

Я.Е. Гегузин
“Атомный взрыв в кристалле”

Введение

“Атомный взрыв” – звучит зловеще, а уточняющие слова “в кристалле” должны смягчить название книги. В этом вводном очерке делается попытка представить читателю замысел книги и прокомментировать обе части её названия. Выдающийся венгерский математик и популяризатор науки Альфред Реньи в послесловии своей великолепной книги “Диалоги о математике” говорил о том, что оптимистически настроенный автор не предворяет свою книгу разговором с читателем, так как уверен, что книга говорит сама за себя. Я должен отказать себе в необходимом оптимизме, предполагаемом Реньи, так как испытываю острую потребность представить читателю свою книгу “Введением”. Мне хочется, чтобы кроме собственно “введения” оно играло ещё и роль приглашения в книгу, с которым я и обращаюсь к читателю.

Теперь о названии. Вначале о первой части названия – **“Атомный взрыв”**.

Истоки всего того, чему книга посвящена, восходят к осенним месяцам 1939 года, когда два молодых сотрудника Ленинградского Физико-технического института Константин Антонович Петржак и Георгий Николаевич Флёрв открыли принципиально новый вид радиоактивности, при котором тяжелое ядро излучает не отдельные частицы, а спонтанно делится почти пополам. Происходит взрыв самой миниатюрной из возможных атомных бомб – бомбы, состоящей из одного атома. Этот вид радиоактивности получил название “спонтанное деление”. В те годы эффект спонтанного деления представил огромный интерес для дальнейшего развития теории атомного ядра, для проверки предсказаний формировавшейся “капельной модели” ядра, теории его деления, вынуждаемой бомбардировкой ядра нейтронами. Время, лучшим образом оценивающее значимость научных открытий, показало, что спонтанное деление обнаруживает себя во многих явлениях и процессах природы, что оно также распространено, как распространены, пусть в гомеопатических количествах или в виде локальных скоплений, тяжелые элементы, в частности уран. Оно оказалось важным и для физиков, и для геологов, и для инженеров. Оказалось, что одноатомная атомная бомба может быть полезна при решении многих мирных задач. Именно это, или лучше так: в частности это – оправдывает рассказ об одноатомной атомной бомбе.

Известный специалист по урану профессор Ю.А. Шуколюков в книге, посвященной делению урана в природе, сообщает интересный расчет, характеризующий роль спонтанного деления урана в природе. Вот результаты этого расчета. В земной коре содержится около 10^{14} тонн урана. Это приблизительно десятимиллионная часть всей земной коры. За время её существования спонтанно успело распасться около $3.5 \cdot 10^7$ тонн урана. Это эквивалентно взрыву приблизительно 10^9 атомных бомб среднего потенциала. В приближенном пересчете на один год это соответствует взрыву одной бомбы. Счастье в том, что в

© Гегузин Я.О., 2018

действительности взрывается не одна полновесная бомба, а великое множество “одноатомных бомб”. Взрываются они в разное время, в разных местах, либо вовсе не причиняя повреждений, либо создают повреждения, которые нужно еще суметь разыскать, и не просто днем с огнём, а пользуясь специальными методами и приборами.

Обсудим теперь, какая энергия выделяется при взрыве одной одноатомной бомбы, и какие частицы образуются в результате такого взрыва. Обычно избегая формул в научно-популярных книгах, в этом очерке я всё же начну с формулы Эйнштейна, которая поможет рассказать о “взрыве” атомного ядра. Как и все великие формулы, на которых основывается естествознание, она предельно проста:

$$E = m_0 c^2$$

Прочтем её вслух: полная энергия E , заключенная в теле, и его масса m_0 пропорциональны друг другу, при этом коэффициент пропорциональности является универсальной мировой константой, численно равной квадрату скорости света (c) в вакууме. Остановитесь здесь, задумайтесь и придите в восторг от простоты и необозримой общности утверждения $E = m_0 c^2$!

Путь от исходных постулатов специальной теории относительности Эйнштейна до интересующей нас формулы не прост. Но преодолевшие его, приобщаются к изумительной красоте. В научно-популярной книге мы лишим себя этой радости. Сделаем нечто иное, прочтем эту формулу чуть-чуть не так, как только что мы читали её вслух. Прочтем вот как: если энергия тела изменяется на величину ΔE , то изменится и его масса на величину $\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}$. Это очень важно, т.к. оказывается, что деление ядра атома на две части (осколки!) сопровождается потерей массы. Речь идёт о том, что сумма масс m_1 и m_2 осколков оказывается меньше исходной массы m_0 распавшегося ядра и, следовательно

$$\Delta m = m_0 - (m_1 + m_2) > 0$$

Это означает, что процесс распада должен сопровождаться выделением энергии

$$\Delta E = [m_0 - (m_1 + m_2)] c^2$$

Написанная формула не показывает, в какой форме эта энергия выделится, из неё лишь следует, что обязательно выделится. Именно эту энергию имеют в виду, когда произносят так много говорящее сочетание слов “атомная энергия”.

И теоретические, и экспериментальные исследования согласованно свидетельствуют о том, что, к примеру, деление ядра ${}_{92}\text{U}^{235}$ спонтанное или вынужденное нейтронной бомбардировкой (взрыв одноатомной бомбы) сопровождается выделением энергии около 200 MeV. В атомных масштабах это огромная энергия, именно её величина даёт основание для употребления зловеще звучащего словосочетания “атомный взрыв”. В каком виде эта энергия выделяется: во

многих видах. Во-первых, и главным образом, в виде кинетической энергии осколков. Кроме осколков, в момент взрыва возникают и иные носители энергии: свободные электроны, которые уносят с собой около 5 MeV, γ – лучи – около 10 MeV, нейтроны – около 6 MeV, радиоактивный распад осколков – около 20 MeV. Общий баланс: кинетическая энергия двух осколков – около 160 MeV, прочее – около 40 MeV. Итого – 200 MeV! Нас далее будут интересовать, главным образом, осколки, так как именно они являются основной причиной взрывных последствий в кристалле.

Отметим ещё одну особенность деления тяжелого ядра: возникающие осколки являются многозарядными ионами. Обсудим, как формируется заряд иона. Превратить атом в ион – это значит удалить из нейтрального атома один или более электронов. Атом превратится в ион, положительный заряд которого определяется числом удаленных электронов. Это мы знаем. И всё же, пожалуй, нужны несколько фраз, поясняющих слово “удалить”. “Удалить” – это значит вырвать электрон из атома, например, сообщив электрону энергию, достаточную для того, чтобы он преодолел связь с атомом. Можно было бы указать ещё и другие способы убрать электрон из атома при ионизации. Все они, в конечном счете, сводятся к тому, чтобы насильственно порвать связь электрона с ионизирующимся атомом, воспользовавшись при этом извне привнесенной энергией. Эта процедура может быть промоделирована процессом удаления пылинок из ковра, скажем, с помощью пылесоса: недвижимый ковёр лежит на полу, а пылесос отрывает от него пылинки. Впрочем, известен и другой способ удаления пылинки из ковра – встряхнуть его, как бы удалить ковёр из-под пылинки так, чтобы она потеряла с ним связь.

Механизм ионизации осколков подробно исследовал Нильс Бор. Так вот, ионизация по Бору – это удаление из атома наиболее слабо связанных с ним внешних электронов, по схеме очень напоминающей процесс встряхивания ковра. Происходит это вот как. В покоящемся атоме электроны, как известно, движутся с различными скоростями, так что электроны более удалённые от ядра, движутся с меньшей скоростью. Если нейтральному атому мы сообщим скорость большую, чем скорость электронов в оболочке атома, эти электроны не успевают за атомом и окажутся отставшими, оторвавшись от него, подобно пылинкам, не успевающим за ковром. Чем быстрее будет двигаться атом, тем, естественно, большее число электронов “стряхнётся”, тем более ионизованным окажется атом. Бор предположил, а потом и доказал, что от осколка, обладающего огромной энергией и движущегося со скоростью составляющей почти 0.1 от скорости света, отрывается 15-20 электронов (не успевает за ним), летящий осколок становится многозарядным ионом. Итак, взрыв единичного атома сопровождается появлением осколков – тяжелых многозарядных ионов, имеющих огромную энергию, такую, что ионы летят со скоростью, близкой к скорости света. Десять процентов от скорости света – это уже близко от неё. Вот, пожалуй, и всё, что я хотел сообщить читателю, комментируя первую половину названия книги.

Теперь следует прокомментировать слова: **“в кристалле”**.

Пусть произошло спонтанное деление ядра в кристалле. Не в воздухе, а в кристалле, каждый кубический сантиметр которого заполнен $\approx 10^{22}$ атомами, состоящими из положительно заряженных ядер и отрицательно заряженных электронов. Ионы-осколки, летя в кристалле, на своём небольшом пути теряют эту энергию, все 160 МэВ. Для кристалла это событие не должно пройти бесследно. Одним из последствий такого взрыва в кристалле является формирование протяженной дефектной области вдоль траектории полета осколка - так называемый трек. Впервые треки были обнаружены американцами Р. Фляйшером и П. Прайсом с помощью современного электронного микроскопа. Для нас, интересующихся атомным взрывом в кристалле, условия возникновения трека и его структура и представляют основной интерес. Из него можно и нужно извлечь много важной и уникальной информации и об ионе, и о кристалле, и об их взаимодействии. Трек может дать ответы на множество вопросов, относящихся и к взорвавшемуся ядру, и к собственно кристаллу. Вот некоторые из них: Каким механизмом энергия осколка была передана кристаллу? Быть может, существует не один, а несколько таких механизмов? Быть может, трек со временем исчезнет, залечится? Быть может, сопротивляясь осколку, создающему трек, кристалл зазвучит, выражая своё возмущение осколком? А быть может, он нагреется? Чувствует или не чувствует осколок упорядоченное расположение атомов в кристалле? Быть может, кристалл, содержащий давно возникший трек, был деформирован и трек это запомнил? Нельзя ли как-то повлиять на длину трека? Как давно пролетел осколок разделившегося ядра? Какую информацию об окружающей среде можно получить, регистрируя и исследуя треки осколков деления тяжелых ядер? Как можно сделать треки полезными для человека?

Что, интересные вопросы? Кажется, интересные. Им и подобным вопросам и посвящена эта книга. Её автор - кристаллофизик, поэтому, естественно, что основной акцент в изложении смещен на вторую часть названия книги, на события в кристалле, а об атомном взрыве будет говориться лишь в порядке необходимой информации или напоминания о ней.

Мне очень приятно сознавать, что задумав написать “Атомный взрыв в кристалле”, я берусь, по-моему, за доброе дело, за написание книги об атоме, который, взрываясь, всё же служит делу мира, а не войны. Так много ужасов и горя ассоциируется со словом атомный взрыв, такое необозримое количество немирных атомов заключено в летающих ракетах различных конструкций и в атомных бомбах различных потенциалов, что грешно упускать возможность напомнить людям о том, что атом, даже взрываясь, может и должен быть мирным.

История начинается в Римском университете

События, о которых я хочу рассказать, и, кажется, рассказать о них необходимо, происходили в начале тридцатых годов. Их история начинается в небольшой

Вісник ХНУ, серія «Фізика», вип. 28, 2018

лаборатории Римского университета, их развитие (всего 10 лет) определило судьбы человечества.

Я часто думаю об этих событиях, дорожу всяким поводом приобщиться к, пусть иллюзорному, чувству сопричастности к этому романтическому времени, к тем событиям, к тем откровениям и надеждам.

История науки, видимо, не знает десятилетий, в которых, подобно тридцатым годам, были бы так плотно спрессованы научные прозрения и ошибки, драматические личные судьбы ученых, переплетающиеся с судьбами человечества, определяя их и от них завися, торжество непредвзятого мышления и следование традициям, счастливые случайности, сохранившие жизнь миллионам, и их строгая планомерность, которой, казалось бы, противопоказаны неожиданности.

Мне, физику, очень импонирует, что достижения тех лет не были связаны с использованием громоздкой аппаратуры промышленного типа. В середине тридцатых годов она уже встречалась в залах некоторых лабораторий мира, напоминающих заводские цеха. Эта аппаратура оказалась, однако, в стороне от центральной магистрали, вдоль которой развивались основные исследования тех лет. Таланты и фантазеры обошлись средствами лабораторий, главное богатство которых составляли примитивные счетчики собственного изготовления и на время одолженные ампулы, заполненные радоном и бериллиевым порошком. Стеклянные ампулы заменяли им еще не построенные циклотроны. Впрочем, основным богатством этих лабораторий, которые в те годы еще не очень щедро субсидировались, конечно же, были не счетчики и ампулы, а таланты и фантазеры, мыслящие непредвзято, иной раз курьезно, иной раз, ведомые интуицией, они, вопреки дисциплинированной логике, начинают искать там, где посветлее. Пути талантов и фантазеров неисповедимы, - в тридцатые годы в атомной проблеме они определили многое, если не все.

Как и всякой иной, этой истории, начавшейся в Римском университете, предшествовала предыстория. О ней - коротко, сухими фразами.

В 1930 году немецкий физик Вальтер Боте с сотрудниками бомбардировал α частицами бериллий. Они обнаружили, что облученный бериллий испускает наведенное проникающее излучение. Это «бериллиевое» излучение они сочли жесткими γ – лучами. Объяснение, лишенное революционности, но вполне разумное, непротиворечивое, скажем так: естественное. Эти опыты вскоре продолжили во Франции супруги Ирен и Фредерик Жолио-Кюри. И они наблюдали «бериллиевое» излучение, и они убедились в том, что оно легко проникает сквозь вещество. Толкование природы излучения, предложенное Боте и Беккером, супруги Жолио сочли состоятельным. Они смогли показать, что «бериллиевое» излучение способно выбивать протоны из водосодержащих веществ. Эти наблюдения не поколебали их веры в том, что «бериллиевое» излучение есть γ - лучи.

В 1932 году, немного изменив опыты французов, в Англии в Кавендишевской лаборатории, сотрудник Резерфорда Джеймс Чедвик показал, что «бериллиевое

излучение» - это поток не γ -лучей, а электрически нейтральных тяжелых частиц. Обнаруженные им частицы получили название нейтронов. К сожалению, так случилось, что Боте и Беккер и супруги Жолио экспериментировали с нейтронами, но не распознали их. Очевидно, Чедвику в лаборатории Резерфорда, которые еще в 1920 году предсказал принципиальную возможность существования таких частиц, опознать нейтрон было проще. Ему в помощь были и многолетний и уникальный опыт Кавендишеской лаборатории в области ядерной физики, населяющие ее люди, и все то, что невозможно ни учесть, ни взвесить, не перечислить, а можно лишь назвать атмосферой «школы Резерфорда». В этой школе революционность суждений – явление традиционное, если только слова «революция» и «традиция» можно ставит рядом.

Сразу же после того, как нейтрон был открыт, теоретики увидели достаточно оснований, чтобы найти ему место в ядре. Почти одновременно это сделали в России – Дмитрий Иваненко, в Германии – Вернер Гайнзенберг, в Италии – Этторе Майорана. Согласно их модели в атомном ядре нейтронов, имеющих такую же массу, как и протоны, ровно столько, сколько нужно для того, чтобы вместе с протонами, так же входящими в состав ядра, определить атомный вес элемента.

В то время, когда Энрико Ферми со своими молодыми сотрудниками, которые в полном соответствии с реальностью именовались «мальчиками», в лаборатории Римского университета начали планомерное исследование взаимодействия нейтронов со многими веществами периодической системы. Уже было ясное понимание. Что нейтроны – это не только удобные снаряды, которые вследствие отсутствия заряда могут беспрепятственно подлетать к заряженному ядру, но в определенной степени и мишень, так как они входят в состав ядра.

Итак, интересующая нас предыстория завершена открытием нейтральной частицы, нейтрона – отличного снаряда для бомбардировки атомного ядра, не чувствующего их заряда. А вот теперь о собственно истории.

Экспериментальная деятельность группы Римских исследователей началась в первых числах марта 1934 года. В распоряжении экспериментаторов были ионизационные счетчики заряженных частиц примитивной конструкции и возможность покупать (в частности, в аптеке) изучаемые вещества для изготовления мишеней. Источники нейтронов, бомбардирующих ядра атомов, изготавливали сами: стеклянные ампулы заполнялись бериллиевым порошком и радоном, который молодым коллегам дарил работавший по соседству профессор Джулио Трабакки, главный физик министерства здравоохранения Италии. Радон рождал α -частицы, α -частицы бомбардировали ядра бериллия, ядра бериллия рождали нейтроны, а нейтроны направлялись на мишени. Для того чтобы излучение источника не регистрировалось счетчиками, мишени облучались в одной комнате, а счетчики располагались в другой, до которой надо было добежать поскорее, чтобы наведенная активность мишени не успела существенно ослабеть. Бег с облученной мишенью из

комнаты в комнату был неременной процедурной деталью очень многих нейтронных исследований тридцатых годов, и в Италии и в России. В Италии бегал Ферми, а в России – Курчатов!

В марте, двадцать пятого числа, в редакцию журнала Национального исследовательского совета было направлено письмо с сообщением о первых успехах: фтор, подвергавшийся облучению, обнаружил наведенную облучением радиоактивность. Потом письма - четкие и лаконичные – будут направляться в журнал еженедельно.

Эти сообщения из Рима привлекли внимание всех заинтересованных проблемой. В конце апреля Ферми получил письмо из Англии от Резерфорда. В письме - благодарность за сообщение результатов опытов по наведению с помощью нейтронов временной радиоактивности в некоторых элементах, слова о том, что в дальнейшем, видимо, удастся получить сведения и о механизме этого процесса, а в конце письма шутка «Поздравляю Вас с успешным побегом из сферы теоретической физики!»

Незадолго перед началом периода летних отпусков Ферми с сотрудниками, опускаясь вниз по Менделеевской таблице, подошли к торию и урану. Облучая уран нейтронами, они рассчитывали, утяжеляя ядро, получить трансурановые элементы. В отпуск ушли с уверенностью, что трансурановые элементы получены, что право на отдых заработано. Здесь напрашивается словосочетание, которое обычно произносится в иной ситуации: «Ушли на заслуженный отдых».

Идея получения трансуранов в те годы носилась в воздухе. Прямолинейная логика естественно приводила к мысли о том, что образование трансурана – единственное и естественное следствие поглощения нейтронов ядром урана – последнего элемента «стабильной» периодической системы. Предполагалось именно так: ядро урана поглотит нейтрон, станет более тяжелым и станет трансурановым ядром. В том же 1934 году немецкий физико-химик Ида Ноддак прислала в Рим оттиск своей статьи, (опубликованной в немецком журнале прикладной химии), в которой обсуждалась возможность трактовать опыты Ферми и сотрудников как свидетельствующие о распаде облученного нейтронами ядра урана на две части. Но прямолинейная логика оказалась непоколебимой: идея поглощения не уступила место идее распада. Теперь, зная обо всех последующих событиях деления ядра, о мировой войне, о зверствах гитлеровского фашизма, об ужасах Хиросимы, мы, не верящие в бога, бога должны благодарить за то, что итальянские физики оказались загипнотизированными идеей возможности получения трансурановых элементов и, ведомые дисциплинированной логикой, не допустили мысль о возможности деления урана. В своей книге Энрико Ферми и его ученик, участник нейтронных исследований, проводившихся в Риме, Эмилио Сегре, вспоминая об отриске, присланном Идой Ноддак, размышляет о возможной причине «слепоты» Ферми. Он пишет: «много лет спустя Ферми говорил, что в то время были ошибочные данные по дефектам массы, которые не допускали возможности деления». Мы же теперь можем

констатировать, что пренебрежение соображением Иды Ноддак - счастливое обстоятельство, которому человечество в немалой мере обязано тем, что Гитлер в войне не располагал ядерной бомбой. Кроме великих откровений существуют и великие заблуждения. Заблуждения Ферми и его «мальчиков» относятся к разряду великих. Лишь в 1939 году процесс деления был опознан.

После «заслуженного отдыха» опыты по облучению нейтронами различных веществ были в Риме возобновлены. Обнаружилось неожиданное обстоятельство: интенсивность излучения серебра, наведенная нейтронами, оказалась зависящей от того, на каком столе проводились опыты. С целью разгадать обнаружившуюся неожиданность были поставлены специальные опыты, и выяснилось, что стол оказался не просто столом – подставкой под приборами, а действующей деталью экспериментальной установки. Те же головы, которые совсем недавно подчинялись прямолинейной логике, в этих опытах повели себя независимо и революционно: 22 октября утром между источником нейтронов и серебряной мишенью был поставлен парафиновый блок и активность серебра, наведенная нейтронами, резко возросла. А дело было вот в чем: и парафин, и деревянный стол содержит в себе большое количество атомов водорода. Их ядра – протоны, которые имеют массу такую же, как и нейтроны, эффективно нейтроны тормозят, а заторможенные нейтроны взаимодействуют с ядрами серебра эффективнее, чем быстрые. А ведь все, всегда и везде считали – и это кажется очень естественным - что именно быстрым нейтронам доступно проникновение в ядро, а не медленным.

В тот же день 22 октября в научный журнал было послано письмо с сообщением об открытии эффекта замедления нейтронов. Затем Ферми и его сотрудникам потребовалось шесть недель для того, чтобы всесторонне исследовать этот эффект. Громоздкое оборудование и в этом случае не оказалось необходимым: экспериментировали с блоками парафина, опускали мишень и нейтронный источник в небольшой водяной бассейн во дворе Римского университета. По существу, как писал поэт, сочиняли ничем ни на чем: думали, сомневались, проверяли сомнения. Энрико Ферми, на счету которого много выдающихся достижений в области современной физики, открытие эффекта замедления нейтронов считал своей наибольшей удачей.

Здесь необходима передышка для подведения попутного итога. Строго говоря, в своей надежде получить трансурановый элемент, добавляя к урану нейтрон, римские физики не обманулись. В их опытах действительно уран-238, поглотив нейтрон, превращался в первый трансурановый элемент, занимающий девяносто третью клетку таблицы Менделеева и именуемый теперь нептунием. Было и это! Но было и многое другое, не менее, а быть может, более важное, в чем физики группы Ферми поначалу не разобрались. Понять это другое, в данном случае им, видимо, мешала некоторая прямолинейность мышления, преодоленная иными физиками.

Исследованиями в области нейтронной физики, начавшимися в лаборатории Римского университета, стали заниматься во многих лабораториях Европы и Америки. В 1938 году эти исследования приобрели особую остроту. Теперь основные

события происходили не в Римской, а в других лабораториях: в Париже - в лаборатории Ирен Кюри (в институте, созданном Марией Кюри) и в Берлине - в лаборатории Отто Гана, Фрица Штрассмана и Лизы Майтнер (в институте химии Кайзера Вильгельма). История научного соревнования двух этих лабораторий детально, день за днем, прослежена историками науки. Здесь мы ограничимся лишь фразой, заключающей эту историю: в декабре 1938 года Ган и Штрассман убедительно показали, что при облучении урана медленными нейтронами образуются барий, лантан и церий – элементы, расположенные в середине периодической системы Менделеева, а не за ураном. Ядро урана делится!

Ган и Штрассман – химики-аналитики и они не взяли на себя право обсуждать физическую причину такого результата. Но результат - удивительный и чрезвычайно важный, они решили срочно опубликовать. 22 декабря 1938 года в немецкий научный еженедельник поступило их письмо. 6 января 1939 года оно было опубликовано.

Существо открытия, сделанного Ганом и Штрассманом отчетливо поняла их бывшая сотрудница Лиза Майтнер, изгнанная Гитлером из Германии за неарийское происхождение. Письмо Гана она получила в небольшом шведском городке, и именно она первая произнесла слово деление, распад ядра урана, вызванный поглощением нейтрона. Этот распад ей представился подобным делению бактерий.

Итак, исследования, начатые в 1934 году, завершились в 1938 году открытием деления ядер урана под влиянием бомбардировки медленными нейтронами. Это открытие породило множество вопросов. Среди них главный был такой: если энергии, привносимой в ядро медленным (тепловым) нейтроном, оказывается достаточно для того, чтобы, потеряв устойчивость, ядро разделилось на два осколка, то возможно иногда ядро может разделиться и спонтанно, самопроизвольно, случайно приобретая необходимую для этого энергию.

Для нашего дальнейшего повествования ответ на этот вопрос необходим. Описанию поисков ответа на этот вопрос и посвящен следующий очерк.

Спонтанное деление тяжелых ядер

Об открытии спонтанного деления ядер Константином Антоновичем Петржаком и Георгием Николаевичем Флёровым написано много напыщенных фраз, так как некоторые журналисты стремились щедро облагодетельствовать их, сравнивая с детективами. Мне, тоже пишущему об их открытии, очень хотелось бы рассказать об этом открытии попроще, обратив внимание на два аспекта проблемы спонтанного деления: “как было обнаружено” и “как было объяснено”. “Как было обнаружено” – это всегда интересно потому, что отыскивая ответ на этот вопрос, приходится следить за переплетением зрелого мастерства и обычного человеческого упорства со случайностью находок; естественной предопределённости результата с множеством обстоятельств, маскирующих его; желание обнаружить искомое с необходимостью отодвигать этот момент сомнениями, контрольными опытами, мысленной и реальной

дискуссией с оппонентами, которые, как известно, бывают всякими. С ответа на вопрос “как было обнаружено” мы и начнем рассказ о спонтанном делении ядра.

В 1939 году одна из основных задач в области ядерной физики формулировалась так: могут ли нейтроны, возникшие в процессе деления, вызвать деление ядер U^{238} , который составляет основную массу природного урана? Эта задача привлекла к себе интерес многих лабораторий. В Ленинградском физико-техническом институте экспериментально исследовать эту возможность Игорь Васильевич Курчатов поручил двум своим ученикам - Константину Антоновичу Петржаку и Георгию Николаевичу Флëрову. В кратком очерке, посвящённом воспоминаниям о тех днях, Георгий Николаевич пишет: “Как мы потом убедились, это решение Курчатова оказалось правильным. Работе не мешало то, что мы были друзьями. Наоборот, в сумме нас было больше, чем двое”. Добавим: их было двое, оба были очень молоды, оба были преисполнены творческого энтузиазма и неподдельного интереса к науке.

Спонтанное деление урана неожиданно обнаружило себя на самой начальной стадии работы экспериментаторов, готовившихся к поиску ответа на вопрос, заданный им учителем. Экспериментальная задача состояла в том, чтобы создать установку, которая с высокой степенью чувствительности могла бы регистрировать осколки ядер, разделившихся под влиянием бомбардирующих их нейтронов. Слова “высокая чувствительность” надо подчеркнуть, так как ожидавшийся эффект мог быть слабым, то есть число возможных осколков малым и недостаточно чувствительный счетчик мог бы на фоне “фона” не зарегистрировать их. А для этого надо, чтобы “фон”, то есть случайные импульсы, которые счетчик регистрирует и тогда, когда нейтроны извне в камеру не поступают, было поменьше, а число облучаемых ядер урана - побольше. Эту задачу экспериментаторы решили, поместив в ионизационную камеру не одну, а 15 параллельно расположенных пластин, покрытых слоем окиси урана так, что отрицательно и положительно заряженные пластины чередовались. Их общая площадь была 1000 см^2 .

Сохранились воспоминания о многих трудностях, которые надо было преодолеть, создавая камеру и счетчик. Так, например, очень сложна была процедура нанесения ровного тонкого слоя окиси урана на поверхность пластин. Сделать это не просто: слой должен быть тонким ($10 - 20 \text{ мг/см}^2$) и однородным по толщине. Эту операцию сумел осуществить Петржак. У него был давнишний опыт художника, работавшего на заводе фарфоровых изделий.

Собранная и отрегулированная установка обнаружила устойчивый “фон” – шесть импульсов в час. Собственно в этом устойчивом “фоне” и заключалось открытие спонтанного деления урана: источника нейтронов нет, а счетчик считает импульсы. Видимо, именно появление осколков спонтанно делящихся ядер и определяет эти импульсы. Предположение разумное, тем более, что принципиальная возможность эффекта, как мы знаем, теоретически была предсказана и Я.И. Френкелем, и Н.Бором. Н. Бор и Дж. Уилер осуществили количественный расчет и показали, что время жизни ядра урана по отношению к спонтанному распаду равно $\sim$

10^{22} лет. Время огромное, но 6 импульсов в час при высокой чувствительности установки этому времени не противоречат.

Не очень бдительный экспериментатор, пожалуй, прошел бы мимо этого малого фона, а не очень придирчивый экспериментатор нашел бы, пожалуй, основания для мгновенной радости по поводу состоявшегося открытия. Тем более, что интенсивность фона не противоречит оценкам теоретиков. В каждом человеке в какой-то степени живёт подспудная готовность принять желаемое, а тем более очень желаемое, за действительное и тем более, если действительное - не пустячок, а открытие нового вида радиоактивности. Необходима строго дисциплинированная логика, обострённое чувство ответственности перед наукой и, главным образом, перед самим собой, чтобы этой готовности противопоставить скрупулёзность, исключающую тень сомнений. К.А. Петржак и Г.Н. Флёров именно это сделали. Рассуждали они так.

Сомнение 1. Быть может, слышимые импульсы обусловлены каким-то внешним источником колебаний. Для того, чтобы это сомнение устранить (или убедиться в его обоснованности), естественно убрать из камеры окись урана. Пластины, разумеется, сохранить, они основная деталь ионизационной камеры, а покрывающую их окись урана убрать. Поставили такой опыт. Оказалось, что камера с пластинами без окиси урана за 5 часов не зарегистрировала ни одного импульса, а должна зарегистрировать 30 импульсов! То есть явно не внешний источник колебаний рождает импульсы.

Сомнение 2. Так как окись урана эмитирует α - частицы, то не исключено, что именно их появление камера и регистрирует. Проверили это в следующих опытах. Камеру заполняли не окисью урана, которая кроме α - частиц, делясь, рождает осколки, а препаратами, не содержащими уран, то есть не рождающими осколки, но эмитирующими α - частицы. Из этих опытов однозначно следовало, что дело не в α - частицах, не они определяют фон.

Сомнение 3. Быть может, за фоновые щелчки счетчика ответственны случайные разряды на поверхности слоёв окиси урана, покрывающих пластины камеры. Для того, чтобы разрешить это сомнение были поставлены два опыта, результаты которых должны были дополнять друг друга. Первый опыт состоял в следующем. Слой окиси урана на пластинках был покрыт микронной металлической, то есть проводящей, фольгой, назначение которой состояло в том, исключить разряды на поверхности слоя окиси урана. Это фольга делала, но кроме того, как выяснилось, она и уменьшала число фоновых щелчков. Это уменьшение могло быть обусловлено поглощением фольгой части осколков, возникающих при спонтанном делении. Чтобы убедиться в состоятельности такого предположения, понадобился второй опыт, в котором экспериментаторы убедились в том, что фольга в равной степени уменьшает число импульсов, создаваемых осколками, рождающимися и при спонтанном делении, и при делении, вынужденном потоком нейтронов от внешнего источника. В качестве такого источника К.А. Петржак и Г.Н. Флёров воспользовались ампулой, заполненной радоном и порошком бериллия. В те годы такие ампулы были

основными источниками нейтронов и в опытах группы римлян, и в опытах ленинградцев, и в опытах харьковчан, и в опытах кавендишевцев. У этих ампул огромная заслуга перед ядерной физикой. Впрочем, эту заслугу можно было бы сформулировать и более торжественно, упомянув при этом не только ядерную физику, но и цивилизацию в целом.

Сомнение 4. Быть может, фоновые импульсы обусловлены осколками, возникающими не при спонтанном делении, а под влиянием космической радиации. Следовательно, от неё надо избавиться. Решили провести опыты глубоко под землёй, под слоем твёрдого грунта, поглощающего космическое излучение. Для размещения подземной лаборатории избрали недавно созданную шахту станции “Динамо” московского метрополитена.

Здесь я пренебрегаю возможностью пофантазировать на заманчивую тему ядерная физика, лаборатория в подземелье строящегося метро, ночные бдения экспериментаторов, стремящихся избежать помех, обусловленных дневной работой метро. Этой возможностью с большой журналистской выдумкой и разным успехом и до меня пользовались многие. Важно здесь лишь вот что: под землёй эффект обнаруживался так же, как он обнаруживался и на поверхности земли. Итак, “фон” не случайность, а свидетельство спонтанного деления ядер урана!

В своей первой статье, посвященной открытому ими явлению, К.А. Петржак и Г.Н. Флёрер пишут менее категорично, чем это написано в предыдущей фразе. Пишут они так: “Мы склонны думать, наблюдаемый нами эффект следует приписать осколкам, получающимся в результате спонтанного деления урана”. Они не ошиблись, спонтанное деление ядер – одно из фундаментальных явлений природы было ими открыто. И ещё одно замечание об этой статье. Она завершается благодарностью руководителю работы профессору И.В. Курчатову “ наметившему все основные контрольные эксперименты и принимавшему самое непосредственное участие в обсуждении результатов исследований”. Я полагаю, что читателю, которому интересна не только физика, но и её история, знать об этой благодарности следует. В ней и благородство учеников, и значимость Учителя.

Теперь обратимся ко второму аспекту проблемы: как явление было объяснено? Собственно, теоретики спонтанное деление не объяснили, а предсказали. Я.И. Френкель, создавая электрокапиллярную теорию деления ядра, отчетливо понимал, что спонтанное деление должно происходить, а Н. Бор и А. Уиллер, как уже упоминалось, даже вычислили период полураспада ядра U^{235} . Да и обычная интуиция, воспитанная на явлениях классической физики, подсказывает, что утяжеляющееся ядро должно приблизиться к пределу, когда его существование станет нестабильным, когда случайное искажение формы ядра может завершиться его распадом, спонтанным делением. В действительности, однако, интуиция здесь заведомо недостаточна, так как спонтанное деление – эффект квантовый, а, следовательно, классическая интуиция может лишь создать иллюзию понимания. А речь идет о том, что даже при условии, что деление на две почти равные части энергетически

целесообразно – ядро от деления охраняет потенциальный барьер, означающий необходимость затратить для деления некоторую энергию. Скажем так: шарик, лежащему в ложбине на горе, выгоднее оказаться у подножья горы. Но для того, чтобы получить такую возможность, ему надо затратить энергию, чтобы выбраться из ложбины на вершину горы, а потом скатиться. Это соображение очевидное, ”классическое”. А квантовость эффекта обнаруживается в том, что преодоление барьера происходит не простым перепрыгиванием через него, а проникновением сквозь барьер механизмом “туннелирования”. Оно происходит тем легче, чем меньше высота барьера, который должен быть преодолен.

Я, конечно же, ничего читателю не объяснил, разве лишь сопоставил спонтанное деление тяжелых ядер с иными явлениями, в основе которых лежит эффект квантового “туннелирования”: распад радиоактивных ядер, эмиссия электронов из холодного металла и другие.

Итак, спонтанное деление было открыто, сообщения об этом были направлены и в отечественные, и в американские журналы. Вскоре началась война – до того, как появились реакции научной общественности на очень примечательное событие в науке об атомном ядре.