

Журнал "Наука и жизнь"

№01, 1934

УДК 03
ББК 92
Ж92

Ж92 Журнал "Наука и жизнь": №01, 1934 / – М.: Книга по Требованию, 2019. – 68 с.

ISBN 978-5-458-59141-6

«Наука и жизнь» — ежемесячный научно-популярный иллюстрированный журнал широкого профиля. Основан в 1890 году. Издание возобновлено в октябре 1934 года. Тираж журнала в 1970-х—1980-х годах достигал 3 миллионов экземпляров и являлся одним из самых высоких в СССР. Тираж на 2009 год — около 44 000 экземпляров. Журнал всегда был рассчитан на широкий круг читателей всех возрастов и профессий и остается самым известным и читаемым научно-популярным журналом в России. Журнал публикует только достоверную информацию преимущественно из "первых рук" от ведущих ученых и специалистов и популяризует знания в доступной форме, но, цитируя основателя журнала М.Н.Глубоковского, "... не впадая в бульварный тон, стоя в стороне от всякой тенденциозности и политиканства".

ISBN 978-5-458-59141-6

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2019
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2019

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

Отсюда возникает необходимость создания у нас достаточно обширной научно-популярной литературы и, в частности, научно-популярного журнала, который знакомил бы широкие круги читателей с важнейшими достижениями современной науки и техники.

К сожалению, за последние годы издание такой литературы отстает от запросов читательских масс. Научно-популярная литература выпускается у нас различными издательствами, но без единого общего плана, что дает, с одной стороны, досадные пробелы, а с другой — ненужные повторения. В частности же, у нас нет ни одного доступного для широких масс научно-популярного журнала, который охватывал бы широко все отрасли точных и естественных наук.

Все эти соображения и побудили ОНТИ приступить к изданию такого журнала. Идея была встречена необыкновенно сочувственно в кругах наших научных работников. Ряд крупнейших ученых дал согласие на участие в журнале и своими статьями и работой в качестве редакторов. Это позволяет редакции надеяться, что статьи журнала будут всегда на высоком научном уровне. С другой стороны, редакция старается привлечь к сотрудничеству таких научных работников, которые уже зарекомендовали себя в области популяризации. Мы надеемся, что это обеспечит нам желательный уровень популярности статей нашего журнала.

Мы дали нашему журналу название „Наука и Жизнь“. Мы хотели этим сказать, что целью нашего журнала будет ознакомление читателей с наукой как с орудием перестройки жизни. Не голая, абстрактная, оторванная от жизни наука интересует нас; в своем журнале мы прежде всего дадим место той науке, которая освещает важные для нашего мирозерцания или для текущей жизни вопросы. Другими словами, мы хотим, чтобы наш журнал стал одним из орудий того великого культурного и хозяйственного строительства, которое ведут теперь трудящиеся СССР.

Журнал наш ставит себе целью обслуживание интересов и запросов самых разнообразных кругов читателей, интересующихся новыми достижениями. В частности, мы надеемся, что он окажет большие услуги рабочему, школьным работникам, студентам различных высших учебных заведений, позволяя им расширять свой кругозор знаниями, не относящимися к их узкой специальности, и приобрести необходимое общее развитие.

Редакция надеется, что журнал сыграет свою роль в проводимой в настоящее время системе мер для поднятия культурного уровня широких слоев населения нашей страны.

В программу журнала включаются: астрономия, физика, химия, геофизика, география, геология, биология, ботаника, зоология, антропология, этнография, медицина, сельское хозяйство, зоотехника, история культуры и т. д., а также техника (теоретические основы техники, крупные открытия и достижения и связь их с социалистическим строительством).

Все вопросы в статьях нашего журнала будут освещаться с точки зрения марксизма-ленинизма.

Небольшой сравнительно объем статей журнала позволяет давать в нем только обзоры новейших достижений науки. Для более широкого и углубленного знакомства с наукой журнал будет давать ежемесячно книжки приложения, каждая из которых будет посвящена одному какому-нибудь вопросу. Кроме того журнал будет давать списки рекомендуемых книг по различным вопросам и отраслям науки.

Редакция журнала считает чрезвычайно важным постановку на должную высоту отделов хроники, новостей науки и информации о работе научных и научно-исследовательских учреждений Союза.

Чтобы журнал действительно отвечал интересам и потребностям читателей, должна существовать живая связь между редакцией и читателями. Поэтому редакция просит читателей давать ей в письмах свои отзывы о журнале: о том, что им в нем нравится, что их интересует, о чем им хотелось бы узнать.

Все критические замечания, все пожелания и советы редакцией будут внимательно изучаться и учитываться в ее работе.

Ядро атома

ВОЛНОВАЯ ПРИРОДА МАТЕРИИ

В начале XX в. атомистическое строение материи перестало быть гипотезой, и атом сделался такой же реальностью, как реальные для нас факты и явления.

Выяснилось, что атом есть очень сложное образование, в состав которого, несомненно, входят электрические заряды, а может быть, и только одни электрические заряды. Отсюда, естественно, возник вопрос о структуре атома.

Первая модель атома была построена по образцу солнечной системы. Однако такое представление о структуре атома вскоре оказалось несостоятельным. И это естественно. Представление об атоме, как о солнечной системе, было чисто механическим перенесением картины, связанной с астрономическими масштабами, в область атома, где масштабы — только стомиллионные доли сантиметра. Столь резкое количественное изменение не могло не повлечь за собой и очень существенного изменения качественных свойств тех же явлений. Это различие прежде всего сказалось в том, что атом, в отличие от солнечной системы, должен быть построен по гораздо более жестким правилам, чем те законы, которые определяют орбиты планет солнечной системы.

Возникло два затруднения: во-первых, все атомы данного рода, данного элемента по своим физическим свойствам совершенно одинаковы, а следовательно, совершенно одинаковы должны быть орбиты электронов в этих атомах. Между тем законы механики, управляющие движением небесных тел, для этого не дают решительно никаких оснований. В зависимости от начальной скорости орбита планеты может быть, по этим законам, совершенно произвольна, планета может вращаться каждый раз с соответственной скоростью по любой орбите, на любых расстояниях от солнца. Если бы такие же произвольные орбиты существовали в атомах, то атомы одинакового вещества не могли бы быть настолько совпадающими по своим свойствам, например давать строго одинаковый спектр свечения. Это — одно противоречие.

Другое заключалось в том, что движение электрона вокруг атомного ядра, если к нему

применить законы, хорошо нами изученные в большом масштабе лабораторных опытов или даже астрономических явлений, должно было сопровождаться непрерывным излучением энергии. Следовательно, энергия атома должна была бы непрерывно истощаться, и опять-таки атом не мог бы сохранить одинаковыми и неизменными свои свойства на протяжении столетий и тысячелетий, а весь мир и все атомы должны были бы испытывать непрерывное затухание, непрерывную потерю заключающейся в них энергии. Это тоже никак несовместимо с основными свойствами атомов.

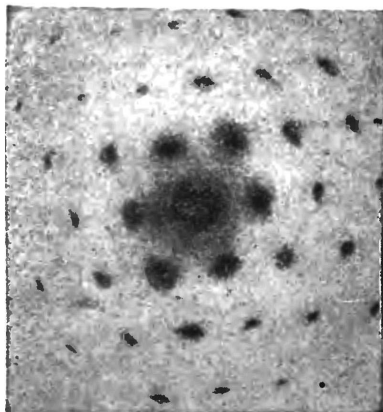
Последнее затруднение ощущалось особенно остро. Казалось, оно завело всю науку в неразрешимый тупик.

Крупнейший физик Лоренц закончил нашу беседу по этому поводу так: «Я жалею, что не умер пять лет назад, когда этого противоречия еще не было. Тогда я умер бы в убеждении, что я раскрыл часть истины в явлениях природы».

В это же время, весной 1924 г. де-Бройль, молодой ученик Ланжевена, в своей диссертации выразил мысль, которая в дальнейшем своем развитии привела к новому синтезу.

Идея де-Бройля, потом довольно существенно измененная, но до сих пор в основном сохранившаяся, заключалась в том, что движение электрона, вращающегося вокруг ядра в атоме, не есть просто движение некоего шарика, как это представляли себе раньше, что это движение сопровождается некоторой волной, идущей вместе с движущимся электроном. Электрон — не шарик, а некоторая размытая в пространстве электрическая субстанция, движение которой представляет собой в то же время распространение волны.

Это представление, затем распространенное не только на электроны, но и на движение всякого тела — и электрона, и атома, и целой совокупности атомов, — утверждает, что всякое движение тела заключает в себе две стороны, из которых мы в отдельных случаях можем видеть особенно отчетливо одну сторону, тогда как другая заметно не проявляется. В одном случае мы видим как бы распространяющиеся волны и не замечаем движения частиц, в другом случае, наоборот, на первый план выступают сами движущиеся частицы, а волна ускользает от наше-



Опытные доказательства волновой природы материи

1

На рис. 1 изображена дифракция (расхождение) рентгеновских лучей. Узкий пучок рентгеновских лучей, проходя через пластинку кристалла, разделяется на ряд пучков, дающих на фотографической пластинке систему пятен.

Волновая природа рентгеновских лучей несомненна, и все это явление вполне точно было предсказано немецким физиком Лауе в 1912 г., а его учениками Книппингом и Фридрихом в этом же году впервые были получены подобные снимки, называемые лауеграммами.

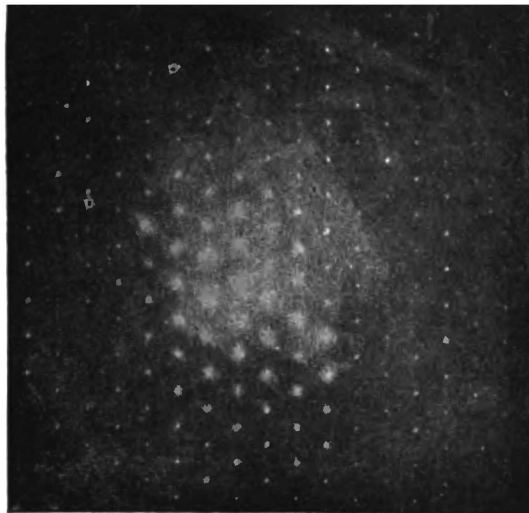
На рис. 2 тот же опыт произведен с узким пучком летящих с большой скоростью электронов. На пути пучка поставлена пластинка слюды. Электроны дают такую же дифракцию, как рентгеновские лучи. Пластинка слюды взята очень тонкая, поэтому расхождение пучков электронов определяется только атомами, расположенными на поверхности.

На рис. 3 пластинка слюды взята более толстая. Неправильное расположение кристаллов в отдельных слоях слюды кроме пятен дает еще образование сплошных кругов, ясно видных на фотографии.

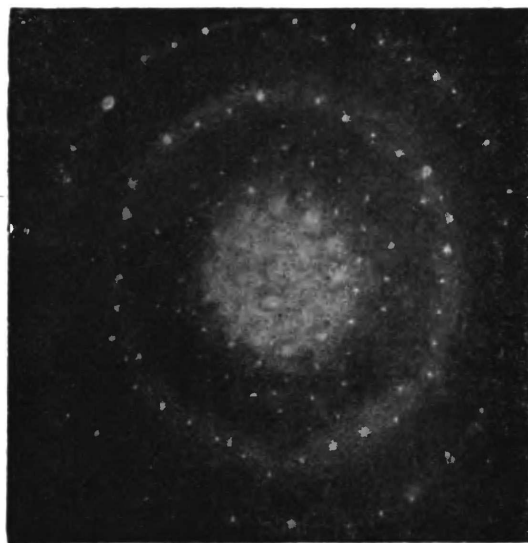
На рис. 4 электроны проходят через порошок мелких кристаллов кубической решетки (кристаллы фтористого натрия). На фотографии получается ряд колец, свидетельствующих о волновом процессе, сопровождающем летящие электроны. Этот опыт впервые был сделан Г. П. Томсоном в 1928 г.

Из опытов с дифракцией рентгеновских лучей хорошо известны расстояния между атомами решетки различных кристаллов. Зная эти расстояния, можно по фотографиям, подобным изображенным на рис. 2 и 4, определить «длину волны» волнового процесса, сопровождающего летящий электрон. Вычисленная таким образом длина волны с большой точностью совпадает с длиной волны, вычисленной по формуле, данной де-Бройлем.

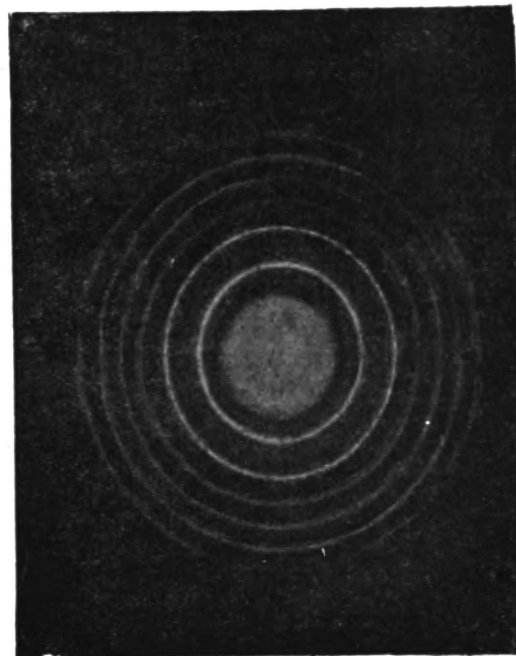
2



3



4



5

го наблюдения. Но на самом деле всегда обе эти стороны имеются, и, в частности, в движении электронов имеется не только перемещение самих зарядов, но и распространение волны.

Нельзя сказать, что движения электронов по орбитам нет, а есть только пульсация, только волны, т. е. нечто другое. Нет, правильнее было бы сказать так: того движения электронов, которое мы уподобляли движению планет вокруг солнца, мы вовсе не отрицаем, но самое это движение имеет характер пульсации, а не характер движения земного шара вокруг солнца.

Я не стану здесь излагать строение атома, строение той электронной его оболочки, которая определяет все основные физические свойства — сцепление, упругость, капиллярность, — химические свойства и т. п. Все это — результат движения электронной оболочки, или, как мы теперь скажем, пульсации атома.

ПРОБЛЕМА АТОМНОГО ЯДРА

Ядро играет в атоме самую существенную роль. Это — тот центр, вокруг которого вращаются все электроны и свойствами которо-

го в конечном счете обуславливается все остальное.

Первое, что мы могли узнать о ядре, — это его заряд. Мы знаем, что в состав атома входит некоторое число отрицательно заряженных электронов, но атом в целом не обладает электрическим зарядом. Значит, где-то должны быть соответствующие положительные заряды. Эти положительные заряды сосредоточены в ядре. Ядро — положительно заряженная частица, вокруг которой пульсирует электронная атмосфера, окружающая ядро. Заряд ядра определяет собой и число электронов.

Электроны железа и меди, стекла и дерева совершенно одинаковы. Для атома никакой беды не составляет потерять несколько своих электронов или даже потерять все свои электроны. Пока остается положительно заряженное ядро, это ядро притянет к себе из других окружающих тел столько электронов, сколько ему нужно, и атом сохранится. Атом железа до тех пор останется железом, пока цело его ядро. Если он потеряет несколько электронов, то положительный заряд ядра окажется больше, чем совокупность оставшихся отрицательных зарядов, и весь атом в целом приобретет избыточный положительный заряд. Тогда мы его называем не атомом, а положительным ионом железа. В другом случае атом может, наоборот, привлечь к себе больше отрицательных электронов, чем в нем имеется положительных зарядов, — тогда он будет заряжен отрицательно, и мы называем его отрицательным ионом; это будет отрицательный ион того же элемента. Следовательно, индивидуальность элемента, все его свойства существуют и определяются ядром, зарядом этого ядра прежде всего.

Далее, — масса атома в подавляющей своей части определяется именно ядром, а не электронами, — масса электронов составляет меньше одной тысячной массы всего атома; больше чем 0,999 всей массы — это масса ядра. Это имеет тем большее значение, что массу мы считаем мерой того запаса энергии, которым обладает данное вещество; масса — такая же мера энергии, как эрг, киловатт-час или калория¹.

Сложность ядра обнаружилась в явлении радиоактивности, открытом, вскоре за рентгеновыми лучами, на грани нашего столетия. Известно, что радиоактивные элементы непрерывно излучают энергию в виде альфа-, бета- и гамма-лучей. Но такое непрерывное излучение энергии должно иметь какой-то источник. В 1902 г. Резерфорд показал, что единственным источником этой энергии должен быть атом, иначе сказать, ядерная энер-

гия. Другая сторона радиоактивности заключается в том, что испускание этих лучей переводит один элемент, находящийся в одном месте периодической системы, в другой элемент с другими химическими свойствами. Иными словами, радиоактивные процессы осуществляют превращение элементов. Если верно, что ядром атома определяется его индивидуальность и что, пока ядро цело, до тех пор и атом остается атомом данного элемента, а не какого-нибудь другого, то переход одного элемента в другой означает изменение самого ядра атома.

Выбрасываемые радиоактивными веществами лучи дают первый подход, позволяющий составить себе некоторое общее представление о том, что заключено в ядре.

Альфа-лучи представляют собой ядра гелия, а гелий — второй элемент периодической системы. Можно думать поэтому, что в состав ядра входят ядра гелия. Но измерение скоростей, с которыми вылетают альфа-лучи, приводит сразу же к очень серьезному затруднению.

ТЕОРИЯ РАДИОАКТИВНОСТИ ГАМОВА

Ядро заряжено положительно. При приближении к нему всякая заряженная частица испытывает силу притяжения или отталкивания. В больших масштабах лабораторий взаимодействия электрических зарядов определяются законом Кулона: два заряда взаимодействуют друг с другом с силой, обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними и прямо пропорциональной величине одного и другого зарядов. Изучая законы притяжения или отталкивания, которые испытывают частицы, приближаясь к ядру, Резерфорд установил, что вплоть до очень близких к ядру расстояний, порядка 10^{-12} см, от ядра, еще справедлив тот же закон Кулона. Если это так, то мы легко можем подсчитать, какую работу должно произвести ядро, отталкивая от себя положительный заряд, когда этот выходит из ядра и выбрасывается наружу. Альфа-частицы и заряженные ядра гелия, вылетая из ядра, движутся под отталкивающим действием его заряда; и вот соответствующий подсчет дает, что под действием одного только отталкивания альфа-частицы должны были накопить кинетическую энергию, соответствующую, по крайней мере, 10 или 20 млн. электрон вольт, т. е. энергию, которая получается при прохождении зарядом, равным заряду электрона, разности потенциалов в 20 млн. электрон вольт¹. А на самом деле, вылетая из атома, они выходят с энергией, гораздо меньшей, всего в 1—5 млн. вольт. А ведь, кроме того, естественно

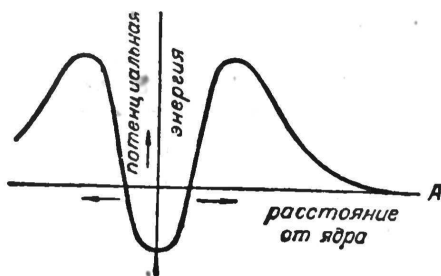
¹ В абсолютных единицах каждый грамм вещества представляет собой энергию $1 \text{ грамм} = 9 \cdot 10^{10}$ эргон. Утверждая, что 0,999 массы атома заключено в ядре, мы тем самым утверждаем, что из всей энергии, которой обладает атом, 0,999 энергии заключается в ядре.

¹ Электрон вольт = $1,59 \times 10^{-19}$ эрга, или $1 \text{ эрг} = 6,28 \times 10^{11}$ электрон вольт; напр энергия в 20 млн. электрон вольт = $3,2 \times 10^{-8}$ эрга.

было ожидать, что и ядро, выбрасывая альфа-частицу, еще что-то дает ей в придачу. В момент выбрасывания в ядре происходит что-то вроде взрыва, и самый этот взрыв сообщает какую-то энергию; к этому прибавляется работа сил отталкивания, а оказывается, что сумма этих энергий меньше того, что должно дать одно отталкивание. Это противоречие снимается, как только мы откажемся от механического перенесения в эту область взглядов, выработанных на опыте изучения больших тел, где мы не принимаем во внимание волнового характера движения. Г. А. Гамов первый дал правильное толкование этому противоречию и создал волновую теорию ядра и радиоактивных процессов.

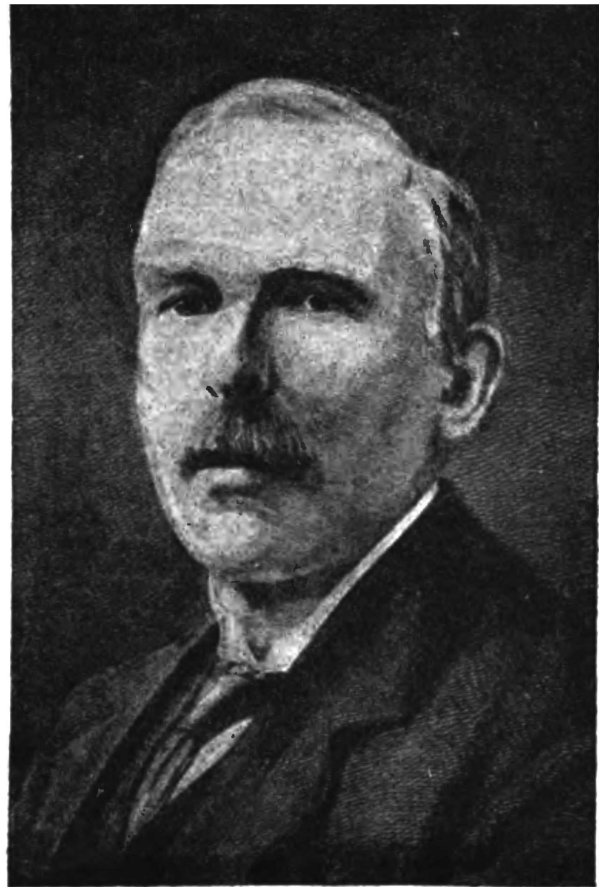
Известно, что на достаточно больших расстояниях (больше 10^{-12} см) ядро отталкивает от себя положительный заряд. С другой стороны, несомненно, что внутри самого ядра, в котором находится много положительных зарядов, они почему-то не отталкиваются. Самое существование ядра показывает, что положительные заряды внутри ядра взаимно притягивают друг друга, а вне ядра — от него отталкиваются.

Как же можно описать энергетические условия в самом ядре и вокруг него? Гамов создал следующее представление. Будем изображать на диаграмме величину энергии положительного заряда в данном месте расстоянием от горизонтальной прямой А.



По мере приближения к ядру энергия заряда будет возрастать, потому что будет совершаться работа против силы отталкивания. Внутри ядра наоборот, энергия должна снова уменьшиться, потому что здесь существует не взаимное отталкивание, а взаимное притяжение. На границах ядра происходит резкое спадание величины энергии. Наш рисунок изображен на плоскости; на самом деле нужно, конечно, представить себе его в пространстве с таким же распределением энергии и по всем другим направлениям. Тогда мы получаем, что вокруг ядра имеется шарообразный слой с высокой энергией, как бы некоторый энергетический барьер, защищающий ядро от проникновения положительных зарядов, так называемый «барьер Гамова».

Если стоять на точке зрения привычных взглядов на движение тела и забыть о вол-



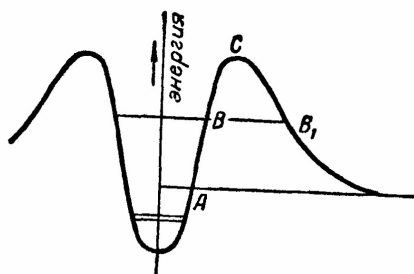
Э. Резерфорд

новой его природе, то нужно ожидать, что в ядро может пробраться только такой положительный заряд, энергия которого не меньше высоты барьера. Наоборот, для того, чтобы выйти из ядра, заряду нужно сначала достигнуть вершины барьера, после чего его кинетическая энергия начнет возрастать по мере удаления от ядра. Если на вершине барьера энергия была равна нулю, то при удалении из атома она и получит те самые 20 млн. электрон вольт, которые на самом деле никогда не наблюдаются. Новое понимание ядра, которое внес Гамов, заключается в следующем. Движение частицы нужно рассматривать как волновое. Следовательно, на этом движении сказывается не только энергия в занимаемой частицей точке, но и во всей размытой волне частицы, охватывающей довольно значительное пространство. Исходя из представлений волновой механики, мы можем утверждать, что если даже энергия в данной точке не достигла того предела, который соответствует вершине барьера, частица может оказаться по другую его сторону, где ее уже не втягивают в ядро действующие там силы притяжения.

Нечто аналогичное представляет следующий опыт. Представьте себе, что за стеной комнаты находится бочка с водой. От этой бочки проведена труба, которая проходит

высоко наверху через отверстие в стене и подает воду; внизу вода выливается. Это — хорошо известное устройство, называемое сифоном. Если бочка с той стороны поставлена выше, чем конец трубы, то через нее будет непрерывно вытекать вода со скоростью, определяемой разностью уровня воды в бочке и концом трубы. Ничего удивительного здесь нет. Но если бы вы не знали о существовании бочки по ту сторону стены и видели только трубу, по которой течет вода с большой высоты, то для вас этот факт казался бы непримиримым противоречием. Вода течет с большой высоты, и в то же время не накопляет той энергии, которая соответствует высоте трубы. Однако объяснение в данном случае очевидно.

Аналогичное явление мы имеем в ядре. Заряд из своего нормального положения A подымается в состояние большей энергии B , но вовсе не достигает вершины барьера C . Из состояния B альфа-частица, проходя сквозь барьер, начинает отталкиваться от ядра не с самой вершины C , а с меньшей высоты энергии B_1 . Поэтому при выходе наружу накопленная частицей энергия будет зависеть не от высоты C , а от меньшей высоты, равной B_1 .



Это качественное рассуждение можно облечь и в количественную форму и дать закон, определяющий вероятность прохождения барьера альфа-частицей в зависимости от той энергии B , которой она обладает в ядре, а следовательно, и от той энергии, которую она получит при выходе из атома.

При помощи ряда опытов был установлен очень простой закон, связывавший числа выбрасываемых радиоактивными веществами альфа-частиц с их энергией или скоростью. Но смысл этого закона был совершенно непонятен.

Первый успех Гамова заключался в том, что из его теории совершенно точно и непринужденно вытекал этот количественный закон испускания альфа-частиц. Сейчас «энергетический барьер Гамова» и волновое его толкование являются основой всех наших представлений о ядре.

Свойства альфа-лучей качественно и количественно хорошо объясняются теорией Гамова, но известно, что радиоактивные вещества испускают и бета-лучи — потоки быстрых электронов. Испускания электронов модель не в состоянии объяснить. Это — одно из самых серьезных противоречий теории атомного ядра, которое до самого последнего времени осталось неразрешенным, но решение которого теперь, повидимому, намечается.

СТРОЕНИЕ ЯДРА

Перейдем теперь к рассмотрению того, что мы знаем о строении ядра.

Больше 100 лет назад Прютом была высказана мысль, что, может быть, элементы периодической системы вовсе не являются отдельными, ничем между собой не связанными формами материи, а представляют собой только разные комбинации атома водорода. Если бы это было так, то можно было бы ожидать, что не только заряды всех ядер будут представлять собою целые кратные заряда водорода, но и массы всех ядер будут выражаться целыми кратными массы водорода, т. е. все атомные веса должны были бы выражаться целыми числами. И действительно, если посмотреть на таблицу атомных весов, то можно увидеть большое число целых чисел. Например, углерод — ровно 12, азот — ровно 14, кислород — ровно 16, фтор — ровно 19. Это, конечно, не случайность. Но есть все-таки атомные веса, далекие от целых чисел. Например, неон имеет атомный вес 20,2, хлор — 35,46. Поэтому гипотеза Прюта осталась частичной догадкой и не могла сделаться теорией строения атома. Изучая поведение заряженных ионов, особенно легко можно изучать свойства ядра атома, воздействуя на них например электрическим и магнитным полем.

Основанный на этом метод, доведенный до чрезвычайно большой точности Астоном, позволил установить, что все элементы, атомные веса которых не выражались целыми числами, на самом деле представляют собой не однородное вещество, а смесь двух или нескольких — 3, 4, 9 — разных видов атомов. Так, например, атомный вес хлора, равный 35,46, объясняется тем, что на самом деле имеется несколько сортов хлорных атомов. Существуют атомы хлора с атомным весом 35 и 37, и эти два вида хлора смешаны между собой в такой пропорции, что их средний атомный вес получается 35,46. Оказалось, что не только в одном этом частном случае, но и во всех без исключения случаях, где атомные веса не выражаются целыми числами, мы имеем смесь изотопов, т. е. атомов с одинаковым зарядом, следовательно, представляющих собой один и тот же элемент, но с

различными массами. Каждый же отдельный сорт атомов всегда имеет целый атомный вес.

Таким образом гипотеза Прюта получила сразу значительное подкрепление, и вопрос можно было бы считать решенным, если бы не одно исключение, а именно, сам водород. Дело в том, что наша система атомных весов построена не на водороде, принятом за единицу, а на атомном весе кислорода, который условно принят равным 16. По отношению к этому весу атомные веса выражаются почти точными целыми числами. Но сам водород в этой системе имеет атомный вес не единицу, а несколько больше, именно 1,0078. Это число отличается от единицы довольно значительно — на $\frac{3}{4}\%$, что далеко превосходит все возможные ошибки в определении атомного веса.

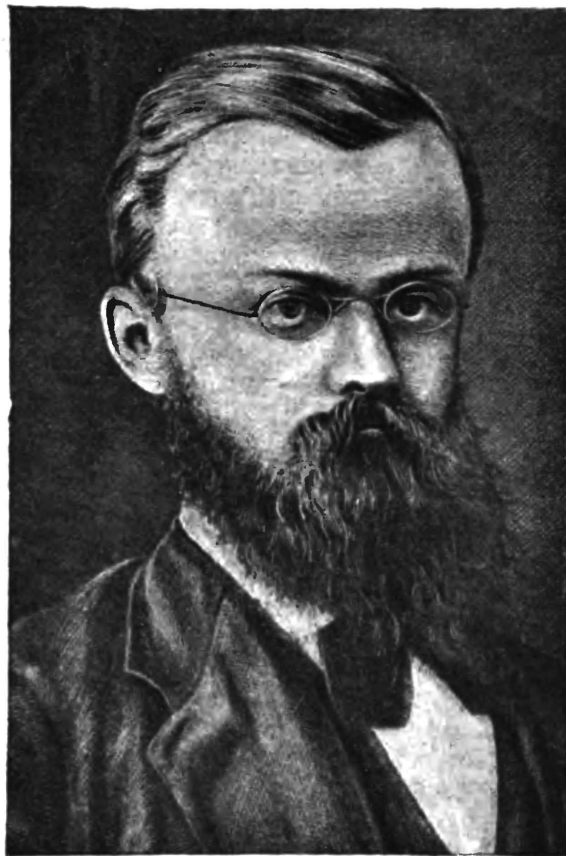
Оказалось, что и у кислорода имеется 3 изотопа: кроме преобладающего, с атомным весом 16, другой — с атомным весом 17 и третий — с атомным весом 18. Если относить все атомные веса к изотопу 16, то атомный вес водорода все-таки окажется немного больше единицы. Далее был найден второй изотоп водорода — водород с атомным весом 2 — дейтерий, как его называли открывшие его американцы, или диплоген, как его называют англичане. Этого дейтерия примешано всего примерно $\frac{1}{6000}$ часть, и поэтому на атомном

весе водорода присутствие этой примеси сказывается очень мало¹.

Следующий за водородом гелий имеет атомный вес 4,002. Если бы он был составлен из 4 водородов, то атомный вес его должен был бы быть, очевидно, 4,031. Следовательно, в этом случае мы имеем некоторую потерю в атомном весе, а именно: $4,031 - 4,002 = 0,029$. Возможно ли это? Пока мы не считали массу некоторой мерой материи, конечно это было невозможно: это значило бы, что часть материи исчезла.

Но теория относительности установила с несомненностью, что масса не есть мера количества материи, а мера той энергии, которой эта материя обладает. Материя измеряется не массой, а количеством зарядов, составляющих эту материю. Эти заряды могут иметь большую или меньшую энергию. Когда одинаковые заряды сближаются — энергия увеличивается, когда они удаляются — энергия уменьшается. Но это, конечно, не значит, что изменилась материя.

Когда мы говорим, что при образовании гелия из 4 водородов исчезло 0,029 атомного веса, то это значит, что исчезла соответствующая этой величине энергия. Мы знаем, что каждый грамм вещества обладает энергией, равной $9 \cdot 10^{20}$ эрг. При образовании 4 г гелия теряется энергия, равная $0,029 \cdot 9 \cdot 10^{20}$ эргам. За счет этого уменьшения энергии



Ф. Астон

4 ядра водорода соединятся в новое ядро. Лишняя энергия выделится в окружающее пространство, и останется соединение с несколько меньшей энергией и массой. Таким образом, если атомные веса измеряются не точно, целыми числами 4 или 1, а 4,002 и 1,0078, то именно эти тысячные доли приобретают особенное значение, потому что они определяют энергию, выделяющуюся при образовании ядра.

Чем больше выделяется энергии при образовании ядра, т. е. чем больше при этом потеря в атомном весе, тем прочнее ядро. В частности, ядро гелия очень прочно, потому что при его образовании выделяется энергия, соответствующая потере в атомном весе — 0,029. Это очень большая энергия. Чтобы судить о ней, лучше всего запомнить такое простое соотношение: одна тысячная атомного веса соответствует примерно 1 млн. электрон вольт. Так что 0,029 это примерно 29 млн. электрон вольт. Для того, чтобы разрушить ядро гелия, чтобы разложить его обратно на 4 водорода, нужна колоссальная энергия. Ядро такой энергии не получает, поэтому ядро гелия чрезвычайно устойчиво, и поэтому-то именно из радиоактивных ядер выделяются не ядра водорода, а целые ядра гелия, альфа-частицы. Эти соображения приводят нас к новой оценке атомной энергии. Мы уже знаем, что в ядре сосредоточена

¹ О тяжелом водороде см. статью М. И. Темкина „Тяжелая вода“.

почти вся энергия атома, и притом энергия громадная. 1 г вещества имеет, если перевести на более наглядный язык, столько энергии, сколько можно получить от сжигания 10 поездов по 100 вагонов нефти. Следовательно, ядро — совершенно исключительный источник энергии. Сравните 1 г с 10 поездами, — таково соотношение концентрации энергии в ядре по сравнению с энергией, которой мы пользуемся в нашей технике.

Однако, если вдуматься в те факты, которые мы сейчас рассматриваем, то можно, наоборот, прийти к совершенно противоположному взгляду на ядро. Ядро с этой точки зрения является не источником энергии, а ее кладбищем: ядро — это остаток после выделения громадного количества энергии, и в нем мы имеем самое низкое состояние энергии.

Следовательно, если мы можем говорить о возможности использования энергии ядра, то только в том смысле, что, может быть, не все ядра дошли до предельно низкой энергии: ведь и водород и гелий — оба существуют в природе, и, следовательно, не весь водород соединился в гелий, хотя гелий и обладает меньшей энергией. Если бы мы могли имеющийся водород оплотить в гелий, то получили бы известное количество энергии. Это не 10 поездов с нефтью, но все-таки это будет примерно 10 вагонов с нефтью. И это не так уж плохо, если бы можно было из 1 г вещества получить столько энергии, сколько от сжигания 10 вагонов нефти.

Таковы возможные запасы энергии при перестройке ядер. Но возможность, конечно, еще далеко не реальность.

Каким же образом можно реализовать эти возможности? Для того, чтобы оценить их, перейдем к рассмотрению состава атомного ядра.

Мы можем теперь сказать, что во всех ядрах имеются положительные ядра водорода, которые называются протонами, обладают единицей атомного веса (точнее 1,0078) и единичным положительным зарядом. Но ядро не может состоять из одних протонов. Возьмем, например, самый тяжелый элемент, занимающий 92-е место в периодической таблице — уран с атомным весом 238. Если предположить, что все эти 238 единиц составлены из протонов, то уран имел бы 238 зарядов, между тем он имеет всего 92. Следовательно, либо там не все частицы заряжены, либо там кроме 238 протонов имеются 146 отрицательных электронов. Тогда все благополучно: атомный вес был бы 238, положительных зарядов 238 и отрицательных 146, следовательно, суммарный заряд 92. Но мы уже установили, что предположение о наличии в ядре электронов несовместимо с нашими представлениями: ни по размерам, ни по магнит-

ным свойствам электронов в ядро поместить нельзя. Оставалось какое-то противоречие.

ОТКРЫТИЕ НЕЙТРОНА

Это противоречие было уничтожено новым опытным фактом, который примерно два года тому назад был открыт Иреной Кюри и мужем ее Жолио (Ирена Кюри — дочь Марии Кюри, открывшей радий). Ирена Кюри и Жолио открыли, что при бомбардировке бериллия (четвертого элемента периодической системы) альфа-частицами бериллий испускает какие-то странные лучи, проникающие через громадные толщи вещества. Казалось бы, раз они так легко проникают сквозь вещества, они не должны вызывать там сколько-нибудь значительных действий, иначе их энергия истощилась бы и они не проникали бы сквозь вещество. С другой стороны, оказывается, что эти лучи, столкнувшись с ядром какого-нибудь атома, отбрасывают его с громадной силой, как бы ударом тяжелой частицы. Так что, с одной стороны, нужно думать, что эти лучи — тяжелые ядра, а с другой стороны, они способны проходить громадные толщи, не оказывая никакого влияния.

Разрешение этого противоречия найдено было в том, что эта частица не заряжена. Если у частицы нет электрического заряда, то тогда на нее ничто не будет действовать, и сама она ни на что не будет действовать. Только тогда, когда она при своем движении наскочит где-нибудь на ядро, она его отбрасывает.

Таким образом появились новые незаряженные частицы — нейтроны. Оказалось, что масса этой частицы примерно такая же, как масса частицы водорода — 1,0065 (на одну тысячную меньше протона, стало быть, энергия ее примерно на 1 млн. вольт меньше). Эта частица похожа на протон, но только лишена положительного заряда, она нейтральна, ее называли нейтроном.

Как только выяснилось существование нейтронов, было предложено совершенно иное представление о строении ядра. Оно было впервые высказано Д. Д. Иваненко, а затем развито, в особенности Гайзенбергом, получившим Нобелевскую премию прошлого года. В ядре могут находиться протоны и нейтроны. Можно было предположить, что ядро и составлено только из протонов и нейтронов. Тогда совсем по-другому, но совсем просто представляется все построение периодической системы. Как, например, надо себе представить уран? Его атомный вес 238, т. е. там 238 частичек. Но часть из них протоны, часть нейтроны. Каждый протон имеет положительный заряд, нейтроны совсем не имеют заряда. Если заряд урана — 92, то это значит, что 92 — протона, а все остальное — нейтроны. Это представление уже сейчас

привело к ряду весьма замечательных успехов, сразу разъяснило целый ряд свойств периодической системы, которые раньше представлялись совершенно загадочными. Когда протонов и нейтронов немного, то по современным представлениям волновой механики нужно ожидать, что число протонов и нейтронов в ядре одинаково. Зарядом обладает только протон, и число протонов дает атомный номер. А атомный вес элемента—это сумма весов протонов и нейтронов, потому что и те и другие имеют по единице атомного веса. На этом основании можно сказать, что атомный номер—это половина атомного веса.

Теперь остается все-таки одно затруднение, одно противоречие. Это—противоречие, создаваемое бета-частицами.

ОТКРЫТИЕ ПОЗИТРОНА

Мы пришли к заключению, что в ядре нет ничего кроме положительно заряженного протона. А как же тогда выбрасываются из ядра отрицательные электроны, если там вообще никаких отрицательных зарядов нет? Как видите, мы попали в трудное положение.

Из него нас выводит опять-таки новый экспериментальный факт, новое открытие. Это открытие было сделано, пожалуй впервые, Д. В. Скобелевым, который, давно уже изучая космические лучи, нашел, что среди зарядов, которые выбрасывают космические лучи, есть и положительные легкие частицы. Но это открытие настолько противоречило всему тому, что твердо было установлено, что Скобелевым сначала не придавал своим наблюдениям такого толкования.

Следующим, кто открыл это явление, был американский физик Андерсен в Пасадене (Калифорния), а после него в Англии, в лаборатории Резерфорда, — Блэккет. Это — положительные электроны или как их не очень удачно называли,—позитроны. Что действительно это положительные электроны — можно проще всего видеть по их поведению в магнитном поле. В магнитном поле электроны отклоняются в одну сторону, а позитроны — в другую, и направление их отклонения определяет собою их знак.



На рисунках изображены пути электрона и позитрона по снимку И. Кюри и Жолио в камере Вильсона. Летящая заряженная частица в камере Вильсона производит на своем пути ионизацию воздуха. На ионизированных молекулах сгущаются капельки воды, образующие облачка тумана, благодаря которым путь частицы виден белой полоской. Если заряженная частица летит в магнитном поле, то путь ее изгибается. Направление изгиба зависит от заряда частицы. На верхнем рисунке видно, что в газе сразу образуются две частицы—электрон и позитрон, пути которых изгибаются в разные стороны. На нижнем рисунке видны пути позитрона и протона. Путь протона—в виде толстой полоски, а позитрона—в виде тонкой.



Вначале позитроны наблюдались только при прохождении космических лучей. Совсем недавно те же Ирена Кюри и Жолио открыли новое замечательное явление. Оказалось, что существует новый тип радиоактивности, что ядра алюминия, бора, магния, сами по себе не радиоактивные, будучи бомбардированы альфа-лучами, становятся радиоактивными. В течение от 2 до 14 минут они продолжают сами собой испускать частицы, и эти частицы уже не альфа- и бета-лучи, а позитроны.

Теория позитронов была создана гораздо раньше, чем был найден сам позитрон. Дирак поставил себе задачу придать уравнениям волновой механики такую форму, чтобы они удовлетворяли и теории относительности.

Эти уравнения Дирака, однако, привели к очень странному следствию. Масса в них входит симметрично, т. е. при изменении знака массы на противоположный уравнения не изменяются. Эта симметрия уравнений относительно массы позволила Дираку предсказать возможность существования положительных электронов.

В то время никто положительных электронов не наблюдал, и существовала твердая уверенность, что положительных электронов нет (можно судить об этом по той осторожности, с которой подошли к данному вопросу и Скобелев и Андерсен), поэтому теория Дирака была отвергнута. Спустя два года положительные электроны были на самом деле найдены, и, естественно, вспомнили о теории Дирака, предсказавшей их появление.

«МАТЕРИАЛИЗАЦИЯ» И «АННИГИЛЯЦИЯ»

Эта теория связана с целым рядом неосновательных толкований, которые обрастают ее со всех сторон. Мне хотелось бы здесь разобрать названный так по инициативе мадам Кюри процесс материализации—появление при прохождении гамма-лучей сквозь материю одновременно пары из положительного и отрицательного электрона. Этот опытный факт толкуют как превращение электромагнитной энергии в две частицы материи, которых раньше не существовало. Этот факт, следовательно, истолковывается как создание

и исчезновение материи под влиянием тех или иных лучей.

Но если ближе присмотреться к тому, что мы в действительности наблюдаем, то легко видеть, что такое толкование появления пар не имеет никаких оснований. В частности, в работе Скобелевича прекрасно видно, что появление пары зарядов под воздействием гамма-лучей происходит вовсе не в пустом пространстве, появление пар наблюдается всегда только в атомах. Следовательно, здесь мы имеем дело не с материализацией энергии, не с появлением какой-то новой материи, а только с разделением зарядов внутри той материи, которая уже существует в атоме. Где она находилась? Надо думать, что процесс расщепления положительного и отрицательного заряда происходит недалеко от ядра, внутри атома, но не внутри ядра (на сравнительно не очень большом расстоянии 10^{-10} — 10^{-11} см, тогда как радиус ядра 10^{-12} — 10^{-13} см.)

Совершенно то же можно сказать и об обратном процессе «аннигиляции материи» — соединения отрицательного и положительного электрона с выделением одного миллиона электрон вольт энергии в виде двух квантов электромагнитных гамма-лучей. И этот процесс происходит всегда в атоме, по-видимому вблизи его ядра.

Здесь мы подходим к возможности разрешения отмеченного уже нами противоречия, к которому приводит испускание бета-лучей отрицательных электронов ядром, которое, как мы думаем, электронов не содержит.

Очевидно, бета-частицы вылетают не из ядра, а благодаря ядру; благодаря выделению энергии внутри ядра около него происходит процесс расщепления на положительный и отрицательный заряды, причем отрицательный заряд выбрасывается, а положительный втягивается в ядро и связывается с нейтроном, образуя положительный протон. Таково предположение, которое высказывалось в последнее время.

Вот, что мы знаем о составе атомного ядра.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение скажем несколько слов о дальнейших перспективах.

Если при изучении атомов мы дошли до некоторых границ, за которыми количественные изменения перешли в новые качественные свойства, то на границах атомного ядра перестают действовать и те законы волновой механики, которые мы обнаружили в атомной оболочке; в ядре начинают нащупываться очень еще неясные контуры новой, еще более обобщающей теории, по отношению к которой волновая механика представляет собой только одну сторону яв-

ления, другая сторона которого начинает сейчас открываться — и начинает, как всегда, с противоречий.

Работы над атомным ядром имеют и другую очень любопытную сторону, тесно переплетающуюся с развитием техники. Ядро очень хорошо защищено барьером Гамова от внешних воздействий. Если, не ограничиваясь только наблюдением распада ядер в радиоактивных процессах, мы захотели бы извне прорваться в ядро, перестроить его, то для этого потребовалось бы чрезвычайно мощное воздействие.

Задача о ядре самым настойчивым образом требует дальнейшего развития техники, перехода от тех напряжений, которые уже освоены высоковольтной техникой, от напряжений в несколько сот тысяч вольт, к миллионам вольт. Создается новый этап и в технике. Это работа над созданием новых источников напряжения, в миллионы вольт, ведется сейчас во всех странах — и за границей и у нас, в частности в Харьковской лаборатории, которая первая начала эту работу, и в Ленинградском физико-техническом институте, и в других местах.

Проблема ядра — одна из самых актуальных проблем нашего времени в физике; над ней нужно с чрезвычайной интенсивностью и настойчивостью работать, и в этой работе необходимо обладать большой смелостью мысли. В своем изложении я указал несколько случаев, когда, переходя к новым масштабам, мы убеждались, что наши логические привычки, все наши представления, построенные на ограниченном опыте, не годятся для новых явлений и новых масштабов. Нужно преодолеть этот свойственный каждому из нас консерватизм здравого смысла. Здравый смысл — это концентрированный опыт прошлого; нельзя ожидать, что этот опыт полностью охватит и будущее. В области ядра больше, чем в какой-нибудь другой, приходится все время иметь в виду возможность новых качественных свойств и не бояться их. Мне кажется, что именно здесь должна сказаться мощь диалектического метода, лишенного этого консерватизма, метода, предсказавшего и весь ход развития современной физики. Я, конечно, понимаю здесь под диалектическим методом не совокупность фраз, взятых из Энгельса. Не его слова, а их смысл нужно перенести в нашу работу; только один диалектический метод может нас продвинуть вперед в такой совершенно новой и передовой области, как проблема ядра.

От редакции. В несколько более расширенном виде эта статья выходит отдельной брошюрой в изд. ОНТИ. Ранее на эту тему автором была прочитана в Москве лекция.