

еще до того, как этот факт получил общее признание). Так как масса нейтрона идентична массе атома водорода, нейтроны при столкновении с водородом теряют скорость намного быстрее, чем при столкновении с каким-либо другим атомом. Если окружить источник нейтронов парафином или водой, их энергия вскоре сократится до уровня энергии простых молекул газа при комнатной температуре (т. е. до 0,04 эв), а при дальнейшем понижении температуры станет еще меньше; таким же образом получают так называемые тепловые нейтроны, проявляющие уникальное свойство: они свободно соединяются даже с наиболее тяжелыми и обладающими самым большим зарядом ядрами, сквозь которые практически не может пройти положительно заряженная частица, какой бы энергией она ни обладала.

В результате ряда опытов Ферми удалось показать, что 47 из 68 элементов с различной атомной массой, которые он подверг воздействию медленных нейтронов, стали радиоактивными, испускающими β -частицы, что позволяет нам считать медленные нейтроны почти универсальным агентом для превращения элементов. Часто наблюдается необычайно высокий уровень поглощения тепловых нейтронов, что особенно заметно при реакциях с бором, кадмием, серебром и гадолинием (один из редкоземельных элементов), которые поэтому используются как щиты, пропускающие быстрые нейтроны, но являющиеся непреодолимой преградой для тепловых. Кроме того, наведенная ими в этих элементах радиоактивность используется для обнаружения и измерения нейтронов. Некоторые из указанных выше элементов выборочно поглощают тепловые нейтроны, «температура» которых находится в определенных пределах. Так, у кадмия необычно сильное поглощение начинается лишь тогда, когда энергия нейтронов снижается до уровня, в 25 раз уступающего уровню начальной энергии нейтронов, — наивысшая точка поглощения достигается при температуре, в 3—4 раза более высокой. Учет всех этих фактов дал возможность регулировать и контролировать процесс искусственного высвобождения атомной энергии.

Глава одиннадцатая. НА ПУТИ К ДЕЛЕНИЮ АТОМА

Всевозрастающая сложность

С древних времен философский подход к изучению природы вещества состоял в упрощении, т. е. в выявлении его основных составных частей. Однако пополнение реальных знаний, в отличие от

поверхностных спекуляций претенциозной монистической натурфилософии, всегда следовало совершенно обратной тенденции. Древним было известно примерно о дюжине элементов. В конце XVIII и в течение XIX в. в число элементов постоянно росло. После появления атомной теории Дальтона и открытия периодического закона оно превысило сначала шесть, а затем семь десятков. В 1913 г. благодаря работам Мозли было показано, что возможно существование только 92 элементов; между тем, начиная с 1905 г., это число, с учетом существующих изотопов, возросло чрезвычайно сильно. Действительно, 92 места периодической системы просто указывают на количество возможных «экстерьеров» атома, а вообще-то в каждой клетке может находиться несколько разновидностей, отличающихся друг от друга массой ядра. Кроме того, атомов прибавилось, по крайней мере, вдвое вследствие разработки методов получения искусственной радиоактивности, ибо ядра в нестабильном состоянии отличаются друг от друга, обладая каждое характерным для него средним временем жизни.

Таким образом, то, что до сих пор считалось элементом, оказалось просто смесью химически идентичных субстанций, массы атомов которых изменяются не непрерывно, а дискретно, на целые единицы. Строго говоря, этот новый взгляд на вещи был бы немислим до обнаружения радиоактивных превращений. Правда, еще в 1886 г. в Бирмингеме сэр Вильям Крукс в своей президентской речи перед химической секцией Британской ассоциации впервые упомянул о возможности существования, как он назвал их тогда, метаэлементов, и некоторые выдержки из той речи, будучи выделенными из контекста, вполне могли бы цитироваться в качестве предвосхищений учения об изотопах.

Несомненно, он предвидел, что атомная масса может быть средней для некоторой совокупности атомов, различающихся по массе, однако (и это было естественно для того времени) он постулировал непрерывное, а не ступенчатое изменение атомной массы, а главное, что разница в ней должна проявляться в слабых различиях химических свойств, которые в будущем могли бы позволить разделять атомы разной массы фракционированием примерно так же, как начали разделять в то время редкоземельные элементы. То, что простая смесь разных по массе атомов, вполне доступных разделению физическими методами (например, диффузией в газообразном состоянии), абсолютно не поддается даже самому тонкому химическому анализу, в конечном счете позволившему разделить 14 редкоземельных элементов, было для химии совершенно ново и весьма странно. Каждый следующий шаг в изучении вещества вскрывал всевозрастающую его сложность, поэтому не будет преувеличением сказать, что вплоть до 1932 г. об изначальной цели исследования почти полностью забыли. Казалось, что простоты вообще нет в физическом мире, и, чем дальше углубляешься в него, тем сложнее он становится.

Появление простоты

Тем не менее открытие изотопов наряду с формулировкой Эйнштейном принципа эквивалентности массы и энергии, а также экспериментальной проверкой этой эквивалентности, которой мы обязаны гению Астона, положили неожиданно конец такого рода продвижению в обратном направлении. Открытие нейтрона и позитрона в 1932 г., принимая во внимание открытый еще в 1897 г. Томсоном электрон, выявило три элементарные частицы (одну для вещества и две для электричества противоположных знаков), из которых можно было наконец соорудить каркас реального физического мира. На месте устрашающей сложности внезапно возникла замечательная по своей достоверности простота, а ядра, эта святая святых, казавшиеся непостижимой тайной, можно было представить теперь не в виде жидких капель, а состоящими из некоторого количества нейтронов, по большей своей части свободных и в несколько меньшем числе соединенных с позитронами (при этом образуются протоны). Динамика поведения этих ядер под воздействием внешней бомбардировки находила себе аналогию в детской игре мраморными шариками, когда один шарик направляется в сомкнутый ряд других, вызывая движение с такой же скоростью шарика, находящегося в другом конце ряда.

Соотношение чисел нейтронов и протонов

Наибольшее целое число, ближайшее к атомной массе, или массовое число изотопа, обозначим M , тогда $M = N + Z$, где N и Z — соответственно, количества нейтронов и протонов. Назовем Z атомным номером, тогда $N = M - Z$. Далее, оказывается, что отношение числа нейтронов к числу протонов N/Z определяет природу ядра и позволяет систематизировать почти все, что известно о ядре к настоящему времени. Для стабильных элементов, за исключением водорода, ядро которого состоит только из протона, нейтронов в ядре никогда не бывает меньше протонов, обычно же их несколько больше. В ядрах всех элементов, начиная с конца первых двух коротких периодов периодической системы, содержащих по восемь элементов, а именно со второго изотопа хлора ${}_{17}^{37}\text{Cl}$, число нейтронов больше чем на два превышает число протонов, и по мере увеличения атомного номера это превышение постоянно растет. То, что изменения возникают именно тогда, когда элементов в периоде становится 18 вместо 8, наводит на мысль о взаимосвязи условий стабильности внутри и вне ядра. В случае последнего полностью стабильного изотопа — висмута ($M = 209$, $Z = 83$) отношение N/Z почти точно равно 1,5, а для самого тяжелого элемента — урана ($M = 238$, $Z = 92$) оно составляет примерно 1,6.

Область стабильности ядер

Благодаря масс-спектрографу мы имеем теперь полное представление об изотопном составе любого элемента, и есть все основания предполагать, что имеющиеся в природе изотопы представляют возможный интервал стабильности для каждого значения Z . Одним из оснований является то, что нейтроны не могут долго существовать в свободном состоянии; что же касается незначительного количества тяжелых изотопов большинства элементов с четным Z , то их наличие, вероятно, указывает на малый естественный поток свободных нейтронов, связанный, возможно, с космическим излучением. Эти нейтроны на протяжении веков способствовали образованию тяжелых изотопов из более распространенных. Легко заметить, что элементы с нечетным Z менее стабильны, чем остальные. Хотя четные и нечетные целые числа, естественно, равноправны, нечетные элементы составляют только одну восьмую массы земной коры. За исключением водорода, натрия, алюминия и фосфора, все остальные нечетные элементы имеются в природе лишь в относительно ничтожном количестве. Половина их представлена одной разновидностью атомов, а другая половина — парами изотопов с соседними нечетными массовыми числами. И только в начале периодической системы два массовых числа иногда оказываются непосредственными соседями, т. е. одно четное, а другое нечетное.

Таким образом, можно довольно успешно предсказать заранее, что произойдет с ядром после тех или иных превращений, в зависимости от того, окажется оно или нет в области стабильности своего номера Z , и если не окажется, то какой тип последующих радиоактивных превращений снова вернет его в устойчивое состояние. А именно: если при добавке нейтрона либо потере протона, позитрона или α -частицы отношение N/Z возросло, то в результате последующего превращения (потери нейтрона или электрона) оно вновь уменьшится, и наоборот. Если с этой точки зрения взглянуть на пять случаев, приведенных в предыдущей главе в качестве первых обнаруженных явлений искусственной радиоактивности, то можно заметить, что это простое правило действительно выполняется. В наиболее распространенном и простейшем случае слияния ядра с нейтроном правило говорит о том, что если новое ядро попадает в область стабильности известных изотопов, то оно не радиоактивно, если же не попадает, то оно испускает β -частицы.

Уже упоминавшееся важное эмпирическое обобщение, известное как правило Маттауха, утверждает, что, за малым исключением, не существует изобаров, элементов с соседними атомными номерами. Изобары часто имеются среди изотопов элементов с ближайшими четными атомными номерами, т. е. у таких пар часто встречаются изотопы с одинаковыми массовыми числами. Зато расположенному между ними элементу с нечетным атомным но-

мером запрещено иметь стабильный изотоп с таким же массовым числом. Вот почему теперь считают, что элементы, отвечающие трем свободным до сих пор клеткам периодической системы (№ 61, 85, 87), не могут существовать в природе в стабильном состоянии.

Ядерная химия

Как пары нейтронов, так и пары протонов склонны к стабильности, тогда как единичные протоны или нейтроны неустойчивы. Все изотопы с четными Z и M можно представить состоящими из ядер гелия плюс или минус дополнительные нейтронные пары, причем такие изотопы относятся к самому распространенному типу, не говоря уже, разумеется, о первых десяти элементах с четными Z . Ядерная химия достаточно сильно отличается от обычной химии, поскольку почти целиком связана с учетом энергетических соотношений. Если есть какое-то превращение с выделением энергии, то оно обладает определенной вероятностью. Обобщая эти особенности, можно заключить, что ядра не имеют, подобно химическим молекулам, статичной структуры архитектурного типа, а представляют собой очень тесные скопления свободных и независимых частиц, протонов и нейтронов, и, возможно, включают гелиевые ядра, образованные парами протонов и нейтронов. В этом есть какое-то сходство с жидкой каплей, — тогда излучение ядром частицы подобно испарению. Мы, конечно, ни в коем случае не считаем, что столь простые модели описывают весь круг известных явлений, однако иногда они оказываются крайне полезными как в теории, так и на практике. Показать, что действительно, есть вещи, которые уж во всяком случае не снились нашим философам, это значит именно теперь дать некоторое представление о космическом излучении, с которым связаны явления, простирающиеся далеко за пределы круга уже известных земных явлений внутри атома.

Космическое излучение

В 1910 г. Гоккель, поднявшись с электроскопом на воздушном шаре на высоту 5 км, обнаружил, что слабая ионизация атмосферы, которая ранее, естественно, приписывалась радиоактивным элементам земной коры и утечке в атмосферу радона, постоянно росла с высотой. Между тем, имея земное происхождение, она должна была уменьшаться и на большой высоте стать очень малой или исчезнуть вовсе! В сходном эксперименте Гесс и Колхёрстер достигли высоты 11 км и обнаружили, что ионизация там примерно в восемь раз больше, чем над уровнем моря. В 1912 г.

было установлено, что из окружающего пространства на Землю по всем направлениям идет поток излучения гораздо большей проникающей способности, чем γ -излучение. Он практически одинаков днем и ночью, не изменяется при солнечном затмении, и его истинный источник остается загадкой.

После войны 1914—1918 гг. благодаря применению специальных больших электроскопов высокой чувствительности исследования стали проводить и на земной поверхности. Милликен поднимал электроскопы высоко в Скалистые горы и Анды и погружал их на большую глубину в лишённые радиоактивных загрязнений ледниковые озера; это делалось для того, чтобы определить проникающую способность нового излучения. То же самое Регенер делал на озере, расположенном почти на 4,5 км выше уровня моря. Принимая во внимание, что γ -излучение при всей его проникающей способности одинаково поглощается прозрачными и непрозрачными материалами и поглощение приблизительно пропорционально плотности вещества, можно сказать, что в смысле проникающей способности слой воздуха, покрывающий земную поверхность, эквивалентен почти метровому слою ртути, через который (даже если бы Солнце состояло из чистого радия) проникает так мало γ -квантов, что их просто нельзя было бы зарегистрировать. Из полученных данных следовало, что даже самые мягкие компоненты достигающего земной поверхности космического излучения обладают в пять или десять раз большей проникающей способностью, чем γ -кванты. Однако на какую бы глубину ни погружали детекторы, излучение хотя постепенно и ослабевало, но никогда не поглощалось полностью. Аналогичные эксперименты, проведенные на рудниках Германии и Швеции, показали, что даже сквозь толстый слой земной коры все еще проникала некоторая часть излучения. Здесь следует вспомнить, что поначалу нейтроны были приняты за γ -излучение очень большой проникающей способности, поэтому что-то похожее могло иметь место и в космическом излучении.

На следующем этапе исследований стали использовать метеорологические шары-зонды, на которых устанавливали приборы, автоматически регистрирующие изменение ионизации атмосферы с высотой. На заданной высоте эти шары разрывались, а приборы с парашютом целыми и невредимыми спускались на Землю. Так была достигнута высота примерно 16 км, выше которой оставалась только одна десятая всей атмосферы. При этом обнаружили, что ионизация достигала максимума как раз чуть ниже слоя, где она превышала ионизацию на уровне моря более чем в 100 раз, а затем она снова начинала уменьшаться. Если это так, то пришедшее из мирового пространства первичное излучение само не ионизует, а производит ионизацию только после прохождения через верхние слои атмосферы, где превращается в более мягкое вторичное излучение. Но, что еще важнее, из этого следует, что излучение, достигшее Земли, не пересекает ничего, кроме пустого пространства.

Эти эксперименты обнаружили также новое явление, известное как *ливни* или *вспышки космического излучения*. Это явление, видимо, обусловлено случайными взрывными выбросами энергии, производимыми отдельными излучающими частицами. С момента открытия этого явления его интенсивно изучают на поверхности Земли с помощью камеры Вильсона, однако его истинная природа остается одной из главных нерешенных проблем космической физики. Изучение индивидуального излучения по трекам Вильсона и с помощью счетчика Гейгера почти полностью заменило ранее применявшиеся методы, причем новые экспериментальные результаты несли несколько другую информацию, так как речь теперь шла об отдельных частицах, а не о суммарных усредненных эффектах излучения.

Полученные К. Андерсоном с помощью камеры Вильсона фотографии четырех типов треков приведены на рис. 85—88. Для получения стереоскопического эффекта фотографии сделаны в двух видах: левый — прямой фотоснимок, правый — его зеркальное отображение. Съемка проводилась на пике Пайка в Колорадо (высота 5 км). Ось цилиндрической камеры была горизонтальной, для разделения частиц использовалось магнитное поле 8000 гс, направленное внутрь листа. На рис. 85 показан ливень из трех электронов и трех позитронов, оцененные энергии которых равны соответственно: 3, 5, 55 и 190 и 78, 70 и 90 Мэв. На рис. 86 изображен трек сильно ионизирующей частицы (по-видимому, протона) с энергией 150 Мэв, движущейся со скоростью, равной половине световой; частица образовалась, вероятно, в электронном ливне, который тоже виден на снимке. На рис. 87 и 88 камера была разделена пополам в горизонтальной плоскости свинцовой пластиной толщиной 3,5 мм. На рис. 87 видна вспышка, вызываемая более чем 100 электронами, суммарная энергия которых по оценкам превышает 10 000 Мэв; природа такой вспышки пока еще совершенно непонятна. Изображенное на рис. 88 экспериментатор объясняет следующим образом: позитрон с энергией около 480 Мэв сверху ударил в пластину и с нижней ее поверхности вылетели три частицы, одна из которых — первоначальный позитрон с энергией, снизившейся до 31 Мэв, а две другие — электрон-позитронная пара (тот и другой с энергией 45 Мэв), образовавшаяся из фотона, рожденного в свинце упавшим позитроном. Короткий густой след оставила, видимо, случайная α -частица от радиоактивных загрязнений в свинцовой пластине.

Поскольку некоторая часть излучения представляет собой высокоскоростные заряженные частицы, то, попадая в магнитное поле Земли, они должны концентрироваться вблизи магнитных полюсов. Этот *широтный эффект* после нескольких неудачных попы-



Рис. 85. Ливень из трех электронов и трех позитронов



Рис. 86. Трек протона энергией 150 Мэв

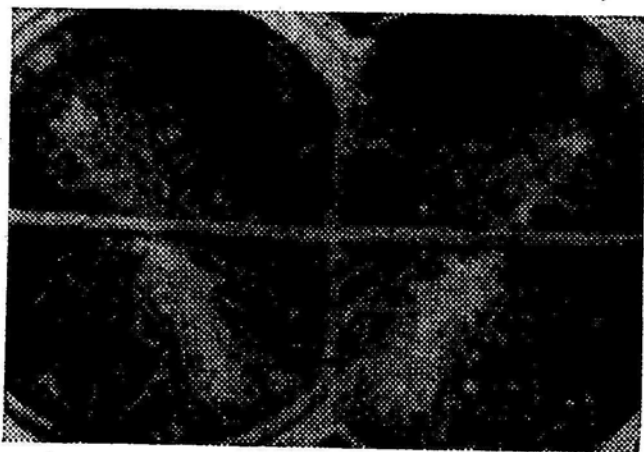


Рис. 87. Электронный взрыв или ливень в космическом излучении суммарной энергии 10 000 Мэв

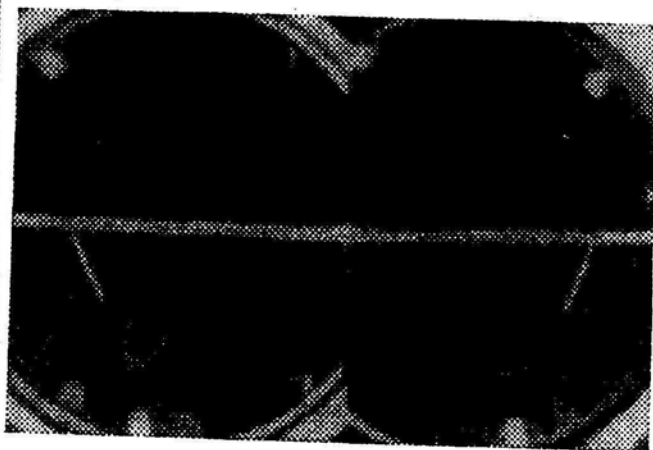


Рис. 88. Рождение электрон-позитронной пары в результате удара о свинцовую плиту позитрона энергией 480 Мэв

ток был обнаружен Клеем и Комптоном. На уровне моря он примерно на одну седьмую больше для умеренных широт, чем для тропиков, а на высоте 4,5 км он больше приблизительно на одну треть.

Имеет место также малый эффект восток-запад, состоящий в том, что в восточном направлении отклоняется больше частиц, чем в западном; это значит, что в космическом излучении больше положительных частиц, чем отрицательных. Заметим, что суточные колебания интенсивности излучения ничтожны. Это указывало на расположение источника излучения за пределами Солнечной системы, в самых отдаленных глубинах Вселенной.



Рис. 89. Трек мезона в камере Вильсона

Мезон

Самым последним вкладом в фундаментальное знание стало открытие вероятного существования новой элементарной частицы, названной *мезоном*. Первоначально существование этой частицы постулировал теоретик Юкава для того, чтобы объяснить свойства ядра. Ее масса занимает промежуточное положение между массой электрона и протона. Предполагается, что она живет только около одной миллионной доли секунды, превращаясь затем в электрон и другую теоретически постулированную частицу, которую назвали *нейтрино*. Не исключено, однако, что последнюю вообще нельзя зарегистрировать, поскольку ее предположительная масса равна лишь массе электрона, а заряд равен нулю. Космический мезон заряжен отрицательно и по массе примерно в 150 раз превосходит электрон. Насколько известно, он достаточно точно совпадает с теоретической частицей Юкавы, которая может быть как положительной, так и отрицательной. На рис. 89 и 90 приведены фотографии, сделанные с помощью камеры Вильсона Вильямсом и Пикапом из Ливерпульского университета. Трек на рис. 89 был получен в большой камере Вильсона, 30 см в диаметре и 30 см высотой, в магнитном поле 1000 гс. Считают, что это мезон, поскольку если бы это был электрон, движущийся по той же траектории, то плотность ионизации вдоль нее должна была быть в три раза меньше, а если протон, то в сто раз больше. Чтобы наглядно показать это, на рис. 90 трек космического электрона с той же кривизной траектории наложен на предыдущую фотографию ниже участка трека предполагаемого мезона.

Современное состояние предмета порождает много вопросов, не имеющих пока ответа. Тот факт, что космическое излучение приходит неизменным, без образовавшегося после прохождения через вещество вторичного излучения, если считать его доказанным, абсолютно исключает какой-либо другой источник, кроме, в сущности, пустого пространства, так что излучение не может происхо-

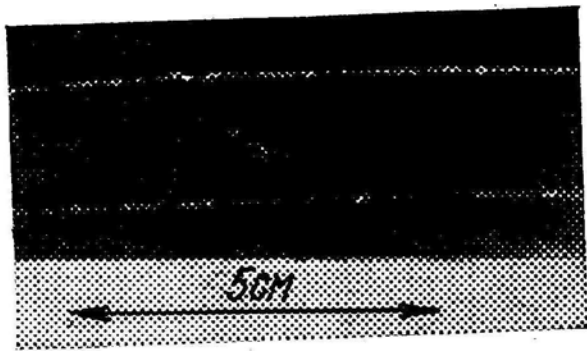


Рис. 90. Трек мезона (вверху) в сопоставлении с треком электрона космического излучения

дить от Солнца или звезд. Эта возможность интригующая, поскольку она подтверждает догадку, что синтез атомов может быть легче осуществим и поэтому имеет место в свободном пространстве, где атомы более не подвергаются непрерывным взаимным столкновениям, которые не оставляют их в покое даже в самых разреженных газах из тех, что исследуются в лабораторных условиях. Может быть, при фактически нулевой температуре и

концентрации формируются какие-то образования, которые с течением времени концентрируются в отдельный атом, хотя надо признаться, что по современным понятиям такое событие маловероятно, если вообще вероятно. До сих пор не объяснен тот факт, что в пустом пространстве, очевидно, протекают энергетические процессы, в которых выделяется больше энергии, чем это должно быть по нашим сегодняшним представлениям.

Вся энергия достигающего Земли космического излучения составляет по оценкам не меньше одной десятой энергии, приносимой на Землю светом звезд; ее достаточно, чтобы поддерживать температуру черного тела, помещенного в космосе, на 3°C выше абсолютного нуля. Ливни указывают на существование уровней энергии, происхождение которых в настоящее время необъяснимо, поскольку даже энергии, выделяемой при полной аннигиляции самых тяжелых из известных нам атомов, едва бы хватило, чтобы объяснить существование некоторых из них. Здесь мы сталкиваемся с неразрешимыми противоречиями, которые вообще характерны для многих направлений современной космологической теории.

Ядерное деление радиоэлементов

Теперь мы добрались до последнего звена цепи лабораторных открытий, которым в свое время стало искусственное высвобождение существенной части полной энергии атома, а именно до деления атома. Ферми обнаружил, что в результате нейтронной бомбардировки природных радиоактивных элементов, урана и тория, получалась очень сложная смесь радиоактивных продуктов, которые испытывали длинные серии последовательных β -распадов, обычных по типу для естественной радиоактивности, но едва ли до сих пор встреченных в радиоактивности искусственной. Разумеется, он интерпретировал полученные результаты, руководству-

ясь установленным ранее простым правилом, описывающим такого рода превращения; оно указывало на существование целого ряда новых элементов, расположенных в периодической системе за последним из известных элементов — ураном. Ферми назвал их *трансурановыми элементами*. В том, что он выводил это единственно из закона радиоактивных смещений, Ферми был одновременно неправ и прав: неправ потому, что принимал образовавшиеся из урана в результате последовательных β -превращений продукты за новые элементы; прав в том, что, как показали более поздние работы, трансурановые элементы действительно могут быть получены. Более того, фактически именно второе из этих двух следствий начинает занимать теперь доминирующее положение.

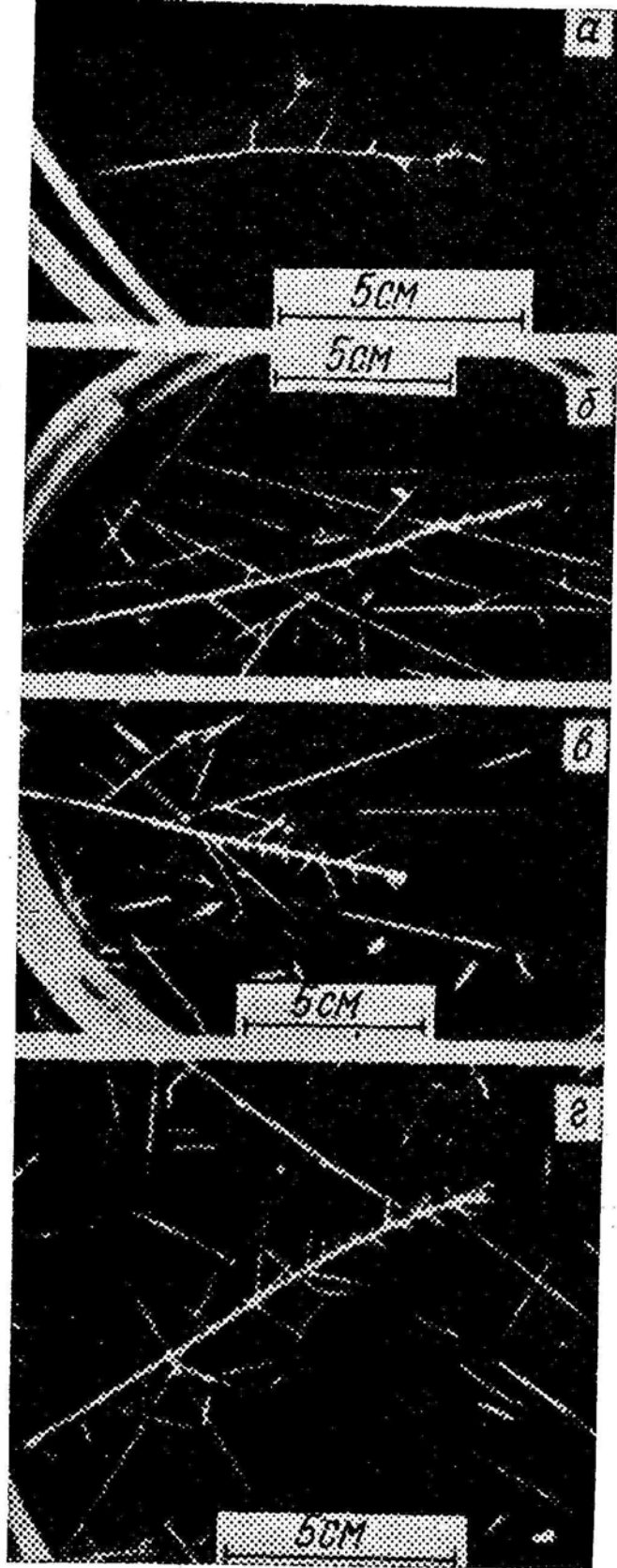
Однако между ураном и торием обнаружилось важное различие. Торий превращался под действием только быстрых нейтронов, и продукты распада идентифицировались как новые изотопы элементов с номерами 88—91, т. е. радия, актиния, тория и протактиния. Главное отличие состояло в том, что уран превращался под действием как быстрых, так и медленных нейтронов, причем действие тех и других было в значительной степени разным. Здесь ряду последовательных продуктов распада первоначально отводились пять новых мест за ураном — с номерами от 93 до 97.

Ключ к достижению истинной природы происходящего с ураном был дан в работе И. Жолио-Кюри и П. Савича, которые установили, что одним из урановых продуктов является редкоземельный элемент, похожий на лантан, № 57, но отличный от актиния, № 89; правда, они не могли утверждать, что это лантан, не сумев доказать, что продукт является изотопом лантана.

Затем Ган обнаружил, что другой продукт, принятый за изотоп радия, № 88, явно отличается от радия, но не отличается от бария, № 56. На этой стадии Ган и его берлинские сотрудники приняли в 1939 г. справедливую и по сей день точку зрения. В согласии с ней уран под действием нейтронов претерпевает совершенно новый тип распада, названный *делением*, при котором два самых тяжелых известных атома (урана и тория) делятся на две более или менее равноценные части.

Огромная важность этого открытия была понята очень скоро. Ибо, как уже отмечалось ранее, согласно простым арифметическим правилам, при делении атома должен получаться значительный избыток нейтронов, двадцать или даже больше; ведь только в таком случае из атома урана, для которого отношение N/Z равно 1,59, образуются два атома элементов середины периодической системы, попадающие в свою область стабильности, т. е. имеющие отношение от 1,2 до 1,4. К тому же так как коэффициент Астона становится равным -10 , а для урана он составлял $+5,4$, то энергия, высвобождающаяся в акте единичного распада, должна быть порядка 165 Мэв , т. е. примерно в четыре раза больше, чем в полной последовательности 14 естественных превращений урана.

Продукты деления и их энергия отдачи



Поскольку разгадка была найдена, то вскоре стала понятна и природа изобилия новых продуктов. Было установлено, что в результате деления образуются две группы атомов: в одной основная часть имеет энергию 70 Мэв, в другой — 100 Мэв; массы атомов находятся в обратном соотношении, что продиктовано законом сохранения импульса. Однако деление не является каким-то одним фиксированным видом распада, как в естественной радиоактивности, доказательством чему служит тот факт, что массы двух образующихся частей тем ближе друг к другу, чем выше энергия нейтронов, вызывающих деление. Для более тяжелой группы M лежит в пределах от 154 до 127 и Z — от 51 до 57, а для легкой группы — от 115 до 83 и от 35 до 38 соответственно, хотя среди продуктов распада появляется также и молибден с $Z=42$. Активность урана после облучения так высока, что в сравнении с ней начальную его активность можно считать пренебрежимо малой. Продукты испытывают ряд последовательных радиоактивных превращений, в которых β -излучение сопровождается γ -излучением; время их жизни составляет от долей секунды до нескольких лет, некоторые живут около месяца, причем наиболее представитель-

Рис. 91. Отдача продуктов расщепления урана (эффект новогодней елки)

ный тип продуктов дает меньше 10% вклада в полную активность.

Энергетическая отдача образующихся после деления частей очень помогает их идентификации и изучению, как это имеет место с некоторыми из короткоживущих продуктов α -излучения в естественной радиоактивности. Но здесь, согласно закону сохранения импульса, энергия отдачи гораздо выше, так что разлетающиеся части способны ионизовать газы, и, следовательно, можно изучать их треки в камере Вильсона. Эти треки, совсем непохожие на обычные треки α -частиц, демонстрируют то, что было удачно названо *эффектом новогодней елки*. Энергия продуктов настолько велика, что ядра, поочередно встречающиеся на их пути, в результате переданного им импульса отдачи сами ионизуют газ и образуют короткие треки — ветви вдоль главного пути или ствола. Отдача дает возможность отличить разлетающиеся продукты деления от неизвестных продуктов превращений обычного типа.

На рис. 91 воспроизведены четыре фотографии, сделанные Боггилдом с помощью камеры Вильсона, на которых видны продукты отдачи деления урана. Изображенная на снимке 91,а камера была заполнена смесью аргона с парами спирта и воды при давлении 10 см, а на снимках 91,б — г — влажным гелием при давлении 34 см. Колоссальная энергия разлетающихся фрагментов деления проявляется в большом количестве прямых, или центральных столкновений их с атомными ядрами; при каждом из таких столкновений ядра отлетают со скоростью, достаточной для ионизации газа и образования короткого трека — ветви.

Испускание нейтронов

Что касается испускания свободных нейтронов, то было установлено, что оно возникает без какой-либо, даже ничтожной, временной задержки вслед за столкновением бомбардирующего нейтрона с атомом. Хотя избыток отношения N/Z двух продуктов деления ликвидируется главным образом за счет последовательных β -превращений, атом урана испускает также и некоторое количество нейтронов. Вероятно, число их зависит от энергии бомбардирующих нейтронов, но принято считать, что обычно их бывает три. Сами продукты деления тоже выбрасывают нейтроны. Четыре группы нейтронов, соответствующих продуктам с периодами полураспада 2,5; 7; 24 и 57 сек, испускаются вслед за основным делением, но только около 1% всех нейтронов испускается с задержкой, равной 0,01 сек. Такие вторичные нейтроны, несмотря на их ничтожное, по сравнению с нейтронами, испускаемыми в первый момент, количество, сыграли чрезвычайно важную и полезную роль в контроле и управлении искусственным процессом деления, поскольку именно они позволили сделать его самоподдерживающимся. Средняя энергия основной группы испускаемых нейтронов равна 1 Мэв, и потеря ядрами своего нейтронного излишка считается процессом, очень похожим на испарение капли жидкости.

После того как были установлены эти факты, появилась возможность осуществить такой ход процесса, когда деление урана, однажды начавшись, в соответствующих условиях продолжалось бы спонтанно, без дополнительных внешних стимулов, точно так же как химическое изменение совершается через горение или детонацию. Поскольку при распаде каждого атома урана возникает несколько высокоэнергетических новых нейтронов, они, в свою очередь, вызывают деление соседних атомов урана, так что контролируемый процесс может протекать равномерно, как горение, в противном случае последует страшный взрыв, во много миллионов раз более мощный, чем любой из известных химических взрывов.

Наше поколение стало свидетелем реализации обеих этих возможностей.

Деление урана

Теперь перейдем к более детальному рассмотрению превращений, происходящих с ураном под действием нейтронов, о которых теперь знаем достаточно полно. О сходных превращениях тория, кроме того, что при его распаде тоже образуются продукты деления с Z от 52 до 57, до сих пор известно немного. При изобилии продуктов деления лишь очень немногие из них были идентифицированы с радиоактивными изотопами, искусственно полученными обычными методами, к тому же среди этих продуктов могут быть несколько изотопов одного и того же элемента.

Рассмотрим две исключительно важные особенности, которые есть у урана и которых нет у тория.

Первая состоит в том, что имеется сильный так называемый резонансный захват нейтронов основным изотопом урана с массовым числом 238, образующий при нормальном ходе процесса изотоп уран-239. Уран-239 β -активен с периодом полураспада 23 мин, и, следовательно, из него получается элемент № 93 — первый трансурановый элемент, к непосредственному рассмотрению которого мы перейдем позднее. Эта реакция осуществляется, главным образом, под воздействием медленных нейтронов, скорость которых ограничивается вполне определенным пределом, соответствующим энергии примерно 25 эв. Считается, что испускаемые при делении быстрые нейтроны сначала совершают, не вызывая расщепления, множество неупругих столкновений с ядрами урана-238, в результате которых их скорость уменьшается. Вторая, более важная особенность состоит в том, что уран, в отличие от тория, захватывает медленные нейтроны, которые и вызывают его деление.

Актиноуран или уран-235

Исходя из общих теоретических соображений, Бор установил, что делящимся изотопом является не уран-238, присутствующий в естественной изотопной смеси в подавляющем количестве, а другой изотоп урана, с массой 235, который составляет в природном уране только 1/140 часть. Существование этого изотопа, хотя история его продолжается уже целое поколение, фактически только что было доказано.

Уран и торий оказались из числа «крепких орешков» для масс-спектрографического изотопного анализа, однако недавно используя более мощные методы для получения их положительных ионов, эту задачу успешно разрешил Демпстер, установивший для урана уже известный нам результат и нашедший, что торий состоит из единственного изотопа с массой 232. Это единственное исключение для элементов с четным атомным номером, которые всегда имеют сложный изотопный состав. Однако торий $^{232}_{90}\text{Th}$, несмотря на то что он является самым долгоживущим среди известных нестабильных элементов, все-таки не полностью стабилен и всегда встречается в природе вместе с бесконечно малой долей изотопа $^{228}_{90}\text{Th}$ — радиотория, который, строго говоря, сводит на нет даже это единственное исключение.

На рис. 92 показаны масс-спектры урана и тория, полученные Демпстером с помощью его *метода горячей искры*. Двухзарядные ионы тория (верхний спектр) и урана (нижний спектр) сравнивались с однозарядными ионами изотопов олова. Торий был представлен изотопом с массовым числом 232, а уран — с массовым числом 238, но на оригинальной фотографии, репродукцией с которой является рис. 92, в нижнем спектре можно было едва различить слабую линию на 117,5, соответствующую изотопу урана с массой 235, хотя на репродукции этой линии уже не видно.

О. Пикар — широко известный тем, что он первым поднялся в стратосферу на воздушном шаре в герметичной сферической кабине — довольно давно сделал предположение, что изотоп урана, который называли актиноураном, мог бы оказаться родоначальником актиниевого радиоактивного ряда. Альтернативой этой возможности могло быть появление актиниевого ряда в результате ветвления ряда урана: либо в начале его, либо после третьего изотопного члена, так называемого урана II, причем лишь несколько процентов атомов должно было распадаться по этой схеме, остальные же давали основной ряд радия. Такое ветвление в самом деле имеет место в конце всех рядов в радиоактивных короткоживущих осадках. Уран II с массовым числом 234 составляет лишь 1/20 000 часть полного количества урана и с трудом детектируется масс-спектрографом. Но гораздо раньше масс-спектрограф показал наличие небольшой, но заметной фракции изотопа

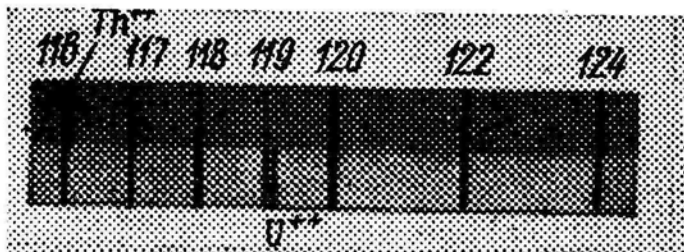


Рис. 92. Спектр масс тория и урана, наложенный на спектр олова

свинца-207 в свинце, извлеченном из урановых минералов. Так как в активном ряду уран семь раз испытывал α -превращение, то масса актиноурана становится $207 + 28 = 235$, что подтверждает, скорее, происхождение актинового ряда по Пикару, чем гипотезу ветвления. Уран-235 легче расщепляется медленными тепловыми

нейтронами, чем быстрыми, и, если бы не было этого изотопа, искусственного высвобождения атомной энергии не удалось бы добиться. Следует, однако, помнить, при сколь незначительных запасах и для какой ничтожной доли одного, вовсе не избыточного, элемента оно было пока достигнуто.

Глава двенадцатая. ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕВРАЩЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ

Две цели

С этого момента попытки освобождения атомной энергии из урана сосредоточились на двух направлениях, каждое из которых подразумевало разработку своего технологического процесса. Первое направление с самого начала имело прежде всего военное значение: его целью было использование освобожденной атомной энергии в качестве сверхмощного взрывчатого средства. Второе, направление, более практико-экономического характера, ставило своей задачей достижение непрерывной управляемой ядерной реакции, что обеспечило бы промышленность непревзойденным до того времени источником энергии. Работа началась (и особенно в США) сразу в двух направлениях, а так как скоро обнаружилось, что второй проект может стать наиболее быстрым и эффективным путем к осуществлению первого, то и впоследствии их параллельная разработка продолжалась почти с одинаковой интенсивностью. В конце концов оказалось, что оба полученных технологических процесса почти в равной степени способствовали достижению одной цели — военной.

Военная цель

Необходимым условием достижения поставленной военной цели было разделение двух изотопов урана с массовыми числами 235 и 238, так как ожидалось, что уран, в достаточной степени обо-

гащенный изотопом 235, будет спонтанно взрываться в соответствующих условиях. 6 мая 1940 г., за восемнадцать месяцев до нападения японцев на Пирл-Харбор, обусловившего, как известно, вступление США в войну, в Европу было передано телеграфное сообщение об экспериментальном подтверждении учеными Миннесотского университета предсказания Бора относительно урана-235. Используя метод масс-спектрографии, они частично и, конечно, в ничтожно малом количестве разделили два изотопа, а результаты проведенной ими многократной бомбардировки изотопов нейтронами оказались столь многообещающими, что было сочтено возможным приступить к попыткам промышленного получения урана-235.

Таков был самый первый и самый общий появившийся в научном мире признак, предвещавший, что освобождение атомной энергии в военных целях перестало быть просто химерой. И все же любому ученому, хоть в какой-то степени представлявшему, каких геркулесовых усилий стоит получение урана-235 в широких масштабах, решение этой проблемы еще до конца войны казалось весьма гипотетическим. По мнению автора этих строк, данная проблема и до сегодняшнего дня остается технически нерешенной, если, конечно, иметь в виду практическое использование искусственного превращения для создания экономичного источника энергии и оставить в стороне применение его для получения сверхоружия, при производстве которого любые затраты не только не являются непреодолимым препятствием, но и могут оказаться для определенных промышленных кругов вполне желательными.

Мирная цель

Прежде чем приступить к подробному анализу военного направления изысканий, было бы полезно проследить до определенной стадии развитие мирного, цель которого — получение упорядоченного и управляемого процесса освобождения энергии — не требует для своего осуществления столь затруднительного технически разделения изотопов, хотя, с другой стороны, требует в качестве основной предпосылки сравнительно большого количества урана. Первоначально считалось, что спонтанная цепная реакция деления возможна при простом механическом соединении достаточно большой массы этого элемента. Ф. Перрен, один из молодых членов парижского кружка физиков-теоретиков, сын Жана Перрена, известного своими работами в области броуновского движения, приблизительно оценил такое необходимое количество как изготовленную из окиси урана сферу радиусом 274 см и массой 40 т. Сейчас известно, что из-за потери нейтронов в результате резонансного захвата, дающего, как уже упоминалось, уран-239, сколь бы большое количество урана мы ни применили, его все равно будет недостаточно. Отсюда зерно идеи о создании установки, известной с

тех пор под именем *уранового реактора*, или буквально «уранового штабеля», — довольно бесцеремонное название для изобретения, которое и по сей день остается наивысшим достижением человеческого разума.

Замедлитель

Чтобы предотвратить нежелательную утечку нейтронов, необходимо было заставить их как можно быстрее покидать излучающий их уран, а также лишать их начальной скорости и кинетической энергии раньше вторичного попадания в уран в качестве тепловых нейтронов и расщепления ими изотопа ^{235}U . Именно для этого и требуется *замедлитель*. Он должен быть одним из наиболее легких элементов, ядро атомов которого было бы ближайшим по массе к нейтрону: при каждом очередном столкновении последний должен лишаться максимально возможной части своей энергии, но одновременно он не должен вызывать превращения. Практически мы имеем только два элемента, способных выполнять функцию замедлителя: дейтерий и углерод. Однако производство тяжелой воды слишком дорогостояще, а время ее получения слишком велико, чтобы оправдывать применение дейтерия в условиях иных, нежели лабораторные. Второй элемент обладает, несмотря на в шесть раз большую массу ядра его атомов, известными преимуществами: он может быть приготовлен в любом количестве в виде искусственного графита, получаемого в электропечах, и относительно чистым по своему составу, так как почти все элементы, кроме углерода, испаряются при температуре каления.

Урановый реактор

Урановый реактор имеет, как правило, структуру трехмерной решетки, состоящей из отдельных небольших топливных элементов из урана, находящихся в матрице замедлителя. Распределение урана в замедлителе тщательно рассчитывают с учетом всех имеющихся данных о свойствах участвующих в реакции нейтронов и ядер, чтобы обеспечить возврат в уран максимального числа испущенных нейтронов после того, как они отдадут часть своей первоначальной энергии. Потери нейтронов на нежелательные превращения должны сводиться, таким образом, к минимально возможному. Что же касается контроля за процессом в случае его возможного самопроизвольного ускорения, то задача состоит, наоборот, в захвате максимума нейтронов до уровня, необходимого для начала процесса. Не представляет трудности внести в реактор большее или меньшее количество такого, например, элемента, как кадмий, упомянутого ранее в качестве сильного поглотителя нейт-

ронов, и регулировать посредством его введения количество свободных нейтронов таким образом, чтобы поддерживать процесс распада урана в реакторе на любом заданном уровне. С этой целью обычно используют стержни из специальной борной стали, которые вводят в реактор или выводят из него по мере необходимости.

Уже упоминалось, что хотя большинство нейтронов, испускаемых в результате деления урана-235, обладают энергией, достаточной для деления урана-238, лишь немногие быстрые нейтроны действительно вызывают деление урана-238. Это объясняется потерей, вызываемой резонансным захватом нейтронов, энергия которых равна промежуточному значению; именно эту потерю и нужно снизить до минимума правильным расчетом решетки. Считается, что в графитовом замедлителе нейтроны пробегают между двумя очередными столкновениями с легкими ядрами атомов углерода расстояние около 2,5 см; при этом они испытывают около 200 таких столкновений, прежде чем снова попадут в уран, чтобы произвести в нем деление изотопа 235.

Согласно данным, опубликованным в официальном американском издании «Atomic Energy» (начиная с памятной даты нападения на Пирл-Харбор 7 декабря 1941 г. этот журнал был практически единственным доступным источником информации общественности об атомных изысканиях), в первый урановый реактор было загружено 6 т металлического урана и некоторое (точно не указанное) количество окиси урана, которая, вероятно, была добавлена из-за недостатка в то время урана в чистом виде. Реактор имел сферическую форму и был составлен из горизонтальных слоев блочного графита, которые располагались между подобными же слоями из перемежающихся блоков графита и урана. Критическое состояние реактора, при котором потеря нейтронов компенсировалась их производством, было достигнуто, когда сфера была построена на три четверти, в результате чего реактор так и не получил окончательной формы правильного шара.

Реактор был построен в помещении зала для игры в мяч под трибунами стадиона на территории Чикагского университета и приведен в действие 12 декабря 1942 г. при расчетной начальной мощности 0,5 вт. Через 12 дней мощность была доведена до 200 вт, после чего дальнейшее ее повышение было сочтено рискованным из-за генерируемого установкой опасного излучения, а сам реактор был перемещен за пределы города, в Аргоннскую лабораторию. Здесь же для экспериментального изучения нейтронов были воздвигнуты еще два реактора: один (в 1943 г.) практически такой же, как и первый, и отличающийся от него только тем, что его критический размер был рассчитан таким образом, чтобы установка приобрела форму простого куба, и другой (в 1944 г.), в котором в качестве замедлителя использовалась тяжелая вода, что позволило значительно уменьшить размеры реактора по сравнению с

предыдущими. Реакция в последнем реакторе стала самоподдерживающейся на стадии, когда он был заполнен на $\frac{3}{5}$ предназначенным для него замедлителем; из реактора пришлось удалить некоторое количество урана, а также снабдить его дополнительными контрольными стержнями. К этому времени в США и Канаде было налажено производство тяжелой воды: в США из обычной воды простым, но дорогостоящим способом ее фракционной дистилляции, а в Канаде — при помощи физико-химического каталитического процесса обмена между электролитическим водородом и дейтерием в воде — методом, доказавшим свою экономичность.

Установки в Клинтоне и Ханфорде

Ни один из упомянутых выше реакторов не был снабжен системой охлаждения, вследствие чего их мощность была ограничена скоростью естественного рассеяния генерируемого ими тепла. Первый реактор проработал без перерыва и без осложнений в течение двух лет при мощности в несколько киловатт; несколько раз на короткие промежутки времени его запускали на гораздо большую мощность. На основании опыта строительства и работы этих экспериментальных установок были возведены так называемые *промышленные реакторы*: первый, пробный, в Клинтоне, шт. Теннесси, и через некоторое время — еще несколько в Ханфорде на западном берегу реки Колумбия, к северу от Паско и почти в самом центре шт. Вашингтон. Здесь было спроектировано строительство пяти реакторов, отдаленных для безопасности на расстояние около десяти километров друг от друга. Три установки были закончены к лету 1945 г., причем одна из них уже проработала в течение почти одного года. Реакторы были снабжены системами водяного и воздушного охлаждения, что потребовало при их возведении большого количества материалов, и были рассчитаны на работу при мощности порядка несколько тысяч киловатт. За исключением первой установки в Клинтоне, которая в 1944 г. работала на мощности, превышающей 1800 квт, данные о рабочих характеристиках других реакторов почти не публиковались. В Ханфорде на площади 2600 км² фундамент первого цеха был заложен в апреле 1943 г. Уже в 1944 г. на месте голых холмов и заросших кустарником равнин, где прежде были лишь две деревни и несколько заброшенных ферм, вырос город с населением 60 000. Сейчас он покинут, а персонал, обслуживающий установки, переехал в одну из двух деревень.

Величайшее достижение в истории человечества

Военные изыскания, обусловившие столь знаменательный и столь злосчастно быстрый прогресс от стадии в полватта до мощи, соперничающей с производительностью крупнейших гидроэлектро-

станций, имели своей целью отнюдь не получение энергии: последняя лишь растрачивалась впустую, согревая воды реки Колумбия. Однако, прежде чем перейти к изложению действительной цели изысканий, мы сочли нужным остановиться, как это уже было сделано, на разработке уранового реактора как изобретения, чрезвычайно интересного самого по себе и имеющего огромную важность. Несомненно, урановый реактор олицетворяет собой самое гениальное и замечательное достижение разума за всю историю человечества. К концу 1942 г. весь хитроумный арсенал высоковольтных установок, соперничающих по мощи с молниями, изумительно точных масс-спектрографов, циклотронов массой в тысячи тонн и стоимостью несколько сотен тысяч фунтов стерлингов, все невероятно чувствительные приборы, подсчитывающие и фотографирующие траектории отдельных атомов (именно при их помощи поиск, начатый Резерфордом в 1911 г. открытием ядра атома, продолжался затем во многих странах мира) — все это исчезло, как леса с выстроенного здания. Вместо них обнажилась правильной формы установка массой в несколько тонн, состоящая из механически соприкасающихся элементов с самыми тяжелыми и самыми легкими из известных атомов. И вот посмотрите! По мере того как «груда» растет, она сама собой начинает генерировать энергию, мощь которой в миллионы раз превосходит все наивысшие достижения прошлого века. Выйди она из повиновения, вспыхнуло бы на Земле сияние, сравнимое лишь с ослепительностью Солнца и звезд.

Страшно подумать, в какие неподготовленные руки наука столь преждевременно вложила силы, немногим более четырех лет назад казавшиеся бесконечно недоступными.

«Томная» и «атомная» энергия

После того как атомная энергия искусственно и количественно освобождена, по-прежнему называть ее «атомной» было бы противоречием в терминах. Выражение «атомная энергия» означает «энергия неделимого», полученная же атомная энергия в точном научном смысле подразумевает деление такого неделимого. Отрицательным аналогом термина «атомный» было бы слово «anatomic» («атомный»), т. е. уже существующее слово со значением «разделяющий». Поэтому для обозначения энергии после ее освобождения в результате деления атома автор пользуется термином с положительной морфологией «*atomic*» (*томный*), вместо слова с отрицанием, каким является термин «атомный» или «неделимый». Конечно, последнее выражение продолжает оставаться верным для обозначения энергии атома до ее освобождения в результате деления*.

* Строго говоря, Содди был прав, предлагая новый термин, но исторически он не прижился. — Прим. ред.

Условия «томной» детонации

Принципиальное отличие процесса в урановом реакторе от освобождения атомной энергии взрывного типа состоит в факторе времени. Несомненно, неуправляемая реакция в реакторе привела бы к гигантскому взрыву. Но для такого взрыва достаточно и очень незначительной части энергии урана. Практически должно было бы произойти следующее: точно так же как и при химическом взрыве, освобожденная энергия обратила бы в газ близлежащее вещество и разнесла бы во все стороны остальную часть не претерпевшего никаких изменений материала.

Причиной «томного» взрыва является не повышение температуры, а концентрация нейтронов. Необходимое их количество, вместо того, чтобы концентрироваться в уране, мгновенно бы испарилось и остановило бы детонацию почти в тот же самый момент, когда она началась. Таким образом, требуется выделение (концентрирование) из урана-238 изотопа уран-235, являющегося истинным детонатором, для которого уран-238 служит лишь разбавляющей средой. И хотя уран-238 составляет 99% всего урана, его роль в процессе инициирования относительно ничтожна. Это же условие исключает использование в качестве агента детонации тепловых нейтронов, так как скорость их распространения такова же, как и при обычном химическом взрыве, а для «томного» взрыва пригодны только быстрые нейтроны, обладающие скоростью, соизмеримой со скоростью света. Следовательно, поставленная проблема в корне отличается от задачи создания самоподдерживающегося уранового реактора. Подробности изготовления «томной» бомбы, или действительного механизма атомного деления взрывного типа, мало известны, так как информация, касающаяся их, публиковалась крайне скупно. Известны лишь основные необходимые для «томного» взрыва условия: деление должно распространяться со скоростью, достаточной для того, чтобы значительная часть расщепляемого вещества была взорвана прежде, чем рассеяние положит конец процессу. До сих пор также не опубликовано никаких даже приблизительных данных о критической массе, превышение которой вызывает детонацию. Первоначальная теоретическая оценка давала значения от 1 до 100 кг урана-235.

Детонация происходит в момент, когда количество нейтронов, производимых в процессе деления, превышает количество нейтронов, поглощаемых при расщеплении, плюс все потери нейтронов вследствие утечки от поверхностей, и поглощения их, ведущего к превращениям иным, чем деление. Каждый килограмм урана в результате деления практически освобождает энергию, эквивалентную взрыву 20 000 т тринитротолуола или подобного ему мощного взрывчатого вещества. Создается впечатление, что до сих пор в результате взрыва освобождается лишь немногим менее 1% всей энергии природного урана и что практически изотоп уран-238, при-

существующий в уране, обогащенном изотопом 235 , можно рассматривать скорее как разбавитель, чем как агент, вызывающий разрушительный эффект. В любом случае из-за невозможности изучения «томной» детонации в лабораторных условиях все существующие в пользу этого доказательства следует, по-видимому, рассматривать лишь как очень косвенные и умозрительные.

«Томная» бомба

Проблема создания бомбы была, по-видимому, решена путем разделения заряда на две части. Объемные и поверхностные характеристики каждой из них в отдельности обеспечивают превышение потери нейтронов над их производством. При максимально быстром механическом соединении этих частей создаются новые объемные и поверхностные характеристики суммарной массы, при которых производство нейтронов превышает их потерю, что приводит к мгновенной детонации. Это, при любой данной концентрации первоначально делимого компонента, ограничивает суммарный заряд бомбы до определенного количества, отклонения от которого не могут быть велики. Основная техническая трудность заключается в том, чтобы соединить части заряда за чрезвычайно короткое время. Поэтому, как представляется автору данной книги, все попытки использовать в бомбе больше двух частей заряда неизбежно обречены на неудачу из-за невозможности достижения достаточно точной синхронизации. Кроме того, с военной точки зрения «томный» снаряд был бы, вероятно, предпочтительней «томной» бомбы: деление мощи последней, по-видимому, перспективней, чем увеличение.

Конструкция бомбы с зарядом из двух частей скорее всего предусматривает устройство, при помощи которого одна часть выстреливается в другую каким-либо способом. Неизвестно, устанавливается ли в бомбе с целью достижения мгновенной детонации суммарного заряда источник быстрых нейтронов в виде, например, радий-бериллиевой трубки: для работы уранового реактора такой источник не является необходимым. Предполагается, что процесс инициируется либо нейтронами космического излучения, либо так называемыми рассеянными нейтронами, возникающими в результате спонтанного деления урана или под воздействием α -излучения урана на какой-либо из присутствующих элементов. Следует упомянуть также, что, как и при обычных взрывах, эффективность бомбы во многом зависит от ее уплотнения, корпуса. Максимально плотное вещество, окружающее заряд, замедляет своей инерцией рассеяние содержимого после детонации и играет важную роль в создании условий, способствующих наиболее полному освобождению энергии взрывного типа.

Разделение изотопов урана

Методы, при помощи которых предпринимались попытки получения обогащенного изотопом 235 урана, были чисто физическими: разработанные ранее способы физико-химического разделения более легких изотопов, которые (кроме дейтерия) к 1940 г. были уже полностью или частично отделены, оказались непригодными в данном случае из-за больших атомных масс и небольшой разницы между ними в соответствии с квантовыми факторами (см. главу десятую). Были применены три метода: диффузия паров соединений урана через пористую перегородку; тепловая диффузия соединений урана в жидкой фазе и метод, заимствованный из масс-спектрографии и основанный на различном отклонении в мощных магнитных полях отдельных положительных ионов с различной массой. На практике первый способ чаще всего использовали для предварительного обогащения; второй, менее экстенсивно разработанный, применяли на промежуточной стадии; окончательное отделение осуществляли третьим методом. Такой процесс представляет собой невиданную до сих пор в истории промышленности гигантскую комплексную техническую операцию, проведение которой в настоящее время коммерчески совершенно не оправдывает себя, если иметь, конечно, в виду использование полученного обогащенного урана в мирных целях, для разработки нового источника энергии.

Единственным известным соединением, пригодным для использования в диффузионном процессе, является гексафторид урана UF_6 — твердое вещество с температурой перехода в газообразное состояние при атмосферном давлении $56^\circ C$. Оно удобно, поскольку фтор состоит только из одного изотопа, хотя, с другой стороны, и обладает рядом нежелательных химических свойств: высокой химической активностью и неблагоприятными коррозионными характеристиками. Были ли преодолены каким-либо образом эти неудобства, или найдено другое, более подходящее соединение — остается неизвестным. В результате одного процесса диффузии относительное соотношение изотопов изменяется менее чем на 1%, и для достижения достаточно полного разделения требуется проведение тысяч последовательных процессов такого рода в соответствующем подготовленном цикле операций. Необходимое для этого количество электроэнергии огромно, и электростанция, построенная в Клинтоне для обеспечения таких операций, была снабжена невиданной до того по мощности паротурбинной установкой. По-видимому, столь огромное потребление энергии для разделения изотопов теоретически неизбежно. Один русский специалист оценил его как сравнимое с количеством энергии, выделяемой при делении получаемого изотопа уран-235. Даже разделение воздуха на составляющие его компоненты физическими методами теоретически потребовало бы затраты не столь уж малого количества энергии. А так как процесс диффузии не применялся до этого ни в одном из

известных ранее технических процессов, то всю технологию пришлось разрабатывать впервые, причем следует отметить, — может быть для наиболее сложного варианта разделения.

Второй процесс — жидкостная тепловая диффузия — был специально разработан для разделения изотопов после успешного применения подобного диффузионного процесса для газов, и, хотя в отношении затрат энергии он был в той же степени экстравагантным, что и предыдущий, его успешно осуществили, вероятно, как дополнительный к двум другим процессам, в промышленном масштабе в Клинтоне. Оба диффузионных процесса задерживают при прохождении рабочих циклов обогащения значительное количество урана, что сильно затягивает завершение цикла операций.

Электромагнитное разделение

Третий метод является прямой противоположностью первым двум почти во всех отношениях. Он дает относительно высокую степень обогащения за одну стадию, но лишь для очень малых количеств в одной установке. В самом начале для получения 1 мг изотопа требовались месяцы работы, и все же в течение примерно года обогащенный уран, срочно требовавшийся для получения необходимых экспериментальных данных, добывали именно таким способом. Первая установка такого рода была построена на основе магнита от масс-спектрографа с диаметром полюсов 92 см; она была названа *калютроном* (от сокращения «Калифорния Университи Сайклотрон»). Позже для работы в этой же области был временно приобретен магнит строившегося в то время циклотрона в Беркли массой 5000 т и диаметром полюсов 460 см. Выход изотопа постепенно увеличивался и стал значительным.

Установка для промышленного разделения изотопов, также построенная в Клинтоне, по своему конструкционному принципу представляла собой одно из самых парадоксальных сооружений. Она состояла из некоторого количества одинаковых лабораторных аппаратов, в каждом из которых использовался колоссальный электромагнит, и давала требуемый для проведения экспериментов выход простым сложением продукции всех аппаратов. Это не что иное, как применение метода, подразумевающего работу с каждым из атомов индивидуально, как с людьми, но только в массовом промышленном масштабе. Что это такое — нетрудно себе представить, если вспомнить, что в малейшей видимой невооруженным глазом крупинке урана больше атомов, чем всех живущих на Земле людей. Но даже с учетом всего этого описанные процессы представляют собой лишь половину всей технологии, при помощи которой в конце концов было получено концентрированное расщепляемое вещество в количестве, достаточном для изготовления трех бомб. О второй половине изысканий еще предстоит рассказать.

реакторе. На этом мы должны оставить обсуждение чисто научной чрезвычайно важной и интересной перспективы, связанной с продолжением периодической таблицы элементов на два места, к № 95, Америцию, и к № 96, Кюрию, — чтобы покончить с историей завершения военных изысканий, продуктом которых стала «томная» бомба.

Промышленные реакторы в Ханфорде были сооружены для того, чтобы получать плутоний, а не электричество. Задача была сформулирована как чрезвычайно важная и включала получение от каждой установки по несколько граммов плутония в сутки. Это количество приходилось на несколько тонн отработанного урана; тонна же, как известно, состоит из миллиона граммов. Масштабы производившейся в Ханфорде работы можно сравнить с мощностью большой гидроэлектростанции: при получении одного грамма плутония в сутки освобождалась тепловая энергия, эквивалентная 1000 квт. Количество воды, необходимое для охлаждения ханфордской системы установок, могло бы обеспечить водоснабжение крупного города.

Самым удивительным во всей второй половине изысканий было то, что все это гигантское предприятие было задумано и спланировано еще в тот момент, когда первый из существующих реакторов мощностью 200 вт только-только был приведен в действие. Излучение реактора исключает проведение в нем каких-либо ремонтных работ после его запуска. Для нормальной работы реактор должен быть полностью защищен со всех сторон тяжелыми бетонными и стальными щитами, воздухонепроницаемыми, насколько это возможно, чтобы предотвратить излучение нейтронов и утечку радиоактивных газов. Процесс загрузки и извлечения уранового топлива должен осуществляться целиком и полностью извне посредством дистанционного управления. Металлический уран отливают в виде цилиндрических стержней и «консервируют» в воздухонепроницаемых алюминиевых чехлах, предназначенных для защиты его от коррозионного воздействия водяного охлаждения. Стержни должны вводиться в реактор через горизонтальные цилиндрические каналы, которыми перфорирована кубическая активная зона, затем извлекаться с другой стороны и подвергаться переработке в соответствии с твердо определенным графиком всего процесса.

Инженерное проектирование установки по переработке топлива ставило еще более сложные технические проблемы. Установка находилась на две трети под землей. Она разделялась вдоль на отдельные ячейки и простиралась на 30 м. Операции по растворению урана и безопасному удалению чрезвычайно радиоактивных газов (изотопов иода, ксенона и криптона), отделению плутония от превосходящего его по количеству в несколько миллионов раз урана и потом от высокоактивных и очень опасных продуктов деления, насчитывающих до 20 элементов (причем отделения до такой степени чистоты, при которой работа с полученным плутонием

была бы относительно безопасной), должны были проводиться при одном и том же трудном условии: дистанционном управлении ими с точки, находящейся далеко за пределами реактора. В довершение всего весь этот комплекс работ должен был обеспечиваться реактором, построенным еще до того, как стало известно, какие методы химического отделения будут приняты, а сами методы были определены на основе химического анализа крупинки вещества, едва видимой невооруженным глазом и составляющей в тот момент все его мировые запасы. И что же: как мы знаем, проект был успешно осуществлен с самого начала и до самого конца! Вот уж поистине «смелость города берет»!

«Пробный» реактор, к этому времени построенный в Клинтоне, начал работу в 1944 г. и стал производить при расходе 1 т урана за трое суток к концу февраля этого года несколько граммов плутония. Его эффективность с начала 1944 г. повысилась до 80—90%.

«Отравление» уранового реактора

Тем не менее, несмотря на все успехи, при работе промышленных реакторов вскоре был обнаружен неожиданный и никак непредусмотренный эффект, который, по-видимому, намного усложнил разработанный процесс разделения и показал, что он менее практичен, чем надеялись. Этот эффект принято называть *отравлением*, вероятно по аналогии с использованием этого термина в химии, где он означает уничтожение или потерю каталитической активности по причинам, которые приписываются загрязнению катализатора следами обрабатываемого или участвующего в реакции вещества или веществ, получаемых из реагентов и действующих как «яды». Механизм такого загрязнения пока до конца непонят. В рассматриваемом случае его связывали с накоплением продуктов реакции, т. е. плутония и продуктов деления, которые, по-видимому, являются необыкновенно сильными поглотителями нейтронов. Их накопление постепенно стремится сократить количество нейтронов, при помощи которых в установке поддерживается реакция на заданном уровне. Согласно официальным источникам, этот эффект едва не приостановил работу реакторов в Ханфорде, «о чем впоследствии будут приведены более подробные данные» (никаких более подробных сведений, естественно, опубликовано не было).

По-видимому этим же эффектом объясняется очень краткий промежуток времени пребывания урана в реакторе — фактор, обуславливающий проведение сложного процесса переработки и очистки каждый раз для относительно ничтожного количества получаемого плутония. Поскольку в результате поглощения плутонием нейтронов происходит потеря последних, она, по-видимому, возме-

щается производством новых нейтронов, необходимых для поддержания реакции, т. е. за счет потери плутония. Этот эффект, несмотря на то что в иных условиях плутоний стабилен, должен в конце концов привести к тому, что плутоний прекращает накапливаться, и если его не удалить, его количество начнет уменьшаться. Что касается потерь, возникающих вследствие поглощения нейтронов продуктами деления, то этот эффект должен в случае достаточного их накопления останавливать работу реактора вообще.

Таков вкратце основной фактор, бросающий тень сомнения на предположение, что этот альтернативный метод отделения урана-235, в противоположность физическому, сможет обеспечить освобождение 99,3% атомной энергии изотопа 238, как это первоначально предполагалось. Нерешенность проблемы «отравления» является одним из самых важных факторов, препятствующих правильной оценке того, какую роль может сыграть атомная энергия в будущей истории человечества.

США имели всего три бомбы

История того, как была достигнута поставленная военная цель, не нуждается в пересказе. Упомянем, что к середине июля 1945 г. полученного количества расщепляющегося материала уже было достаточно для того, чтобы произвести секретные испытания оружия в Лос-Аламосе, где в то время располагались лаборатории, занимавшиеся связанными с изготовлением «томной» бомбы изысканиями. За испытанием 6 августа последовало разрушение Хиросимы, а несколько позже — и большей части Нагасаки: вместе с городами было уничтожено и их население; оно погибло в результате воздействия световой вспышки, ударной волны и смертоносного излучения, вызывавшего смерть от анемии и подобных ей лучевых болезней.

В США считали, что первая бомба была начинена изотопом уран-235, а вторая плутонием: со стороны властей эта точка зрения не была ни подтверждена, ни опровергнута. Совсем недавно, в январе 1947 г., бывший министр обороны Генри Стимсон сообщил, что взорванные три бомбы были в то время единственными имевшимися: тем самым он подтвердил то, о чем подозревали многие из ученых, понимавших, каких усилий стоит разделение изотопов урана. Их догадка оказалась правильной.

Периодический закон в новом освещении

Не углубляясь в многочисленные сложности, теперь можно описать в общих чертах наиболее важные научные выводы, следующие из продолжения таблицы химических элементов за преде-

лы ее естественной границы — элемента урана. Это продолжение представляет для автора книги особый интерес: он всегда считал, что последовательность естественных элементов уже продвинулась на три места дальше (т. е. до радия — № 88 и актиния — № 89), чем это следовало из предшествовавшего хода эволюции. Ведь в предыдущем периоде с места № 57 (лантана), химического аналога актиния (№ 89), начинается серия из 15 (с одним незанятым местом) последовательных элементов, известных под названием *редкоземельные элементы* и обладающих в основном подобными химическими характеристиками: трехвалентностью в основных соединениях и практической химической неотделимостью, наиболее высокой до открытия изотопов.

По-видимому, в последнем периоде таблицы повторяется то же самое, за исключением того, что вместо начала с № 89 (актиния) серия идет от элемента, расположенного на три места дальше, от № 92 (урана), и продолжается последующими элементами № 93—96 — нептунием, плутонием, америцием и кюрием — близкими копиями урана, хотя, насколько это сейчас известно, менее похожими на него, чем редкоземельные друг на друга в начале своей серии.

Трансурановые элементы образуют много рядов солей с тенденцией, по мере удаления от начала серии, к упрочению трехвалентного состояния: последний известный из них — кюрий дает лишь трехвалентные стабильные соли.

Одним из наиболее важных научных следствий нового метода производства нейтронов в урановом реакторе является возможность продолжения ряда элементов за пределы так называемых естественных: в далекой перспективе она может, в конце концов, приобрести и практическое значение. Радиохимик, высказавший это предположение, Г. Т. Сиборг работает в настоящее время в Чикагском университете. Автор книги приносит также свои извинения большому кругу ученых, сделавших крупные открытия в ходе засекреченных изысканий, описанных в этой главе, за невозможность упоминания их имен, известных, возможно, лишь их непосредственным коллегам.

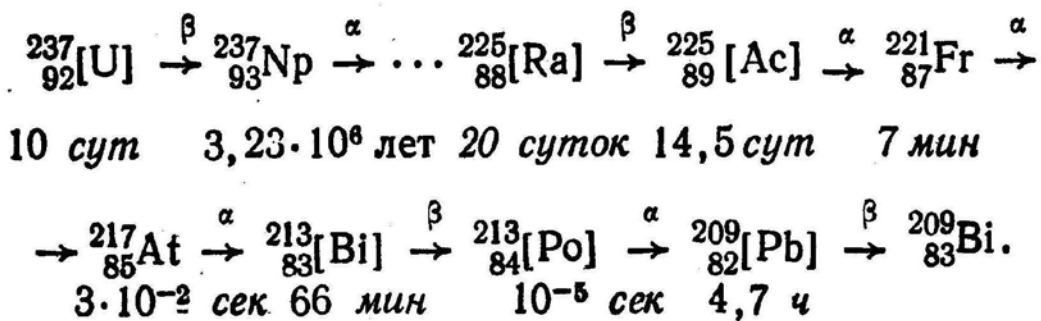
Сейчас мы знаем, что помимо плутония в урановом реакторе образуется также небольшое количество стабильного изотопа нептуния. Два других элемента получаются в результате бомбардировки урана α -частицами с энергией 40 Мэв в самом мощном циклотроне в Беркли, магнит которого имеет полюса диаметром 150 см и весит 220 т. Сиборг предсказывает, что когда еще больший циклотрон с 450-см полюсами (его постройку прервала война) будет приведен в действие (ожидается, что этот циклотрон сможет генерировать частицы энергией до 400 Мэв), возникнет возможность деления атомов более легких и искусственного получения новых элементов, что откроет совершенно новую главу в науке об атоме.

Нептуний

Кроме радиоактивного изотопа уран-239, быстро превращающегося через нептуний в плутоний (оба изотопа имеют одно и то же массовое число), в урановом реакторе образуется также еще один радиоактивный изотоп урана с массовым числом 237 по типу превращения, довольно нередкому у тяжелых элементов и происходящему под действием нейтронов с достаточно высокой энергией. Такое превращение подразумевает итоговую потерю, а не приобретение одного нейтрона ядром, подвергшимся бомбардировке. Нептуний-237, получаемый из этого изотопа урана в результате довольно короткого β -распада, является сравнительно стабильным элементом с периодом полураспада свыше двух миллионов лет; сам же он излучает α -частицы. Следовательно, нептуний, как же как и плутоний, можно получать в макроколичествах, чего нельзя сказать о других двух элементах — америции и кюрии.

Новый изотоп нептуния, обладающий продолжительным сроком жизни (в современном обозначении ${}_{93}^{237}\text{Np}$), и порождающий его ${}_{90}^{237}\text{U}$ дают начало радиоактивному ряду нового типа, до этого неизвестному и названному рядом $4n+1$, где n — целое число. Как и во всех радиоактивных распадах, при этом распаде излучаются только α - и β -частицы, причем первая понижает массовое число на 4, а вторая оставляет его неизменным. Эта формула представляет все члены любой такой серии.

Среди известных радиоактивных рядов ториевый ряд является рядом $4n$, ряд урана $4n+2$, ряд актиния $4n+3$, в то время как ряд $4n+1$ неизвестен, — факт, уже давно представляющий немалый теоретический интерес. Согласно диаграмме этих четырех рядов, подготовленной Ф. Панетом и продемонстрированной недавно на выставке в Музее науки (Южный Кенсингтон, 1947) в связи с празднованием столетия Химического общества, из ${}_{93}^{237}\text{Np}$ после превращений, состоящих из трех α - и одного β -распадов, соответствующим трем неизвестным до сих пор членам, остаток этого искусственного ряда $4n+1$ сейчас известен. Он включает в себя восемь членов, из которых последний является обычным стабильным висмутом, а остальные — изотопами элементов от радия до свинца. Этот новый ряд проходит через свободные места с атомными номерами 87 и 85, которые не затрагивались тремя другими рядами; соответствующим элементам были присвоены названия *франций* и *астат*. Серия $4n+1$ приводится ниже. Квадратные скобки указывают на то, что эти члены являются новыми изотопами известных элементов, имеющих данные символические обозначения; символы Fg и At используются для обозначения № 87 и 85; в нижнем ряду дано среднее время жизни членов ряда:



Тот факт, что некоторые детали этого чрезвычайно интересного искусственного ряда $4n+1$ были выведены путем умозаключений и еще не подтверждены экспериментально, не вызывает сомнений. Несомненно также и другое — эта формула приводит в довольно гармоничное целое колоссальный ряд фундаментальных открытий в физике, полностью преобразивших наши представления об атоме. Этим открытиям, не предвещая и сотой доли появившихся затем перспектив, положило начало одно простое наблюдение Анри Беккереля, сделанное им в 1896 г. Он обнаружил, что определенные соли урана, флюоресценцию которых изучали еще его отец и дед, непонятным образом засвечивали фотографическую пластинку, находящуюся в светонепроницаемом чехле между двумя плоскими кусками металла. Самым удивительным было то, что соли урана находились вне чехла, а сама пластинка никогда до этого не подвергалась воздействию света!

Глава тринадцатая. БУДУЩЕЕ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ

Предварительные итоги

Вот мы и пришли к концу рассказа об истории освоения атомной энергии, — впрочем, конечно, лишь настолько, насколько сейчас можно судить о ней по печатным источникам и реальным вкладам в фундаментальное естествознание. Нам бы хотелось, чтобы эта книга помогла широкому кругу читателей проследить происхождение многочисленных новых идей и открытий в ядерной физике, ибо мы уверены, что современное состояние этой сложной науки нельзя понять, не зная ее истории. Вместе с тем мы живем теперь в столь новом физическом мире, что всякие аналогии (за исключением лишь самых общих) являются опасными советчиками.

Тем не менее автору кажется необходимым выразить собственное критическое мнение как в отношении развития теории радиоактивного распада (и тесно с ней связанного освоения атомной энергии человеческим гением), так и в отношении того, какой длинный путь, видимо, должен еще быть пройден, прежде чем станет возможным экономически выгодное применение атомной энергии в мирных целях.

Очевидно, пора рассмотреть чрезвычайно важную для общественной жизни проблему, связанную с новыми достижениями в ядерной физике, — проблему ответственности науки в целом и каждого отдельного ученого перед всем человечеством. Естественно, здесь автор хотел бы выразить собственные взгляды на эту проблему. Однако не вина автора, что его взгляды в этой области остаются неизвестными, так как со времени первой мировой войны, т. е. в течение последних 25 лет, он практически был единственный, кто уделял серьезное внимание процессу дегуманизации науки и, насколько это было возможно в те дни для человека, никем не поддерживаемого, делал все от него зависящее, чтобы его взгляды стали известны широкой общественности. Впрочем эти взгляды, как и предложенные тогда рецепты, остаются неизменными.

Как известно, легко нажитый капитал используется прежде всего с корыстными целями и поэтому пагубно влияет на всю систему распределения товаров. Именно здесь, а отнюдь не в расширившихся возможностях производства и прогрессе в науке автор видит корень зла. Недаром крылатая фраза о том, что современный век науки — это «нищета среди изобилия», является весьма точной характеристикой нашей эпохи. Однако общество никогда не стремилось понять причины создавшейся ситуации. Ныне каждого волнует лишь одно: как бы не отстать от большинства, не оказаться белой вороной. Однако фактически мнение большинства едва ли оказывает хоть какое-нибудь влияние на ход дальнейших событий, — теперь еще в меньшей степени, чем раньше.

В этой заключительной главе автор, конечно, говорит лишь от своего лица, совершенно пренебрегая официальной точкой зрения. Что касается военного аспекта проблемы, то здесь автор исходит лишь из опубликованных материалов. Условия секретности, навязанные тем, кто непосредственно отвечает за успех ведущейся в военных целях работы, препятствуют объединению интеллектуальных усилий ученых. Но даже если бы такое общее мнение ученых и сформировалось, оно не имело бы особой ценности. Дело в том, что атомная энергия, кажется, становится еще одной политической приманкой, которая позволяет народам Земли питать совершенно необоснованные надежды.

По мнению автора, пока еще рано делать главные выводы. Имеющиеся достижения не позволяют думать, что чисто научная проблема уже настолько решена, чтобы стать делом прошлого. Разрушать всегда легче, чем сооружать. Это положение особенно справедливо для недавно завоеванных наукой областей знания. Теперь всем очевидно, что если не предотвратить применение атомного оружия, то оно погубит все то, что мы зовем цивилизацией. Ведь даже если кто-то и останется в живых, то это будут жалкие

группки людей, обреченных на плачевное существование, поддерживаемое, по-видимому, примитивным земледелием. Очевидно, что в таком случае на смену науке пришел бы примитивизм. И все же нет уверенности, что современный уровень знания обеспечивает нашему типу цивилизации быстрое и свободное развитие. Пока наши знания не перешагнули грани чисто научных поисков, и мы не можем надеяться, что все наши прогнозы (в области техники) оправдаются.

Естественные источники урана

Демонстрация страшной разрушительной силы атома потрясла всех и вызвала бурю жарких споров. Это свидетельствовало о том, что в общем плане проблема создания бомбы была решена, хотя фактически был реализован лишь ее частный случай, а именно использовался лишь изотоп урана уран-235, содержание которого в естественной смеси его изотопов составляет менее 1%. Уран, в процессе распада которого образуется радий, сам по себе, как известно, существует в достаточных концентрациях лишь в весьма редких месторождениях, хотя их поиски на земном шаре ведутся уже 40—50 лет.

Практически весь полученный до сих пор радий был добыт из четырех месторождений. Во-первых, из старого серебряного рудника в Яхимове (Чехословакия); во-вторых, из долины Парадокс-Вэлли (шт. Колорадо) и из других американских залежей карнотита с низким содержанием урана, но зато легко разрабатываемых; далее, из богатых залежей многих сотен тонн урановой смолки в Катанге (Бельгийское Конго)* и, наконец, из еще более богатых рудников в районе Большого Медвежьего озера (за Полярным кругом, в Канаде). Даже по своему географическому распределению уран кажется исключительным, так как никакой другой тяжелый элемент, кроме свинца, не встречается в столь малом числе рудных месторождений. Впрочем, в какой-то мере это относится и к торию, но здесь подобное явление обусловлено действием волн и ветра, концентрирующих бесконечно малое количество более тяжелого монацитового песка, который встречается во многих горных породах, вдоль некоторых морских побережий или в районах, когда-то занимаемых морем.

Зачем впустую растрачивать уран?

Конечно, уран вооружил науку новым могучим средством исследования. И автору кажется, что в ближайшие несколько лет этот уникальный, а возможно и незаменимый, элемент должен слу-

* Ныне пров. Шаба, Заир. — Прим. ред.

жить в первую очередь научным целям. Именно такого применения достойны его уникальные свойства. Достижению иных целей могут служить иные средства. Что касается поспешных предложений использовать уран на самолетах и даже кораблях, то смертоносный характер испускаемого им излучения делает все такие попытки крайне опасными*.

В мае 1947 г. было обнаружено, что корабли, использованные десятью месяцами ранее в качестве мишеней на полигонах в районе Бикини, все еще опасны для жизни из-за наведенной радиоактивности. Единственная реальная защита против смертоносного излучения — соблюдение закона квадрата расстояния, общего для всех типов излучения. Примером завода, который, кажется, может действовать, не угрожая жизни людей, может служить завод в Ханфорде (США): он максимально удален от населенных пунктов и полностью или частично расположен под землей.

Интенсивность и количество в энергетике

А теперь пора приступить к более четким формулировкам. У нас пока нет оснований полагать, что когда-нибудь мы сможем управлять интенсивностью индивидуального атомного распада или энергией деления. Под контролем здесь следует понимать управление числом атомов, которые претерпевают распад в единицу времени. В каждом акте деления выделяется огромное количество энергии — от 100 до 200 Мэв (для сравнения укажем, что при распаде радия выделяется лишь от 1 до 10 Мэв). Вероятно, по своим физическим и биологическим свойствам излучение, возникающее при делении атомов урана, еще опаснее для живого организма, чем все известное раньше.

Дело в том, что подобного рода скачок в развитии энергетике открывает перед нами путь к новым техническим достижениям и любая попытка принизить его значение является шагом в ложном направлении. По-видимому, достаточно близкие аналоги дают обычные взрывчатые вещества. В мощных современных взрывчатых веществах, таких, как динамит и тринитротолуол, взрывной способностью обладают отдельные молекулы, а не их смесь, разбавляемая до нужной концентрации, как поступают с порохом и взрывными смесями для газовых двигателей. Взрывчатые вещества можно использовать в целях разрушения, но нельзя использовать в целях производства энергии.

Итак, постфактум, цели разрушения, которым атомная бомба уже служила, кажутся ее очевидным естественным применением. Атомную энергию можно было бы с успехом использовать в мир-

* Ныне, благодаря успехам науки и техники, такие реакторы сконструированы для транспортных целей. — *Прим. ред.*

ных целях, например, для решения практических задач в горном деле, которые нельзя решить иным, невзрывным способом; для прокладки более коротких коммуникаций между океанами; для орошения обширных и далеко отстоящих от водных ресурсов районов земного шара и т. д. По этой причине кажутся малопродуманными выдвинутые недавно Комиссией по атомной энергии предложения «изменить естественные свойства» делящегося материала до возможного использования, чтобы сделать нерациональным восстановление его взрывных свойств и свести его применение только к мирным целям, ибо тогда атомное топливо будет малопригодно и для технических целей вообще.

Пока же промышленные атомные установки малоэкономичны. Так, атомный комплекс в Ханфорде тратит слишком большое количество энергии впустую (для нее можно было бы найти лучшее применение, чем нагревание воды в реке Колумбия). Впрочем, это же относится (может быть, не в таких катастрофических размерах) ко всем крупным заводам, работающим на обычном топливе — угле и нефти. Эти заводы по сходным соображениям построены на больших реках, и значительная часть энергии теряется даром. В обоих случаях это никак не используемое тепло могло бы найти применение в интенсивном огородничестве для обогрева парников, если бы в конце прошлого века люди не были так преступно расточительны с запасами топлива. Естественно, если бы мировые ресурсы традиционного топлива истощились до того, как их окончательно вытеснили новые источники энергии, то не могло бы быть и речи о более или менее частичной замене старого новым.

Бесспорно, пока речь идет о чисто технических сложностях, инженерам можно доверить подготовку уранового реактора к работе при более высокой температуре, чтобы он служил мощным источником энергии, а не только «расточителем» тепла. Но нужно помнить, что радиоизлучение губительно действует не только на человеческий организм, но и на многие обычные технические материалы, и в современной ситуации осуществить это предложение пока абсолютно нерентабельно (это может напомнить пальбу из пушек по воробьям), хотя впоследствии это может и не оказаться химерой.

Нераскрытые возможности

Есть основания полагать, что должен быть пройден долгий путь, прежде чем новая область сможет дать что-нибудь выгодное в экономическом отношении. Как бы ни были трудны, а в какой-то мере и героичны эти первые успехи, дальнейший прогресс отстывает по времени тем дальше, чем больше в отдельных успехах демонстрируются чудеса филигранного мастерства экспериментатора и гигантские возможности энергии и продуманное до тонкостей

приборное обеспечение. Обычно в любом значительном техническом скачке вперед наибольшее значение имеет именно первый шаг, но в данном случае мы, кажется, наблюдаем что-то похожее на снятие сливок с молока. Явление отравления реактора в соединении с уже отмеченным мистическим указанием на «изменение естественных свойств» делящихся материалов только подтверждают это наблюдение. Но основная причина состоит в том, что в урановых реакторах активный изотоп уран-235 непрерывно выгорает без всякого замещения его новыми порциями. Критические условия, при которых работают нынешние реакторы, чрезвычайно жесткие (к тому же доля урана-235 составляет лишь 0,7% природной смеси) даже при использовании свежих топливных элементов с ураном и отсутствии посторонних поглотителей нейтронов, которые все-таки присутствуют (например, вода охлаждающей системы). Если бы охлаждающее устройство было достаточно сложным, чтобы обеспечить надежность работы реактора при высокой температуре, то это лишь приблизило бы систему в целом к той точке, когда поглощение нейтронов прекратило бы работу реактора даже при наличии неиспользованного урана в его топливных элементах. Поэтому все меньшая и меньшая часть и без того малой пропорции (0,7%) изотопа урана-235 станет доступна для получения атомной энергии, — и по этой причине, и по причине медленного выгорания его в процессе работы реактора.

Здесь мы подходим к вопросу, на который полученные пока данные не дают ответа, а именно: при условии строго «мирных» целей насколько способен плутоний, отделенный от «ядовитых» продуктов деления и вновь помещенный в реактор, компенсировать выгорание урана-235? Даже если на каждый атом урана-235 образуется более одного атома плутония, то первоначальная надежда, что этот метод может позволить использовать внутриатомную энергию урана-238, составляющего 99,3% в естественной смеси изотопов, становится возможной лишь теоретически, но не практически.

Кажется, это является существенным пробелом в наших знаниях. И не удивительно, если в ближайшее время именно здесь развернутся основные исследования. Но существующие пока данные, по-видимому, ставят под вопрос пригодность урана-238. Если бы он был доступен, тогда альтернативное использование очищенного плутония для атомных бомб, вместо его повторного использования в атомных реакторах, все еще оставалось бы непредусмотренным. Дело в том, что официальный отчет США под названием «Атомная энергия» в заключительной части ставит перед учеными задачу помочь своим согражданам выработать мудрые политические взгляды относительно применения атомной энергии. При написании заключительной главы данной книги автор опирался именно на эту публикацию. Однако в этом отчете весьма туманно освещена проблема так называемого «отравления реактора». Намеки же на «лишенный своих природных свойств» уран еще бо-

лее запутали дело. Как говорилось выше, всякий такой процесс дезактивации урана, даже при эффективности, дает материал, совершенно непригодный для какой-либо достойной цели.

Новые виды излучений и мутации

И наконец, надо упомянуть о других возможных влияниях на наше существование, связанных с новым видом излучения, оказавшимся в распоряжении человечества (хотя автор напоминает читателю, что он в этих вопросах не специалист).

Может быть, именно в этих новых видах излучения следует искать ключ к нерешенным проблемам эволюции. Не так давно Х. Томас выдвинул, как тогда казалось, довольно утопическую идею, что мутации у растений и происхождение новых видов жизни могли быть вызваны космическим излучением. Подтверждение этого в основном находили в распределении растительных видов. На высоких плато встречается большее разнообразие растительности, чем на уровне моря; например, существует 330 видов горных примул и только 19 видов — равнинных. В Коста-Рике, узкой зоне, половина которой возвышается на 900 м над уровнем моря, растет столько же видов хвощей, как и во всей юго-восточной части США. Сельскохозяйственные злаковые культуры мира произошли из 7—8 горных мест, расположенных в географическом поясе в пределах 40° от экватора. Раньше все это могли объяснить влиянием ультрафиолетового излучения, наряду с космическим. Теперь, однако, считают, что рентгеновское излучение или, согласно последней точке зрения, нейтроны способны производить мутации в делящихся клетках, и одна из Нобелевских премий за 1946 г. присуждена американскому ученому доктору Дж. Мюллеру за работу в этой области.

Благодаря американскому журналисту Джону Херси мы узнали, что вскоре после атомного взрыва в Хиросиме там так быстро распространилась цветущая растительность, что она буквально заполнила все выжженное взрывом пространство. Объектом серьезного медицинского исследования должны стать различные животные, подвергнутые действию излучения при взрывах атомных бомб во время серии испытаний на атолле Бикини, а также жертвы бомбардировок Хиросимы и Нагасаки. Хотя, согласно сообщениям, двое ведущих ученых, занятых на последних стадиях сборки атомных бомб, погибли в результате полученных ими суммарных доз излучения, до сих пор ничего не известно о каких-либо биологических последствиях воздействия этих процессов на весь обслуживающий персонал атомных заводов.

С самого начала для этих ученых были предприняты самые тщательные меры предосторожности против излучения и для обнаружения начальных симптомов болезни с целью сохранить их здо-

ровье. Пока слишком рано высказывать суждение, действительно ли слабое излучение может как-то необычно влиять на здоровье, или такое влияние оказывает недавно достигнутый уровень энерговооруженности развитых стран. Но при любой попытке предвидеть возможные последствия с достаточной уверенностью можно считать уже известным биологическое проявление облучения.

Правильное использование новых знаний

Лучшая надежда на будущее атомной энергии связана скорее с мудрым использованием накопленных чисто научных знаний прежде всего для того, чтобы расширить эту область и получить новые данные, а не растрачивать ценный материал и усилия на незрелые технологические проекты с очень неясными перспективами. Урановый реактор остается пока единственным мощным источником нейтронов, нехватка которых была ранее серьезнейшим препятствием на пути к научному прогрессу. В то же время новая теория ядра (скорее напоминающего жидкую каплю, чем пространственную структуру, подобную молекулярной) позволяет ожидать, как показал Г. Сиборг, что посредством дальнейшей разработки оригинальных методов достижения более высоких уровней энергии могут открыться новые и неожиданные возможности подхода к данной проблеме. Они могут оказаться менее ограниченными в своей применимости, чем все ранее использованные.

Совершенно особняком от рассматриваемой проблемы охраны мира (если мир нужно спасти от разрушения и сделать невозможным использование атомной бомбы в качестве военного оружия) стоит международный научный контроль над всеми исследованиями в этой области, ибо только тогда могут быть экономически оправданы принимающие огромные размеры усилия и расходы. Но еще более важной причиной является то, что требуется значительно более сложная техника, которая слишком трудна для тех, кто надеется все изучить самостоятельно с самого начала; таким образом, будет доступен предел современных знаний, поэтому эта деятельность должна протекать под непрерывным наблюдением профессиональных экспертов и сделаться доступной для ученых всего мира в соответствии с их специальными запросами.

Рабочий пример международной науки

До сих пор в этой области имеется масса примеров того, как невежды руководят специалистами, именно поэтому теперь мир, как никогда, находится в опасности. Думается, нелишне было бы показать читателю, что автор имеет в виду, говоря о международном

контроле и сотрудничестве. Дело в том, что с начала XX в. был один-единственный хороший пример сотрудничества в научных целях, ставший возможным благодаря умелому претворению в жизнь благих намерений в деле подготовки лабораторного персонала на более высоком профессиональном уровне — для повышения эффективности их работы. Речь идет о всемирно известной криогенной лаборатории Лейденского университета в Голландии, куда собрались исследователи со всего мира, желающие изучить явления, происходящие при низкой температуре. Конечно, каждый из приехавших на стажировку был мастером в своей области, но в данной лаборатории он постигал методы достижения низкой температуры с помощью специально подготовленных операторов.

Хотелось бы, чтобы то же самое произошло и с гигантским циклотроном в университете Беркли (шт. Калифорния): когда он будет усовершенствован и заработает, он должен стать доступным для должным образом подготовленных исследователей из всех стран. Это будет гораздо лучше, чем если бы каждая страна пыталась самостоятельно достичь того, что было уже сделано пионерами в данной области.

Наука и общество

Из сказанного выше вытекает более общая проблема, а именно: как относится научный работник к обществу, сознает ли он всю ответственность за результаты своей работы, которые должны быть использованы во благо, а не во зло человеку. Проблема социальной ответственности ученого не была затронута автором в других главах; казалось, она оставалась за пределами данной книги. Однако любому современному ученому теперь уже недопустимо обходить стороной столь насущные вопросы, хотя еще не так давно их замалчивание могло представляться оправданным.

Дело в том, что до недавнего времени автор принадлежал к единственной профессиональной группе, мозг которой общество может использовать по своему усмотрению. От нас, ученых, ожидали, что мы будем поступать так, как приказано, подобно любому винтику в недрах военного или экономического механизма. Если раньше люди верили, что профессиональный врач властен над жизнью и смертью одного человека, то ныне люди наделили такой же властью ученого-исследователя — но уже над целым миром. Но врач в своих действиях руководствуется нормами профессиональной этики; кроме того, от него требуют клятвы Гиппократова, которую он должен принять, прежде чем ему позволят заняться практикой, — все это служит гарантией того, что его знания не будут использованы во вред людям. Как видим, до последней войны эти требования гарантировали благополучному обществу, по крайней мере, сравнительное спокойствие.

Достоинно упоминания, что сэр Генри Дэйл, бывший президент Лондонского Королевского общества, профессиональный медик, своим недавним посланием в Вашингтон внес существенный вклад в дело мира. Он предложил университетам разных стран объединиться и принять международное соглашение, запрещающее вести научную работу под покровом военной секретности. В то же время наш новый президент сэр Роберт Робинсон, химик-органик, чьи исследования лежат на границе с биохимией, в своем первом годовом послании к членам Королевского общества одобрил одно из немногих оставшихся еще прав английских университетов: исключить из своих внеучебных контрактов те пункты, которые ограничивают свободную публикацию научных результатов. Может быть, никто другой не придавал бы большого значения этому вопросу, однако сэр Роберт Робинсон справедливо указал, что нет четкого различия между миром и войной и что нелогично осуждать ученых в мирное время за то, за что их так превозносили во время войны. Он предложил ученым объявить вне закона все формы «тотальной войны»: бомбардировку городов с воздуха, химическую войну, биологическую войну, применение атомных бомб и любых других видов оружия массового уничтожения, которые могут быть изобретены в будущем. Однако еще у всех свежи воспоминания о том, что ученые не сделали ни малейшей попытки к запрещению этих видов оружия во время минувшей войны, и никто не ожидает серьезно ни от них, ни от кого-либо другого большей стойкости духа в случае возникновения новой войны.

Полное уничтожение войны

Хотя ученые США первыми несут ответственность за научные работы, приведшие к созданию атомной бомбы, они абсолютно единодушны в осуждении не только самой «тотальной войны» (сторонники которой обрекают тем самым человечество на полное уничтожение), нет, они стоят за «тотальное уничтожение войны», видя в этом единственную логическую предпосылку выживания человечества. Бесспорно, в этом они идут рука об руку со всем человечеством, стремящимся к миру. Попытка спрятаться от данной истины, старой как мир, за ширму бессмысленных фраз, конечно, никого не утешит. Это всего лишь последняя попытка слепого быть поводырем слепого же.

По мнению автора, до тех пор, пока не будет существовать международный форум авторитетов в области науки (как это предложил сэр Генри Дэйл), достаточно сильный, чтобы заставить ученых, как, например, врачей, подчиняться кодексу этики, разработанному для их защиты и руководства, и принять общую клятву в том, что они никогда не будут способствовать своими исследованиями войне (конечно, эту клятву они должны принять прежде,

чем им поручат заниматься научными исследованиями, пока не найдется власть, достаточно сильная, чтобы запретить это и изменить условия работы ученого, что особенно касается случая использования более дорогих материалов и опасной техники), — до тех пор для мира во всем мире практически не будет надежд.

Наука, культура, философия и государство

Нам кажется, что ближайшей целью в современных условиях является создание такого комитета ученых, который пользовался бы международным авторитетом и мог бы, благодаря этому, направлять всю деятельность науки. В древней цивилизации Египта наука была привилегией правящей верхушки, и только особы царской крови имели право ею заниматься. В Древней Греции (по крайней мере, в ранний период ее истории, т. е. до того, как Платон и Аристотель ввели иную традицию, просуществовавшую целых два тысячелетия) наука была неотделимой частью культуры и философского знания и, как часть единого целого, служила познанию человека. За четыре века последовательных открытий естественных законов Вселенной сделано ничтожно мало для прежнего воссоединения науки и философии.

Действительно, нельзя не противопоставлять земной здравый смысл дохристианской эры с его религиозным восприятием природы и чувством инстинктивного преклонения перед ее грозными силами пассивному и одностороннему взгляду нынешних религиозных сектантов на возможность «конца света», теперь так остро волнующую все мыслящее человечество. Церковные деятели хотя и выдвигают девиз «нужно сначала решить главные проблемы», на практике обращаются к этим острым проблемам лишь в последнюю очередь. Это должно предостеречь ученого-физика, пытающегося уйти от относительной конкретности его собственного материального мира. Ведь на самом деле призывы, кажущиеся результатом мудрого и глубокого знания, часто всего лишь следствие упрямой решимости напуганного человеческого ума перевернуть мир фактов и объективной реальности, назвать черное белым и уйти от раздражающих вопросов в собственный мир фантазий и иллюзий.

Во время шести страшных лет второй мировой войны (когда еще не было атомной бомбы, а оружие массового поражения доставлялось авиацией) уже стало очевидно, как огромен масштаб разрушений по сравнению с ничтожно низкими темпами восстановления. Тем более странно, что эта война, как кажется, лишь способствовала распространению ложного мнения, что якобы этот могущественный потенциал мог бы преобразовать весь мир, если его направить в истинное русло. На самом деле эта точка зрения чревата для мира новыми несчастьями, и, пока не поздно, с нею следует решительно бороться, даже если и знать, что никогда не

грянет новая война. Мир, каким он предстает перед нами, уже столкнулся с истощением ресурсов — как топливных, так и пищевых. Прошлый век мог бы служить итогом всего тысячелетия, но этой возможности нас недемократично лишили, а все остальное — от первого свистка парового двигателя и до мошеннического распределения нечестно нажитых денег и других трюков правительств (на уровне карточных шулеров!) — необратимо вело к войнам и революциям. Теперь, кажется, все понимают, что именно этим неприглядным действиям правительств народы мира обязаны жестокими последствиями.

Как знает каждый ученый, людей провести легко, но природу обмануть невозможно. Поэтому для того, чтобы защитить ученых от растрачивания своих способностей и талантов на изобретение и усовершенствование средств разрушения в военных целях, в не меньшей мере необходимо, чтобы моралисты и церковные деятели переосмыслили понятие истины так, как ее осознавали древние греки и люди науки, применяя ее не только к мистическим и трансцендентальным сферам, но и к миру физических величин. Ведь в наши дни наказание за оскорбление божества мирового благополучия — это гораздо более всеобъемлющая катастрофа, чем все те муки ада, которые раньше обещали грешникам за семь смертных грехов. Если этика и религия собираются не препятствовать делу усовершенствования мира, а участвовать по мере своих возможностей в этом процессе, наряду с усилиями экономистов и физиков, то в таком случае им предстоит многое перенять у людей науки, в частности научиться уважать законы природы и следовать им, а не рассматривать эти законы как своих врагов. Им следовало бы также серьезно задуматься над тем, действительно ли их собственные занятия столь недостижимо значимы по сравнению с более мирскими и «низменными» принципами энергии и вещества, благодаря которым люди живут, двигаются и вообще существуют. Как удачно выразился один известный немецкий химик: «Без фосфора нет мысли!»

ХРОНОЛОГИЯ ВАЖНЕЙШИХ ОТКРЫТИЙ В УЧЕНИИ О РАДИОАКТИВНОСТИ

(Составлена Д. Н. Трифионовым, А. Н. Кривомазовым)

- 1896 г., 1 марта — А. Беккерель (во Франции) обнаружил новый тип излучения, испускаемого урановыми солями. Констатация этого факта традиционно рассматривается как открытие явления радиоактивности
- 1896 г., 18 мая — А. Беккерель доказал, что излучение чистого металлического урана значительно интенсивнее излучения урановых солей
- 1897 г., 1 марта — А. Беккерель отметил способность излучения урана разряжать в воздухе наэлектризованные тела, независимо от их потенциала и знака заряда
- 1897 г., 12 апреля — А. Беккерель показал, что активность урановых препаратов практически не уменьшилась за год
- 1897 г. — Э. Вихерт (в Германии) и Дж. Томсон (в Англии) независимо друг от друга открыли электрон
- 1897 г. — Ч. Вильсон (в Англии) изобрел «счетчик пылинок» (так называемая ионизационная камера Вильсона) — важнейший прибор экспериментальной атомной и ядерной физики
- 1898 г. — Г. Шмидт (в Германии) проверил большое число элементов и их соединений и показал, что, помимо урана, радиоактивностью обладает торий и его соединения
- 1898 г. — М. Кюри (во Франции) независимо от Шмидта обнаружила радиоактивность тория и по высокой активности урановых минералов сделала вывод о возможном наличии в них неизвестных радиоактивных элементов
- 1898 г., 18 июля — П. и М. Кюри (во Франции) заявили об открытии полония
- 1898 г., 26 декабря — П. и М. Кюри и Ж. Бемон (во Франции) сообщили об открытии радия
- 1899 г., январь — Э. Резерфорд (в Канаде) обнаружил неоднородность излучения урана: легко поглощаемую часть излучения он назвал α -лучами, менее поглощаемую — β -лучами
- 1899 г. — А. Дебьерн (во Франции), проверяя гипотезу М. Кюри о наличии в урановых минералах новых радиоактивных элементов, выделил смесь высокоактивных радиоэлементов и назвал эту смесь актинием
- 1899 г. — С. Мейер и Э. Швейдлер, а также независимо Ф. Гизель (в Германии) показали способность радиоактивного излучения отклоняться в магнитном поле
- 1900 г. — П. Вийар (во Франции) открыл электромагнитное излучение радиоактивного происхождения — так называемые γ -лучи

- 1900 г. — В. Крукс (в Англии) химическим способом выделил радиоэлемент уран-Х
- 1900 г. — Э. Резерфорд (в Канаде) открыл газообразный радиоэлемент — эманацию тория. Описывая свойства эманации, Резерфорд ввел понятие периода полураспада
- 1900 г. — Э. Дорн (в Германии) открыл эманацию радия
- 1901 г. — К. Гоффман и Ф. Гизель (в Германии) независимо открыли радиоэлемент, названный радиосвинцом (радий-D)
- 1902 г. — М. Кюри (во Франции) определила атомную массу радия равной 225
- 1902 г., сентябрь — Э. Резерфорд и Ф. Содди (в Канаде) открыли торий-Х; они обнаружили, что скорость распада и накопления этого радиоэлемента в урановых минералах одинакова
- 1902 г., ноябрь — Э. Резерфорд и Ф. Содди показали, что эманация радия и эманация тория — инертные газы
- 1902 г. — Ф. Гизель (в Германии) выделил «эманий»; позднее было установлено, что Гизель выделил сравнительно чистый радиоэлемент актиний
- 1903 г., май — Э. Резерфорд и Ф. Содди (в Канаде) сформулировали основы теории радиоактивного распада. Они объединили в первые цепочки распада свыше 10 радиоэлементов
- 1903 г. — А. Дебьерн (во Франции) наблюдал эманацию актиния и радиоэлементы активного осадка актиниевого ряда
- 1903 г. — В. Рамзай и Ф. Содди (в Англии) показали, что одним из продуктов распада эманации радия является гелий
- 1903 г. — П. Кюри и Ж. Данн (во Франции) открыли радиоэлемент радий-В
- 1903 г. — В. Крукс (в Англии) изобрел спинтарископ — прибор для визуального подсчета α -частиц
- 1904 г. — Э. Резерфорд (в Канаде) разработал метод анализа кривых спада активности радиоэлементов активного осадка и открыл короткоживущие радиоэлементы: торий-В, торий-С, радий-А, радий-В, радий-С, радий-D, радий-Е, радий-Г, актиний-В, актиний-С, а также предсказал существование актиния-Х и указал его место в ряду актиния
- 1905 г. — Э. Швейдлер (в Австрии) установил статистический характер закона радиоактивных превращений
- 1905 г. — Т. Годлевский (в Канаде) использовал предсказание Резерфорда и открыл актиний-Х
- 1905 г. — О. Ган (в Англии) открыл радиоторий
- 1906 г. — К. Кольрауш (в Австрии) экспериментально обосновал теорию Швейдлера о статистическом характере закона радиоактивного распада
- Э. Резерфорд (в Канаде) впервые обнаружил явление рассеяния α -частиц
- 1906 г. — О. Ган (в Канаде) открыл радиоактиний
- 1907 г. — О. Ган (в Германии) открыл мезоторий I и мезоторий II
- 1907 г. — Б. Болтвуд (в США) открыл радиоэлемент ионий и показал, что конечным продуктом в радиоактивных рядах должен быть свинец
- 1907 г. — С. Мейер и Э. Швейдлер (в Австрии) открыли радий-Е₂

- 1907 г. — Н. Кемпбелл (в Англии) доказал наличие естественной β -активности у химического элемента калия.
- 1908 г. — О. Ган и Л. Мейтнер (в Германии) открыли радиоэлемент актиний-С''
- 1908 г. — Э. Резерфорд и Г. Гейгер (в Англии) измерили заряд, переносимый α -частицей. Было показано, что α -частица идентична дважды ионизованному атому гелия
- 1909 г. — Д. Стрёмгольм и Т. Сведберг (в Швеции) провели первое систематическое изучение химических свойств радиоэлементов (главным образом долгоживущих). Ученые пришли к выводу, что на каждое место в периодической системе нужно помещать по несколько химически идентичных радиоэлементов (предвосхищение изотопии)
- 1909 г. — Дж. Мак-Леннан (в Канаде) открыл стабильный продукт распада уранового ряда — радий-Г
- 1909 г. — О. Ган и Л. Мейтнер (в Германии) разработали метод радиоактивной отдачи и открыли новый радиоэлемент торий-С''
- 1909 г. — Ф. Содди (в Англии) предложил модель «составного» распада радиоактивного атома. Такой распад характеризуется несколькими константами (λ_1 , λ_2 и т. д.) и может иллюстрировать предполагаемые радиоактивные вилки
- 1910 г. — В. Рамзай и Р. Витлоу-Грэй (в Англии) точно измерили с помощью уникальных весов атомную массу эманации радия, получив значение 222,5
- 1910 г. — М. Кюри и А. Дебьерн (во Франции) впервые выделили чистый металлический радий
- 1911 г. — К. Фаянс (в Англии) впервые экспериментально доказал существование радиоактивных вилок, открыв существование радиоактивной вилки у радия-С и описав свойства нового радиоэлемента радия-С''
- 1911 г., май — Э. Резерфорд (в Англии) предложил и описал ядерную модель атома
- 1911 г. — Г. Гейгер (в Англии) открыл актиний-А
- 1911 г. — Г. Н. Антонов (в Англии) открыл радиоэлемент уран-У
- 1911 г. — Г. Гейгер и Дж. Неттол (в Англии) обнаружили зависимость между длиной пробега α -частиц и периодом полураспада соответствующего α -излучателя (так называемое соотношение Гейгера — Неттола)
- 1911 г. — Ф. Содди (в Англии) сформулировал α -правило, носящее его имя: при α -распаде валентность продукта изменяется на две единицы
- 1912 г. — Г. Гейгер и Дж. Неттол (в Англии) измерили $T_{1/2}$ урана-II и показали, что содержание этого радиоэлемента в естественной смеси с ураном весьма незначительно
- 1912 г. — К. Фаянс (в Германии) открыл радий-С' с периодом полураспада 10^{-6} сек (вычислено с помощью соотношения Гейгера — Неттола)
- 1913 г., январь — А. ван ден Брук (в Голландии) выдвинул идею, что порядковый номер элемента в периодической системе равен заряду ядра его атомов
- 1913 г., январь—февраль — Г. Хевеши (в Англии), А. С. Рассел (в Англии), К. Фаянс (в Германии) и Ф. Содди (в Англии) независимо друг от друга сформулировали правила радиоактивных смещений и разместили радиоэле-

- менты трех радиоактивных рядов в периодической системе. Приоритет в формулировке правил смещений принадлежит К. Фаянсу
- 1913 г. — А. Флек (в Англии) провел систематическое изучение химической неотделимости большинства известных радиоэлементов
- 1913 г. — К. Фаянс и О. Гёринг (в Германии) открыли уран- X_2 , химические свойства которого были предсказаны на основе правил радиоактивных смещений
- 1913 г. — К. Фаянс (в Германии) впервые проанализировал связь между типом распада, периодом полураспада и массовым числом у радиоэлементов одной плеяды (изотопов)
- 1913 г. — Н. Бор (в Дании) сформулировал два основных постулата теории атома: 1) условие существования стационарных состояний атома и 2) условие частот излучения. За основу он принял ядерную модель атома Резерфорда и предположил, что процесс излучения по своему характеру квантовый
- 1913 г. — Э. Марсден и Р. Вильсон (в Англии) открыли радиоактивную вилку в ряду тория у тория-С и по соотношению Гейгера — Неттола вычислили $T_{1/2}$ неизвестного радиоэлемента тория-С'' (равен 10^{-11} сек)
- 1913 г., 4 декабря — Ф. Содди (в Англии) сформулировал закон радиоактивных смещений и ввел в науку концепцию изотопии
- 1913 г., декабрь — Г. Мозли (в Англии) на примере элементов от кальция до никеля показал, что заряд ядра атомов этих элементов равен их порядковому номеру в периодической системе элементов Д. И. Менделеева
- 1914 г. — Э. Марсден (в Англии) обнаружил, что быстрые α -частицы при прохождении через водород и водородсодержащие вещества выбивают быстрые частицы с большой длиной пробега; эти частицы были отождествлены с ядрами водорода
- 1915 г., декабрь — К. Фаянс (в Германии) обобщил исследования радиоэлементов. Он впервые замкнул радиоактивные вилки на D-продуктах и предсказал существование двух радиоэлементов перед актинием в актиниевом ряду
- 1916 г. — А. Зоммерфельд (в Германии) завершил цикл теоретических исследований, представляющих собой дальнейшее развитие первоначальной теории Бора
- 1916 г. — Т. Ричардс и Ч. Уордсворт (в США) измерили атомные массы свинца из различных урансодержащих минералов и доказали, что они всегда меньше атомной массы обычного свинца
- 1917 г. — В. Гаркинс (в США) выдвинул идею ядерной периодичности
- 1917 г. — Ф. Содди (в Англии) впервые высказал гипотезу о возможном существовании «изотопов высшего порядка», которые были открыты позднее и названы изомерами
- 1918 г. — Н. Бор (в Дании) выдвинул принцип соответствия
- 1918 г. — Ф. Содди и А. Крэнстон (в Англии), а также О. Ган и Л. Мейтнер (в Германии) независимо открыли новый долгоживущий α -излучатель в ряду актиния, который был назван протактинием
- 1919 г. — Э. Резерфорд (в Англии) начал публиковать серию

- работ, посвященных изучению столкновения α -частиц с атомами легких газов и описывающих искусственное превращение ядер, их расщепление
- 1920 г. — Г. Хевеши и В. Цехмайстер (в Австрии) впервые наблюдали явление изотопного обмена
- 1920 г. — Э. Резерфорд (в Англии) в своей второй Бейкерманской лекции высказал предположение о существовании нейтрона и тяжелого изотопа водорода
- 1920 г. — Дж. Чедвик (в Англии) осуществил проверку вывода Г. Мозли о том, что заряд ядра точно равен порядковому номеру элемента (на примере меди, серебра и платины)
- 1920 г. — В. Гаркинс (в США) вывел формулы и привел таблицы состава ядер легких (до кобальта) и радиоактивных элементов. Он предложил новую классификацию ядер: четно-четные, четно-нечетные и т. д.
- 1921 г. — Л. Мейтнер (в Германии) предложила модель строения атомных ядер из α -частиц, протонов и электронов
- О. Ган (в Германии) открыл явление ядерной изомерии на примере природного радиоактивного изотопа ^{234}Pa
- 1924 г. — Э. Резерфорд опубликовал работу «Естественное и искусственное разложение элементов», в которой обобщил исследования по расщеплению ядер α -частицами
- 1925 г. — П. Блэккетт (в Англии) впервые экспериментально установил механизм расщепления ядер α -частицами
- 1926 г. — Г. Петтерсон и Г. Кирш (в Австрии) опубликовали работу «Разбивание атома», в которой детально обсудили проблему искусственного превращения элементов
- 1928 г. — Г. Гамов (в Англии), Р. Генри и Е. Кондон (в США) выдвинули квантовомеханическую теорию α -распада и ввели понятие о туннельном эффекте
- 1930 г. — Ф. Разетти (в Италии) установил, что ядро азота характеризуется целым (1), а не дробным ($1/2$) значением спина, чем опровергалась протон-электронная модель строения ядра
- П. Дирак (в Англии) предсказал существование позитрона
- В. Паули (в Швейцарии) высказал идею о существовании нейтральной частицы с массой порядка массы электрона (предсказание нейтрино)
- 1931 г. — Ч. Андерсон (в США) наблюдал в космическом излучении частицу, аналогичную электрону, но несущую положительный заряд
- 1932 г. — Д. Чедвик (в Англии) открыл нейтрон
- Д. Д. Иваненко, Е. Н. Гапон (в СССР) и В. Гейзенберг (в Германии) предложили протон-нейтронную модель ядра
- Г. Юри, Ф. Брикведде и Г. Мэрфи (в США) открыли дейтерий
- 1933 г. — П. Блэккетт и Г. Оккиалини (в Англии) открыли позитрон
- В. Паули (в Бельгии) четко сформулировал гипотезу о нейтрино
- 1933 г. — Г. Льюис и Р. Макдональд (в США) получили тяжелую воду

1934 г.

- И. и Ф. Жолио-Кюри (во Франции) открыли явление искусственной радиоактивности и наблюдали новый вид радиоактивных превращений — позитронный, или β^+ -распад
- Э. Ферми (в Италии) разработал теорию β -распада
- Э. Ферми предположил, что в результате β^- -распада урана, облученного медленными нейтронами, могут образовываться изотопы трансурановых элементов
- И. Ноддак (в Германии) предсказала возможность деления ядер урана на несколько больших осколков (предвидение явления деления ядер)
- И. Маттаух (в Германии) сформулировал правило нестабильности изобар
- К. Гуггенхеймер и В. Эльзассер (во Франции), И. П. Селинов (в СССР) ввели представления о «магических» числах протонов и нейтронов в ядрах

1934 г.

- Л. Сциллард (в Англии) высказал идею о возможности осуществления цепной ядерной реакции: ${}^0_0\text{Be}(n, 2p){}^6_2\text{Be} \rightarrow 2{}^4_2\text{He}$, при которой при захвате одного нейтрона выделяются два и освобождается энергия
- М. Олифант, П. Хартек и Э. Резерфорд (в Англии) открыли тритий

1935 г.

- И. В. Курчатов с сотр. (в СССР) обнаружили явление ядерной изомерии у искусственного радиоактивного изотопа ${}^{80}\text{Br}$
- М. Гёпперт-Майер (в США) высказала предположение о возможности двойного β -распада
- А. Демпстер (в США) на масс-спектрографе доказал существование изотопа уран-235 (актиноурана)
- Г. Боте (в Германии) предложил общепринятую ныне схему записи уравнений ядерных реакций: $A(x, y)B$.
- Х. Юкава и Ш. Сахата (в Японии) предсказали возможность захвата ядром электрона с внутренней оболочки атома
- И. Е. Тамм (в СССР) и Х. Юкава (в Японии) высказали гипотезу о сущности ядерных сил

1936 г.

- Н. Бор (в Дании) теоретически обосновал модель составного ядра, объясняющую механизм ядерных реакций
- К. Вайцеккер (в Германии) предложил объяснение ядерной изомерии

1937 г.

- Н. Бор и Ф. Калькар (в Дании) развили представление о капельной модели ядра

1937 г.

- К. Перье и Э. Сегре (в Италии) открыли первый синтезированный элемент — технеций

1938 г.

- М. Пул и Л. Квилл (в США) осуществили попытку искусственного синтеза элемента с $Z=61$
- Л. Альварец (в США) экспериментально доказал явление захвата ядром электрона из K -оболочки (K -захват)

1939 г.

- О. Ган и Ф. Штрассман (в Германии) открыли явление деления урана медленными нейтронами

1939 г.

- Л. Мейтнер и О. Фриш (в Швеции) дали объяснение механизма деления ядра урана
- М. Перей (во Франции) открыла франций ($Z=87$) в природных радиоактивных минералах
- Н. Бор (в США) и Я. И. Френкель (в СССР) развили теорию деления ядер

- 1939 г.
- Р. Робертс, Р. Мейер и П. Вонг (в США) обнаружили испускание запаздывающих нейтронов
 - Ф. Перрен (во Франции) ввел понятие критической массы
 - Я. Б. Зельдович и Ю. Б. Харитон (в СССР) теоретически исследовали цепную реакцию деления урана на быстрых нейтронах
- 1940 г.
- А. Нир (в США) на масс-спектрографе доказал существование изотопа уран-234 (уран II)
 - К. А. Петржак и Г. Н. Флёров (в СССР) обнаружили явление спонтанного деления урана
 - Я. Б. Зельдович и Ю. Б. Харитон (в СССР) теоретически исследовали цепную реакцию деления урана медленными нейтронами и сформулировали условия ядерного взрыва
 - Д. Корсон, К. Маккензи и Э. Сегре (в США) синтезировали астат ($Z=85$)
- 1940 г.
- Е. Макмиллан и П. Абельсон (в США) синтезировали нептуний — первый трансурановый элемент
 - Г. Сиборг с сотр. (в США) синтезировали плутоний
 - Г. Альварец (в США) получил на ускорителе поток многозарядных ионов C^{6+} с энергией 50 Мэв
 - А. Нир (в США) осуществил разделение урана-235 и урана-238 в заметных количествах и показал, что делению медленными нейтронами подвергается уран-235
- 1941 г.
- Г. Лоу, М. Пул, Д. Курбатов и Л. Квилл (в США) сообщили о синтезе изотопов элемента 61 с массовыми числами 144, 147, 149
 - Г. Сиборг с сотр. (в США) синтезировали плутоний-239
- 1942 г.
- Б. Кеннингем и Л. Вернер (в США) впервые выделили весовые количества чистого плутония
- 1943 г.
- Б. Карлик и Т. Бернерт (в Австрии) обнаружили природный астат
- 1944 г.
- Г. Сиборг с сотр. (в США) синтезировали кюрий
- 1945 г.
- Г. Сиборг с сотр. (в США) синтезировали америций
 - Д. Маринский, Л. Гленденин и Ч. Кориэлл (в США) из осколков деления урана выделили прометий ($Z=61$)
- 1948 г.
- Г. Сиборг и И. Перлман (в США) обнаружили природный плутоний
- 1949 г.
- Г. Сиборг с сотр. (в США) синтезировали берклий
 - М. Гёпперт-Майер (в США) теоретически обосновала оболочечную модель ядра и значения «магических» чисел
 - Е. Финберг (в США) ввел понятие об «островках» изомерии
- 1950 г.
- Г. Сиборг с сотр. (в США) синтезировали калифорний
 - Г. Сиборг и А. Гиорсо с сотр. (в США) реконструировали структуру вымершего радиоактивного семейства $4n+1$, начинающегося ^{237}Np и заканчивающегося ^{209}Bi
- 1951 г.
- Б. С. Джелепов (в СССР) высказал предположение о возможности протонной радиоактивности у нейтронодефицитных ядер легких элементов
- 1952 г.
- Г. Сиборг и А. Гиорсо с сотр. (в США) в образцах, собранных после термоядерного взрыва, обнаружили изотопы эйнштейния и фермия

- 1939 г.
- Р. Робертс, Р. Мейер и П. Вонг (в США) обнаружили испускание запаздывающих нейтронов
 - Ф. Перрен (во Франции) ввел понятие критической массы
 - Я. Б. Зельдович и Ю. Б. Харитон (в СССР) теоретически исследовали цепную реакцию деления урана на быстрых нейтронах
- 1940 г.
- А. Нир (в США) на масс-спектрографе доказал существование изотопа уран-234 (уран II)
 - К. А. Петржак и Г. Н. Флёров (в СССР) обнаружили явление спонтанного деления урана
 - Я. Б. Зельдович и Ю. Б. Харитон (в СССР) теоретически исследовали цепную реакцию деления урана медленными нейтронами и сформулировали условия ядерного взрыва
 - Д. Корсон, К. Маккензи и Э. Сегре (в США) синтезировали астат ($Z=85$)
- 1940 г.
- Е. Макмиллан и П. Абельсон (в США) синтезировали нептуний — первый трансурановый элемент
 - Г. Сиборг с сотр. (в США) синтезировали плутоний
 - Г. Альварец (в США) получил на ускорителе поток многозарядных ионов C^{6+} с энергией 50 Мэв
 - А. Нир (в США) осуществил разделение урана-235 и урана-238 в заметных количествах и показал, что делению медленными нейтронами подвергается уран-235
- 1941 г.
- Г. Лоу, М. Пул, Д. Курбатов и Л. Квилл (в США) сообщили о синтезе изотопов элемента 61 с массовыми числами 144, 147, 149
 - Г. Сиборг с сотр. (в США) синтезировали плутоний-239
- 1942 г.
- Б. Кеннингем и Л. Вернер (в США) впервые выделили весовые количества чистого плутония
- 1943 г.
- Б. Карлик и Т. Бернерт (в Австрии) обнаружили природный астат
- 1944 г.
- Г. Сиборг с сотр. (в США) синтезировали кюрий
- 1945 г.
- Г. Сиборг с сотр. (в США) синтезировали америций
 - Д. Маринский, Л. Гленденин и Ч. Кориэлл (в США) из осколков деления урана выделили прометий ($Z=61$)
- 1948 г.
- Г. Сиборг и И. Перлман (в США) обнаружили природный плутоний
- 1949 г.
- Г. Сиборг с сотр. (в США) синтезировали берклий
 - М. Гёпперт-Майер (в США) теоретически обосновала оболочечную модель ядра и значения «магических» чисел
 - Е. Финберг (в США) ввел понятие об «островках» изомерии
- 1950 г.
- Г. Сиборг с сотр. (в США) синтезировали калифорний
 - Г. Сиборг и А. Гиорсо с сотр. (в США) реконструировали структуру вымершего радиоактивного семейства $4n+1$, начинающегося ^{237}Np и заканчивающегося ^{209}Bi
- 1951 г.
- Б. С. Джелепов (в СССР) высказал предположение о возможности протонной радиоактивности у нейтронодефицитных ядер легких элементов
- 1952 г.
- Г. Сиборг и А. Гиорсо с сотр. (в США) в образцах, собранных после термоядерного взрыва, обнаружили изотопы эйнштейния и фермия

- 1952 г. — Д. Пеппард с сотр. (в США) обнаружили природный нептуний
- П. Мерилл (в США) обнаружил линии технеция в спектрах некоторых звезд
- 1953 г. — Д. Расмуссен, С. Томпсон и А. Гиорсо (в США) открыли несколько α -излучателей среди изотопов с $Z < 83$
- 1955 г. — Г. Сиборг с сотр. (в США) синтезировали менделевий
- 1956 г. — Ч. Коуэн с сотр. (в США) экспериментально обнаружили нейтрино
- 1957 г. — В Нобелевском институте (Швеция) предпринята неудачная попытка синтеза элемента с $Z=102$
- 1958 г. — Г. Н. Флёрв с сотр. (в СССР) сообщили о синтезе элемента с $Z=102$
- В. А. Карнауков (в СССР) оценил границы стабильности ядер (до $Z=70$) по отношению к протонной радиоактивности и предсказал возможные протонно-активные ядра (^{39}Sc , ^{63}As , ^{108}Sb)
- 1959 г. — П. Е. Спивак с сотр. (в СССР) определили период полураспада свободного нейтрона
- А. Гиорсо с сотр. (в США) сообщили о синтезе элемента с $Z=102$
- 1960 г. — В. И. Гольданский (в СССР) предсказал возможность двупротонной радиоактивности — одновременного испускания ядром двух протонов
- 1961 г. — Б. Кенна и П. Курода (в США) обнаружили природный технеций
- 1961 г. — А. Гиорсо с сотр. (в США) объявили о синтезе лоуренсия
- 1962 г. — В. А. Карнауков с сотр. (в СССР) обнаружили явление испускания запаздывающих протонов
- Г. Н. Флёрв с сотр. (в СССР) открыли явление спонтанного деления ядер в изомерном состоянии
- 1964 г. — Г. Н. Флёрв с сотр. (в СССР) синтезировали курчатовий
- 1965 г. — Е. Д. Донец, В. А. Щеголев и В. А. Ермаков (в СССР) осуществили синтез изотопа $^{256}\text{103}$
- 1966 г. — И. Звара с сотр. (в СССР) осуществили химическую идентификацию курчатовия
- 1967 г. — Г. Н. Флёрв с сотр. (в СССР) провели предварительные эксперименты по синтезу элемента с $Z=105$
- Г. Н. Флёрв (в СССР) высказал идею, что перспективным методом синтеза новых элементов может явиться деление сверхтяжелых составных ядер
- 1968 г. — П. Курода и Б. Кенна (в США) обнаружили природный прометий
- 1969 г. — Г. Н. Флёрв с сотр. (в СССР) синтезировали нильсборий
- А. Гиорсо сообщил о первом синтезе в США элемента с $Z=104$
- 1970 г. — И. Звара с сотр. (в СССР) осуществили химическую идентификацию нильсбория
- А. Гиорсо с сотр. сообщили о синтезе элемента с $Z=105$
- Дж. Черны с сотр. (в США) экспериментально обнаружили протонную активность у изомера ^{53m}Co
- 1971 г. — П. Диттнер с сотр. (в США) идентифицировали атомы элемента с $Z=102$ посредством измерения рентгеновского излучения в соответствии с законом Мозли

- 1971 г. — Д. Хоффман с сотр. (в США) обнаружили в природе первичный плутоний-244
- В. И. Гольданский и Л. К. Пекар (в СССР) предсказали новый вид радиоактивных превращений — двунейтронный распад
- Н. К. Скобелев (в СССР) описал экспериментально обнаруженное запаздывающее деление, происходящее после β -распада
- 1973 г. — Ч. Бемис с сотр. (в США) по измерению рентгеновского излучения идентифицировали один из изотопов элемента с $Z=104$
- 1974 г. — Ю. Ц. Оганесян с сотр. (в СССР) осуществили синтез элемента с $Z=106$
- 1975 г. — Ю. Ц. Оганесян с сотр. (в СССР) синтезировали элемент с $Z=107$

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

(Составлен Д. Н. Трифоновым, А. Н. Кривомазовым)

- Льоцци М. История физики. Пер. с итал., М., «Мир», 1970.
- Джуа М. История химии. Пер. с итал., М., «Мир», 1966.
- Кудрявцев П. С. Курс истории физики. М., «Просвещение», 1974.
- Глесстон С. Атом. Атомное ядро. Атомная энергия. Развитие современных представлений об атоме и атомной энергии. Пер. с англ. М., Изд-во иностр. лит., 1961.
- Трифонов Д. Н., Кривомазов А. Н., Лисневский Ю. И. Учение о периодичности и учение о радиоактивности. Комментированная хронология важнейших событий. М., Атомиздат, 1974.
- Гольдшмидт Б. Атомная проблема. Политические и технические аспекты. М., Атомиздат, 1964.
- Рузе М. Роберт Опенгеймер и атомная бомба. М., Атомиздат, 1965.
- Лоуренс У. Л. Люди и атомы. М., Атомиздат, 1966.

КНИГИ О ЖИЗНИ И ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ФРЕДЕРИКА СОДДИ

- Вяльцев А. Н., Кривомазов А. Н., Трифонов Д. Н. Правило сдвига и явление изотопии. М., Атомиздат, 1976.
- Кривомазов А. Н. Фредерик Содди. 1877—1956. М., «Наука», 1978.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие редакторов перевода	5
Предисловие	21
Предисловие к изданию 1954 года	23
Глава первая. ОТ АЛХИМИИ К ХИМИИ	25
<i>(Цель данной книги. — Происхождение химии. — Химия в древности. — Возникновение экспериментальных наук)</i>	
Глава вторая. СОВРЕМЕННАЯ АТОМНАЯ И МОЛЕКУЛЯРНАЯ ТЕОРИИ	44
<i>(Атом и молекула. — Подлинное появление атомной теории. — Дальтон и атомная теория. — Работа Вильяма Хиггинса. — Молекулярная теория. — Атомная теория Берцелиуса. — Периодическая система химических элементов. — Спиральная форма периодического закона)</i>	
Глава третья. ЭНЕРГИЯ И ЭЛЕКТРИЧЕСТВО	70
<i>(Тепло. — Законы термодинамики. — Кинетическая теория газов. — Броуновское движение и число Авогадро. — Современное представление о молекуле. — Электричество. — Теория электролитической диссоциации Аррениуса. — Электромагнитная теория света. — Спектральный анализ. — «Лучевая материя»)</i>	
Глава четвертая. РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ, РАДИОАКТИВНОСТЬ И ЭЛЕКТРОН	90
<i>(Социальная значимость энергии. — Рентгеновское излучение и электрон. — Радиоактивность. — Новые радиоактивные элементы. — Радий. — Ионизация газов. — Альфа-, бета- и гамма-излучение. — Эманации и активные осадки)</i>	
Глава пятая. ОТКРЫТИЕ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ	105
<i>(Монреаль и Резерфорд. — Эманация — это инертный газ — Торий-Х и уран-Х. — Теория радиоактивного распада. — Гелий и радиоактивность. — Возраст Земли. — Альфа-излучение. — Образование гелия из радия. — Радиоактивное равновесие. — Материнские вещества полония, актиния и радия. — Исследование Брэггом природы альфа-излучения. — Альфа-частица — это испускаемое ядро гелия)</i>	

(Электромагнитная теория массы. — Теория относительности. — Внутренняя энергия массы. — Эквивалентность массы и энергии. — Происхождение концепции изотопов. — Радиоторий. — Мезоторий. — Анализ продуктов распада. — Закон радиоактивных смещений. — Интерпретация периодического закона. — Исключения из периодического закона. — Предсказания на основе закона радиоактивных смещений. — Материнское вещество актиния. Протактиний. — Изотопы свинца)

(Квантовая теория. — Действие. — Атом действия. — *Quanta* и «кванты». — Модель атома Томсона. — Открытие атомного ядра. — Атом Резерфорда—Бора. — Спектральные серии. — Теория оптических спектров Бора. — Соотношение между двумя частотами. — Простой вывод формулы спектральной серии. — Постоянная Ридберга. — Дилемма физики)

(Дифракция рентгеновского излучения. — Баркла. — Закон Мозли. — Гафний и рений. — Общие аспекты теории атомного ядра. — Статическая модель атома или кубический атом. — Полярные соединения. — неполярные соединения. — Молекулярные соединения и соединения Вернера. — Периодический закон как следствие атомизации электричества и действия. — Принцип неопределенностей. — Нулевая энергия. — Невероятен ли покой?)

(Методы регистрации единичного распада. — Методы усиления. — Атомное ядро и астрономия. — Испускаемые протоны. — Расщепление ядер легких элементов альфа-частицами. — Электронвольт. — Исследования Астона в области изотопов. — Четные и нечетные элементы. — Возрождение гипотезы Праута. — Коэффициент Астона. — Первая искусственная трансмутация. — Расщепление ядра лития. — Выделение энергии из лития)

(Чудесный год радиоактивности. — Электронная пара. — Расщепление фотона. — Нейтрон. — Новое ядро. — Тяже-

лый водород. — Полосатые спектры изотопов. — Свойства тяжелой воды. — Водород и энергия при абсолютном нуле. — Система записи ядерных реакций. — Искусственная радиоактивность. — Электротехника высокого напряжения. — Циклотрон. — Превращения, осуществленные на циклотроне. — Искусственное получение радиоэлементов. — Нейтрон в роли агента превращений)

Глава одиннадцатая. НА ПУТИ К ДЕЛЕНИЮ АТОМА 233

(Всевозрастающая сложность. — Появление простоты. — Соотношение чисел нейтронов и протонов. — Область стабильности ядер. — Ядерная химия. — Космическое излучение. — Ливни или вспышки космического излучения. — Мезон. — Ядерное деление радиоэлементов. — Продукты деления и их энергия отдачи. — Испускание нейтронов. — Деление урана. — Актиноуран или уран-235)

Глава двенадцатая. ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕВРАЩЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ 248

(Две цели. — Военная цель. — Мирная цель. — Замедлитель. — Урановый реактор. — Установки в Клинтоне и Ханфорде. — Величайшее достижение в истории человечества. — «Томная» и «атомная» энергия. — Условия «томной» детонации. — «Томная» бомба. — Разделение изотопов урана. — Электромагнитное разделение. — Трансурановые элементы. — Плутоний. — «Отравление» уранового реактора. — США имели всего три бомбы. — Периодический закон в новом освещении. — Нептуний)

Глава тринадцатая. БУДУЩЕЕ АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ 264

(Предварительные итоги. — Социальная ответственность ученого. — Естественные источники урана. — Зачем впустую растрачивать уран? — Интенсивность и количество в энергетике. — Нераскрытые возможности. — Новые виды излучений и мутации. — Правильное использование новых знаний. — Рабочий пример международной науки. — Наука и общество. — Полное уничтожение войны. — Наука, культура, философия и государство)

Хронология важнейших открытий в учении о радиоактивности (Составлена Д. Н. Трифоновым, А. Н. Кривомазовым) 276

Список рекомендуемой литературы (Составлен Д. Н. Трифоновым, А. Н. Кривомазовым) 284

ИБ № 721

Фредерик Содди
История атомной энергии

Редактор *З. Д. Андреевко*
Художественный редактор *А. Т. Кирьянов*
Обложка художника *Е. А. Сумнительного*
Технический редактор *О. Н. Адаскина*
Корректор *Н. А. Музыкантова*

Сдано в набор 27.12.78. Подписано к печати 09.07.79. Формат 70×100¹/₃₂. Бумага кн.-журн. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 11,61. Уч.-изд. л. 18,08. Тираж 52 000 экз. Зак. изд. 76494. Зак. тип. 4. Цена 95 к.

Атомиздат. 103031 Москва К-31,
ул. Жданова, 5.

Ярославский полиграфкомбинат Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли. 150014 Ярославль, ул. Свободы, 97.