамикой, которые до начала двадцатого века считались единственной основой всей теоретической физики, и теорией квант, которая была создана для объяснения ряда явлений, не укладывавшихся в рамки классической теории, — достигли максимальной остроты. Мало того, обнаружилась полная несостоятельность квантовой теории в ряде проблем, перед разрешением которых она оказалась столь же беспомощной, как и классическая электродинамика.

На смену обеим старым теориям ряд передовых теоретиков Запада (де-Брольи — Франция, Шредингер — Швейцария и Гейзенберг — Германия) в разных формах выдвинули новую теорию — новую квантовую механику (по Гейзенбергу) или волновую механику (по Шредингеру).

К сожалению, здесь нам нельзя остановиться даже на основных принципах этих теорий: это завело бы нас слишком далеко; достаточно указать на то, что приложение новой теории к ряду сложнейших вопросов современной физики увенчалось полным триумфом. Новые теории обросли мощным математическим аппаратом и пронизали всю физику сверху донизу, перевооружив ее работников, занятых не только основными, но и второстепенными, во всяком случае не центральными задачами.

Совершенно естественно, новая волновая механика была применима и к разрешению центральной задачи современной физики — задачи строения атомного ядра. Пионером в этом деле был молодой советский физик Гамов, которому принадлежит тот эскиз теории строения ядра, который является пока единственной попыткой теоретического обоснования явлений радиоактивности. Для понимания основных положений теоретических построений Гамова необходимо разобраться в понятии „потенциального барьера“, которое играет важнейшую роль в теории множества физических явлений и, в частности, ряда ядерных процессов.

Атомное ядро, как мы знаем, обладает положительным зарядом. Вследствие этого на приближающуюся к ядру положительную частицу будет действовать сила отталкивания, обнаруживающаяся между всякими одноименно заряженными телами. По мере приближения к ядру эта сила будет возрастать. Положительная частица, приближаясь к ядру, совершает работу, которая идет на увеличение ее потенциальной энергии. С этой точки зрения приближение положительного заряда к ядру можно уподобить вкатыванию тяжелого шарика вверх по откосу холма, который по мере приближения к вершине становится все более и более крутым.

С другой стороны, мы знаем, что ядра, состоящие из положительно и отрицательно заряженных частиц и обладающие суммарным положительным зарядом, за исключением ядер радиоактивных элементов, являются устойчивыми. Даже радиоактивные ядра в течение некоторого (для некоторых радиоактивных веществ — даже очень длительного) промежутка времени существуют, не разваливаясь. Если бы на положительную частицу, приближающуюся к ядру вплоть до самого его центра, продолжала действовать сила отталкивания, то ядро не могло бы быть устойчивым, ибо протоны или α -частицы, из которых состоит ядро, были бы вытолкнуты из него этой силой.

Остается допустить, что где-то (повидимому, на очень малом расстоянии от центра ядра) силы отталкивания для положительных частиц сменяются силами притяжения; другими словами: положительная частица, совершая все время работу против сил отталкивания (ее потенциальная энергия все время растет), вблизи от центра ядра должна почувствовать силу притяжения,

которая потащит ее внутрь ядра, при чем теперь уже эта сила будет совершать работу, ускоряя частицу, так что потенциальная энергия ее будет снова убывать по мере ее приближения к центру ядра.

Возвращаясь к нашей механической аналогии, мы можем сказать, что тяжелые шарики (положительные заряды), из которых состоит ядро, не могли бы находиться в равновесии на вершине холма, если бы там не было ямки, отделенной от склона холма возвышенной кромкой (барьером). Роль гребня этого барьера в случае ядра играет та область, где сила отталкивания, действующая на приближающуюся к ядру положительную частицу, сменяется силой притяжения. Согласно прежних представлений, такой барьер является совершенно непроходимым для всех частиц, энергия которых меньше высоты барьера; α -частицы и другие составные части ядра защищены от внешнего пространства „запретной зоной“, проход через которую невозможен. Отличие волновой механики от классической в данном вопросе заключается в том, что она допускает возможность прохождения частиц через этот барьер.

По модели Гамова составные части ядра связаны внутри барьера значительными силами притяжения, природа которых неизвестна; однако для них сохраняется некоторая „надежда“ вырваться из своего заключения. Частицы обладают некоторой вероятностью проскочить через стену, отделяющую их от внешнего мира, при чем эта вероятность быстро растет с увеличением энергии частиц. Это представление оказалось чрезвычайно ценным и послужило путеводной нитью для целого ряда успешных опытов, в частности оно впервые дало объяснение известному соотношению Гейгера и Нэттола между периодом полураспада и пробегом испускаемых α -частиц (чем менее долговечен атом, тем более быстрые частицы он испускает; это можно видеть хотя бы из таблицы радиоактивных превращений уранового семейства—рис. 6).

К сожалению, теория до сих пор была не в состоянии дать сколько-нибудь детальную картину строения ядра. Можно с довольно большой достоверностью предположить, что основные части ядра (электроны и протоны) внутри ядра в своем большинстве образуют α -частицы (образование из четырех протонов и двух электронов) и что только небольшая часть протонов и электронов остается необъединенной в α -частицы; однако с достаточной точностью говорить о числе электронов и протонов, „оставшихся за штатом“, не приходится, тем более что законы взаимодействия заряженных частиц, применимые на обычных расстояниях (немного превышающих размеры частиц), для ядра, представляющего собой необычайно „плотно упакованную“ группу частиц, совершенно неприменимы.

В частности, оказывается, что электрон внутри ядра ведет себя совершенно иначе, чем вне его, скажем—в перифериче-

ской части атома. Весьма возможно, что электрон „в свободном состоянии“ вовсе не может существовать внутри ядра, прилепляясь к протону или к еще более увесистой частице. Указания на существование нейтронов (частиц с массой протона, но лишенных его положительного заряда), на которых мы еще остановимся при описании опытов по искусственному разрушению ядра, в связи с этим представляют особенный интерес.

Несмотря на то, что законченной теории строения ядра на сегодняшний день еще не существует, удалось достичь ряда ценных результатов, пользуясь допущениями, основанными на указанном выше общем представлении о модели ядра. Например, Гамов делает ряд заключений, исходя из дефекта массы¹ атомов ряда легких элементов, ядра которых могут состоять только из α -частиц и электронов (атомный вес, кратный четырём), и находит, что силы, сдерживающие между собой составные частицы ядра, подобны силам, действующим в миниатюрной капле воды. В дальнейшем ему удалось выяснить условия устойчивости ядер с высоким атомным номером, откуда один шаг до окончательного выяснения природы радиоактивности. К несчастью, для построения количественной теории необходимо знать массы изотопов атомов ряда тяжелых элементов со значительно большей точностью, чем они сейчас известны, так что в этом пункте дальнейшее развитие теории зависит от темпов совершенствования техники эксперимента „взвешивания атомов налету“ (масс-спектрограф) и исследования молекулярных спектров, которые только и могут дать сведения о массе изотопов.

С другой стороны, волновая механика с успехом может быть применена к ядру при решении вопроса об испускании γ -лучей, при чем оказывается, что представления о „возбуждении“ и последующем испускании света, которое позволило разобраться в оптических свойствах атома, зависящих от его оболочки, в применении к атомному ядру помогает решить давно назревший вопрос о природе γ -излучения.

Уже давно стало известным, что γ -лучи, представляющие очень жесткие (т. е. высокочастотные) электромагнитные колебания, во многих отношениях сходные с жесткими рентгеновыми лучами, исходят из ядер и связаны с какими-то изменениями в их строении; однако истолкование сложных спектров γ -лучей, испускаемых радиоактивными элементами, было затруднено тем, что оставалось неизвестным происхождение γ -излучения: было неясно, вызвано ли оно внутриядерными электронами, протонами,

¹) Дефектом массы, как уже говорилось выше, называется разница в массе ядра и его составных частей, которая связана с внутриатомной энергией. Положительный дефект массы (масса ядра больше суммы масс, образующих его протоны и электроны) указывает на возможность получения энергии при распаде ядра.

α -частицами или, наконец, всем ядром, которое участвует в колебаниях как целое. В течение последних нескольких лет эта проблема подвергалась ожесточенной проработке, в результате которой стало очевидным, что ядерные γ -лучи связаны с возбуждением α -частиц и обуславливаются их переходом на более низкий уровень энергии. Подобно тому, как при испускании видимого света, ультрафиолетовых и рентгеновых лучей мы говорили о возбуждении атома („оттягивании“ электрона) и о возвращении атома в первоначальное положение с меньшей энергией (низший уровень энергии) и уподобляли испускание света звуковым колебаниям оттянутой и отпущенной струны,— в случае γ -излучения мы можем говорить о возбуждении ядра, при чем роль электрона в данном случае будет играть одна из внутриядерных α -частиц, при возвращении которой в нормальное положение (нормальный уровень энергии) будет происходить испускание γ -колебаний.

При решении вопроса о происхождении γ -лучей основные успехи дали два способа исследования: изучение длиннопробежных α -частиц радия С и тория С и точное измерение длины пробега α -частиц, испущенных другими элементами.

Повидимому, при испускании γ -лучей в ядре разыгрываются следующие процессы. Прежде всего из ядра выбрасывается один из его электронов (β -распад). Причина этого события пока остается неясной и является одной из основных задач дальнейшего исследования радиоактивных превращений. Испускание β -частицы „переворачивает вверх дном“ ядро, вызывая чрезвычайно существенные изменения в его строении. При этом некоторым из входящих в состав ядра α -частицам сообщается значительная энергия; эти α -частицы „выталкиваются“ на более высокий уровень энергии, и им представляются две возможности: или провалиться на свое первоначальное место, при чем избыток энергии испускается в виде γ -излучения, или, воспользовавшись своим новым уровнем как трамплином, проникнуть через потенциальный барьер, вырвавшись из ядра.

С этой точки зрения энергия выброшенных ядром длиннопробежных α -частиц, которую мы можем измерить, определяя пробег, т. е. расстояние, проходимое α -частицей в воздухе (об этом подробнее в следующей главе),— является мерой высоты того уровня энергии, на который была поднята α -частица при пертурбации в ядре, происшедшей вследствие β -распада. С другой стороны, однако, далеко не всякая „поднятая“ α -частица может покинуть ядро (по классической механике это не могла сделать ни одна из частиц, уровень которой ниже высоты барьера); громадное большинство возбужденных α -частиц бессильно падает внутрь ядра, испуская избыток энергии в виде γ -лучей. Таким образом, измеряя энергию γ -лучей, мы имеем другое мерило для высоты возбужденного уровня.

Исследование
длиннопробеж-
ных α — частиц
радия С и то-
рия С

Если изложенная точка зрения верна, то значения уровней энергии, вычисленные из энергии (пробега) α -частиц и энергии (частоты) γ -лучей, должны совпасть. Эта проверка для длиннопробежных α -частиц радия С и тория С была проделана группой работников лаборатории Резерфорда (Уинн, Уилльямс, Уорд, Льюис и сам Резерфорд), которые разработали с этой целью специальный, в высшей степени остроумный прибор для счета α -частиц с определенным пробегом, о котором речь ниже. Их исследование показало, что описанная картина возникновения γ -лучей в основном отвечает действительности. Избыток энергии для различных групп длиннопробежных α -частиц по сравнению с энергией „нормальной α -частицы“, вырвавшейся из невозбужденного ядра, с достаточной точностью соответствуют энергиям нескольких наиболее жестких типов γ -излучения. Таким образом, эти опыты делают почти достоверным представление о том, что γ -лучи происходят от переходов одной или нескольких α -частиц с одного уровня на другой внутри возбужденного ядра.

Другое подтверждение высказанных представлений было найдено при исследовании так называемой „тонкой структуры“ α -частиц. Дело в том, что в большинстве случаев испущенные при радиоактивном распаде α -частицы обладают строго одинаковой энергией и, следовательно, могут пройти в воздухе (см. рис. 7) один и тот же путь (одинаковый пробег). Однако Розенблуму и Резерфорду совершенно различными способами удалось показать, что в некоторых случаях (торий С и эманация актиния—актон) испускаемые α -частицы хотя и немного,¹ но все же различаются по скоростям, так что, например, в случае тория С испускается не одна, а пять групп α -частиц с различными скоростями. Это открытие может быть истолковано таким образом: при α -распаде, т. е. при разрушении ядра, выражающемся в выбрасывании α -частицы, может представиться два случая: или вся энергия распада расходуется на самый „выстрел“ в виде кинетической энергии α -частицы и оставшегося атома отдачи; или же α -частица уносит с собой только часть энергии, а часть ее идет на возбуждение ядра, т. е. на подъем одной из оставшихся в ядре α -частиц на более высокий уровень. Если это так, то существование нескольких групп α -частиц с различной скоростью указывает на то, что оставшиеся в атоме отдачи α -частицы поднимаются за различные уровни энергии, о величине которых можно судить по разностям энергий выброшенных α -частиц.

¹ Разделение групп α -частиц различной скорости лежит на пределе точности старых методов измерения энергии, откуда и название „тонкой структуры“ по аналогии с тонкой структурой спектральных линий, которая была установлена после значительного усовершенствования оптических методов.

Однако сейчас же возникает вопрос: куда девается энергия возбуждения ядра? Мы знаем, что возбужденная частица отдает свою энергию в виде излучения, и, следовательно, α -распад в данном случае должен сопровождаться испусканием γ -лучей с энергиями, соответствующими разности энергий выброшенных α -частиц. Опыт в одном случае (актон) уже подтвердил это предположение. Тем самым под изложенное представление о процессе испускания γ -лучей подведено еще одно опытное подтверждение.

Прежде чем оставить вопрос о происхождении γ -лучей необходимо подчеркнуть разницу в степени возмущения ядра,

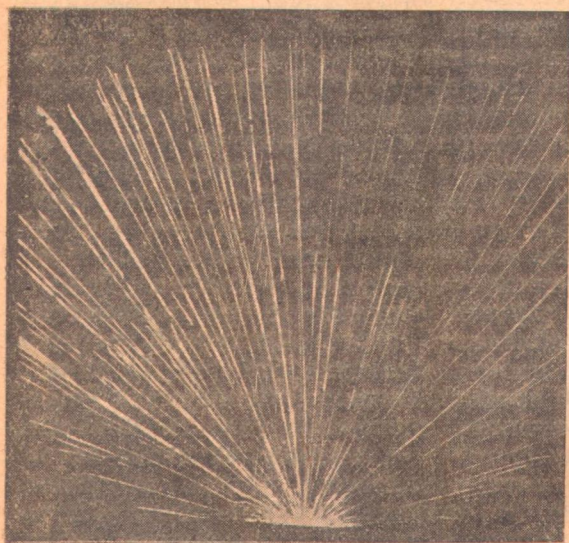


Рис. 7

вызванного испусканием α и β частицы. Странно сказать, но вылет α -частицы или вовсе не вызывает возбуждения ядра или вызывает подъем одной из оставшихся в ядре α -частиц на сравнительно невысокий уровень. β -распад же нередко вызывает жесточайшее возбуждение ядра, при чем α -частицы поднимаются на очень высокие уровни и испускаются чрезвычайно жесткие γ -лучи. Эта разница чрезвычайно удивительна и, вероятно, непосредственно связана с про-

цессом, являющимся причиной β -распада ядра.

Наши теоретические представления наталкиваются на серьезные трудности, когда мы их пытаемся применить к электронам в ядре. Пожалуй, наиболее удивительным в этом отношении является то обстоятельство, что β -излучающие ядра испускают электроны с самой различной энергией, и нет никаких указаний на существование процессов, на которые могла бы расходоваться часть их энергии. Таким образом, существование β -частиц со всевозможными значениями энергии противоречит основным законам квантовой механики, согласно которым можно было ожидать, что все β -частицы обладают в ядре строго определенной энергией и должны поэтому выбрасываться с одинаковой скоростью (как, например, для α -частиц). Пожалуй, эта проблема, как и вообще весь процесс β -распада, является на сегодняшний день самой основной задачей в изуче-

нии радиоактивных явлений, но от ее решения мы еще довольно далеки.

До последнего времени считалось общепризнанным, что поглощение веществом рентгеновских и γ -лучей происходит исключительно в электронной оболочке атома и что ядро в этих процессах никакой роли не играет. Однако за последние полтора года рядом ученых разных стран,¹ независимо друг от друга исследовавших действие очень жестких γ -лучей на атомы, удалось показать, что это представление неверно и что очень жесткие γ -лучи частично поглощаются именно ядром, которое подобно электронной оболочке для случая видимых, ультрафиолетовых и рентгеновых лучей приводится при этом в возбужденное состояние и вслед за поглощением испускает избыточную энергию в виде γ -лучей с иной частотой, чем у излучения, вызвавшего возбуждение.

Тарант и Гэпфильд в недавно опубликованной работе сообщают результаты исследования с целым рядом элементов. Они установили, что жесткие γ -лучи, испускаемые торием С и радием С, вызывают возбуждение ядер всех элементов от кислорода до свинца. Особенно удивительно, что все исследованные элементы при возбуждении испускают вторичные лучи одной и той же частоты. Это можно объяснить только тем, что первичные γ -лучи, падая на ядро, возбуждают не все ядро в целом (которое для различных элементов построено по-разному), а какую-то его часть, одинаковую для всех исследованных элементов. Весьма вероятно, что при этом происходит возбуждение самих α -частиц, и наблюдаемое излучение — не что иное, как результат колебаний отдельных составных частей α -частицы (четырех протонов и двух электронов). Если это так, то явление возбуждения ядер дает в руки физиков чрезвычайно мощное орудие для исследования основных составных частей ядер всех элементов α -частиц.

К сожалению, дальнейшее развитие исследований в этом направлении встречает большие затруднения, так как нет достаточно мощных источников γ -лучей различной частоты. Несомненно, что создание искусственных источников мощного γ -излучения позволило бы значительно повысить темпы решения этой важнейшей задачи, благодаря чему проблема построения сверхвысоковольтных разрядных трубок, которую мы разберем в главе об искусственном разрушении ядра, получает особенную актуальность. Разрядная трубка на 2,5 миллиона вольт по количеству и мощности генерируемого в ней γ -излучения соответствует более чем килограмму радия. Учитывая, что количество радия ни в одном из крупнейших институтов мира не превышает нескольких грамм, а обычно при исследо-

¹ Чао—Япония, Мейтнер—Германия, Гэпфильд и Тарант — Англия.

ваниях пользуются еще значительно меньшими количествами, необходимо признать, что дальнейшее изучение процесса возникновения γ -излучения вообще и возбуждения ядра γ -лучами в частности должно развиваться на базе использования мощного излучения искусственных источников γ -лучей сверхвысоковольтных разрядных трубок.

Уже из короткого очерка результатов исследования явлений радиоактивности видно, как много дали эти исследования для наших представлений о строении ядер радиоактивных элементов. Однако этими сведениями далеко не исчерпывается тот сдвиг в исследовании строения ядра, который обязан изучению радиоактивных элементов и их излучения. До последних месяцев α -частицы, испускаемые при распаде ядер, служили почти единственным орудием исследования ядер нерадиоактивных элементов. α -частицы, единственные из имевшихся в распоряжении исследователя быстро несущихся частиц, обладали энергией, достаточной для того, чтобы „вплотную“ подойти к ядру, преодолевая громадные электрические силы („потенциальный барьер“), защищающие сердце атома от посягательств экспериментатора. Ураганная бомбардировка миллиардов нейтральных атомов миллионами α -частиц приводит к немногочисленным, но зато чрезвычайно поучительным по своим результатам попаданиям последних в ядра элементов, при которых происходит резкое отклонение частиц от своего пути или даже прорыв α -частицы сквозь потенциальный барьер с последующим взрывом пораженного ядра. Для того, чтобы разобраться в том богатом и разнообразном материале, который был получен в результате экспериментов по бомбардировке атомов α -частицами, нужно прежде всего понять, каким образом исследователи научились „видеть“ результаты такой бомбардировки; задача нелегкая, если принять во внимание, что размеры атомов во много раз мельче тех мельчайших частиц, которые могут быть видны в сильнейшие микроскопы.

IV. КАК ВИДЯТ НЕВИДИМОЕ

Размеры атомов Самые малые частицы, которые может различить невооруженным глазом человек с очень острым зрением, не меньше одной сотой миллиметра. С помощью самого мощного микроскопа можно видеть темные частицы диаметром около пятнадцати миллионов долей миллиметра. Наконец, ультрамикроскоп позволяет установить расположение (но не форму) частиц размером около двух миллионов миллиметра. Атомы имеют размеры около двух стомиллионных миллиметра, а ядро (подробнее об этом

ниже) по размерам меньше одной биллионной миллиметра ($\frac{1}{1\,000\,000\,000\,000}$ мм).

Как же можно проследить за поведением отдельной частицы, которая лежит далеко за пределами разрешающей силы самых мощных микроскопов? Никак, если речь идет о частице, обладающей незначительной энергией.

Однако мы знаем, что частицы, выбрасываемые из ядра при радиоактивном распаде, как-раз обладают громадной энергией, и, пользуясь действиями этой энергии, мы можем обнаружить не только место пребывания отдельных частиц, но и проследить весь путь их полета и их разрушающие действия. Основные два метода, позволяющие „видеть“ действие отдельных частиц, это: метод сцинтилляций и экспансионной камеры Уильсона.

Сцинтилляции Не приходилось ли Вам рассматривать часы, стрелки и цифры которых покрыты краской, светящейся в темноте? Если да, то вы имели возможность „видеть α -частицы“. В самом деле, рассматривая в лупу поверхность, покрытую светящейся краской (для успеха опыта необходимо в течение некоторого времени дать отдохнуть глазам в темноте), мы замечаем, что казавшееся невооруженному глазу равномерным зеленоватое сияние краски, похожее на мерцание светляка, в действительности состоит из громадного количества светящихся точек, которые повсюду то вспыхивают, то гаснут, представляя в миниатюре нечто в роде дождя падающих звезд. Подобно тому, как вспышка каждого метеора в небе есть результат попадания в земную атмосферу „снаряда из мирового пространства“, который в силу трения о воздух при своем торможении раскаляется добела и почти всегда сгорает, не долетев до поверхности,—наши искорки, или „сцинтилляции“, являются тоже результатом попадания снаряда, только снаряда совсем другого типа. Они вызываются ударами снарядов из мира атомов о мельчайшие кристаллики сернистого цинка, основной части светящейся краски, возникая при торможении α -частиц с громадной скоростью за счет превращения части их энергии в свет.

Взгляд в лупу показывает нам действие отдельных атомов или вернее их осколков, выбрасываемых при распаде радиоактивного вещества.¹

¹ Необходимо отметить, что не все светящиеся в темноте краски обязаны своим свечением действию α -частиц.

Ряд светящихся (фосфоресцирующих) веществ светится благодаря тому действию, которое оказывает на его молекулы свет. Такие вещества должны быть предварительно освещены ярким светом, после чего они светят и в темноте, при чем это свечение более или менее быстро исчезает с течением времени. Другие вещества светятся благодаря происходящим в них химическим реакциям (гиллушки, белый фосфор и др.).

Такое вещество и должно быть, хотя бы в минимальном количестве, примешано в светящуюся краску для того, чтобы появилось свечение; испущенные им α -частицы, налетая со скоростью от пятнадцати до двадцати тысяч километров в секунду на кристаллики сернистого цинка, вызывают кратковременную вспышку последних.

Спинтарископ Явление сцинтилляций было впервые наблюде-
дено в 1903 г. Круксом и Эльстер и Гейтелем. Круксом был предложен простой приборчик, названный им спинтарископом, с помощью которого можно наблюдать



Рис. 8

световое действие отдельных α -частиц. Спинтарископ (рис. 8) представляет собой небольшую трубку, в одном из концов которой укреплено острие A , покрытое веществом, испускающим α -лучи; в нескольких миллиметрах от него находится прозрачный экран E (из стекла или слюды), покрытый тонким слоем кристаллического сернистого цинка. В другом конце трубки закреплена линза L , через которую можно наблюдать экран. В темной комнате экран виден как темный фон, на котором там и сям вспыхивают, чтобы мгновенно погаснуть, светящиеся точки. Этот прекрасный опыт вызывает даже у неподготовленного наблюдателя представление о том, что радий бомбардирует экран потоком снарядов, вызывающих световые вспышки экрана. Подобное явление

наблюдается и в некоторых сортах алмаза, но в них сцинтилляции значительно слабее, чем в сернистом цинке.

Счет α -частиц Регенеру (1908) принадлежит идея использовать явление сцинтилляций для счета α -частиц, падающих на экран. Для этой цели экран наблюдают через микроскоп с увеличением 20-30 и возможно большей при таком увеличении светосилой. Эксперименты со счетом α -частиц необходимо производить в совершенно темной комнате, при чем глаз экспериментатора должен приобрести максимальную чувствительность, для чего нужно привыкать в продолжении около получаса в темноте.

Некоторое представление о сцинтилляциях при наблюдении экрана в микроскоп дает рис. 9.

Наблюдение, а в особенности счет сцинтилляций, чрезвычайно утомляют наблюдателя. Достаточно указать, что несмотря на то, что счет ведется периодами по 0,5 — 1 минуте с перерывами в несколько минут, все же после счета в течение часа-полутора чувствительность глаза наблюдателя и напряжение его внимания резко падает, при чем утомление настолько сильно, что некоторые специалисты по радиоактивным измерениям (венцы Петер-

сон и Кирш) считают, что один наблюдатель может заниматься счетом сцинтилляций не чаще двух раз в неделю.

Методом счета α -частиц по их сцинтилляциям широко пользовались и пользуются многие исследователи. Несмотря на многие свои недостатки (утомительность, большая трата времени, субъективность), он обладает рядом больших достоинств, являясь методом чрезвычайно деликатным и мощным. С его помощью разрешались такие важнейшие вопросы, как определение числа α -частиц, испускаемых определенной массой радиоактивного вещества, счет протонов, вызванных столкновением α -частиц с атомами водорода или выбитых ими из ядер легких элементов и др.

Как мы увидим дальше, можно вести счет α -частиц и с помощью электрических счетчиков, однако метод сцинтилляций до последнего времени выдерживал их конкуренцию в виду того, что в электрических счетчиках очень трудно отделаться от влияния β - и γ -лучей, которые регистрируются обычно с таким же успехом, как и α -частицы; метод же сцинтилляций позволяет считать именно α -частицы или протоны, так как экраны из сернистого цинка очень слабо реагируют на воздействия β - и γ -лучей, давая отдельные вспышки только в случае α и H частиц¹.

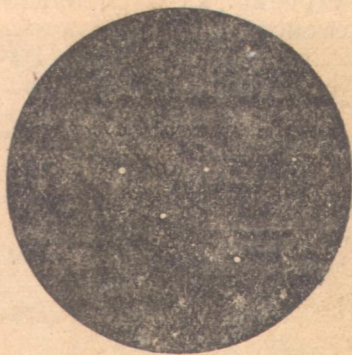


Рис. 9

По этой-то причине метод сцинтилляций оказал неоценимые услуги при экспериментах, посвященных выяснению законов рассеивания α -частиц ядрами, а также процессов искусственного разрушения ядер при попадании в них α -частиц большой скорости.

Подобно γ - и β -лучам, α -частицы также в состоянии проникать сквозь вещество, однако они значительно легче задерживаются, нежели указанные типы излучения. В то время как „жесткие“ β -лучи могут быть замечены после прохождения через слой металла толщиной в несколько миллиметров, а наиболее проникающие из γ -лучей в достаточном количестве проходят через дециметровую свинцовую броню, α -частицы задерживаются несколькими сантиметрами воздуха. Так, например, α -частицы радия C' — наиболее быстрые из α -частиц, испускаемых элементами уранового семейства, — проходят в воздухе нормальной плотности ровно 7 см. Те же частицы

¹ H -частицами иногда называют очень быстро движущиеся протоны.

полностью задерживаются листком слюды толщиной в 0,04 мм, о котором поэтому говорят, что он обладает „воздушным эквивалентом в 7 см“. Пробег α -частиц в воздухе связан с их скоростью соотношением, установленным Гейгером, согласно которому пробег пропорционален кубу скорости. Для каждого определенного радиоактивного элемента скорость всех испускаемых α -частиц одинакова (если не говорить о „тонкостях“ структуры α -излучения, о которых мы упоминали в конце прошлой главы и которые наблюдаются у очень немногих радиоактивных элементов).

Однако при переходе от элемента к элементу скорости α -частиц меняются: чем быстрее распадается элемент, тем больше скорость продуктов распада α -частиц. Это правило Гейгера и Нэттола, которое находит некоторое обоснование в теории Гамова о строении ядра (см. предыдущую главу), подтверждается рис. 6 (семейство урана), из которого мы видим, что α -частицы медленно распадающегося урана I обладают пробегом в 2,7 см (скорость около 14 000 км/сек), тогда как очень быстро распадающийся радий C' дает частицы, пробег которых, как уже указывалось, равен 7 см, а еще менее долговечный торий C' выбрасывает α -частицы с первоначальной скоростью в 20 600 км/сек с пробегом в 8,6 см.

Путь α -частиц в воздухе в большинстве случаев до самого своего конца представляет прямую линию. Зная число молекул (атомов) газа в кубическом сантиметре и размер этих молекул, мы

можем при помощи основных представлений молекулярной физики подсчитать число столкновений, которые должна перетерпеть α -частица на своем пути в газе. Оказывается, что на своем семи-сантиметровом пути α -частица радия C в воздухе должна повстречать несколько сотен тысяч атомов содержащихся в воздухе газов (преимущественно кислорода и азота).

Если бы эти встречи проходили так же, как и обычные столкновения атомов, являющиеся результатом непрерывного беспорядочного теплового движения, то уже после первого удара α -частица была бы упруго отброшена назад и передала бы значительную часть энергии „подбитому“ атому. В действительности же α -частицы сохраняют первоначальное направление своего полета и только постепенно утрачивают свою скорость, что с несомненностью указывает на иной характер столкновения: именно, что α -частицы пролетают сквозь атомы, подобно тому, как бильярдный шар прорвался бы сквозь паутину, опутавшую бильярд.

Атомы при ударах обычной силы ведут себя, как упругие частицы, однако мощному налету α -частиц они противостоять не могут, и эти частицы на своем пути пробуравливают сотни тысяч атомов, почти не встречая сопротивления.

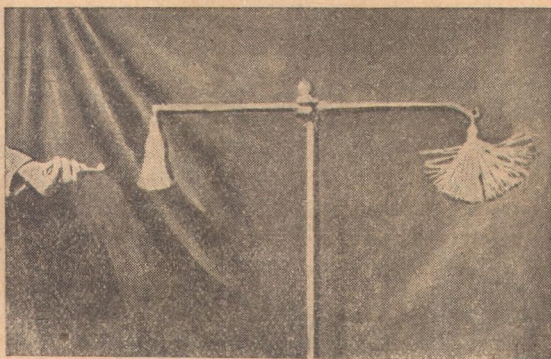
Однако атомы при этом не остаются совершенно нетронутыми. Обычно пролетающая через атом α -частица вырывает один из

28457

электронов оболочки, при чем сам атом становится положительным ионом. Таким образом частица производит на своем пути десятки тысяч ионов и в силу этого делает газ проводящим.

На эти повторные ионизации α -частица расходует постепенно кинетическую энергию своего стремительного полета. Скорость ее по мере движения в газе уменьшается и, наконец, α -частица утрачивает свою способность прямолинейно пролетать сквозь атомы, „не обращая на них внимания“. Прямолинейный путь понемногу вырождается в зигзагообразный, и скорость уменьшается до величины нормальной для обычного теплового движения газовых молекул. Одновременно с этим перерождается и самая α -частица, утрачивая сперва один, а потом и второй из своих положительных зарядов, путем захвата двух недостающих электронов в свою оболочку от окружающих атомов, при этом α -частица становится „заурядным атомом“ гелия.

Способность α -частиц производить ионизацию на своем пути сквозь воздух или другие газы сделала возможной разработку ряда электрических методов, с помощью которых можно обнаруживать и считать α -частицы и которые будут нами разобраны ниже.



(Рис. 10)

На рис. 10 представлен хорошо известный опыт, наглядно показывающий ионизирующее действие α -частиц. Две шелковые кисточки, заряженные приблизительно до тридцати тысяч вольт, так что их волоски расталкиваются в разные стороны силой электростатического взаимного отталкивания одинаковых зарядов, подвешены на изолирующей подставке. Так как воздух при обычных условиях является исключительно хорошим изолятором, — заряд с кисточек стекает очень медленно.

Однако, если к одной из них поднести даже очень слабый препарат радия (как показано на рисунке), то созданная им ионизация оказывается совершенно достаточной для мгновенного стекания заряда кисточки через газ, при чем волоски кисти мгновенно спадают.

Ионизирующей способностью α -частиц объясняются также явления сцинтилляций, действие α -частиц на фотопластинки и вообще методы регистрации и счета α -частиц.