

ЭЛЕМЕНТ № ...

Ю. А. ЛАЗАРЕВ,
Объединенный институт
ядерных исследований

НИЛЬСБОРИЙ

Элемент с атомным номером 105 — самый тяжелый из всех известных доньше элементов. Он замыкает периодическую систему Д. И. Менделеева; это тринадцатый и пока последний искусственный трансурановый элемент. К его открытию параллельно шли два больших научных коллектива: Лаборатория ядерных реакций Объединенного института в Дубне и Радиационная лаборатория имени Эрнста Лоуренса в Беркли, США. В Дубне элемент № 105 сумели получить раньше и назвали нильсборием в честь Нильса Бора. (Американские физики, получившие элемент № 105 двумя месяцами позже, предложили для него свое название — ганий в честь Отто Гана. Под этим названием он фигурирует в американской литературе.)

КАК И ВСЕ ДРУГИЕ элементы тяжелее фермия, элемент № 105 получен в ядерных реакциях с участием ускоренных тяжелых ионов. Если ускоренное налетающее ядро, преодолев кулоновский барьер отталкивания, полностью сольется с ядром мишени, то в результате образуется тяжелое составное ядро (или компаунд-ядро).

Оно обязательно будет возбуждено и оттого мгновенно разделится на два осколка сравнимой массы. При этом образуются ядра известных элементов из середины периодической таблицы.

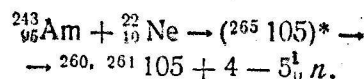
И лишь в очень редких случаях, примерно в одном из ста миллионов, составное ядро может избежать деления, «сбросив» свое возбуждение испусканием нескольких нейтронов. Только в этом случае и образуется новый эле-

мент. Очевидно, что вероятность образования ядер нового элемента мала; с увеличением порядкового номера синтезируемого элемента она становится все меньше и меньше.

Скорость образования элементов № 104 и 105 составляет всего около десятка атомов в час. К тому же у элементов тяжелее фермия очень короткие времена жизни — от десятков секунд до десятых долей секунды. С увеличением атомного номера время жизни элементов уменьшается так же резко, как и вероятность их образования.

Эти обстоятельства чрезвычайно затрудняют идентификацию новых элементов и изотопов (определение порядкового номера Z и массового числа A). Чтобы все-таки поймать эти единичные атомы, в Лаборатории ядерных реакций были созданы специальные быстродействующие и высокоэффективные установки, регистрирующие радиоактивный распад (α -распад, спонтанное деление) и способные непрерывно работать в течение многих суток.

ПЕРВЫЕ ОПЫТЫ по синтезу 105-го элемента начались в Дубне в 1967 году под руководством академика Г. Н. Флерова. Была выбрана реакция полного слияния ионов неона-22 (ускоренных на циклотроне до энергии около 120 Мэв) с америцием-243:



* Здесь звездочкой обозначено неустойчивое компаунд-ядро.

По теоретическим оценкам известных американских ученых Гленна Сиборга и Виктора Вайолы, изотопы $^{260}_{105}$ и $^{261}_{105}$ должны были быть α -излучателями. За очень короткое время (от 0,01 до 0,1 секунды) они должны были испускать α -частицы (с энергией 9,4—9,7 Мэв) и превращаться в ядра 103-го элемента.

Этот элемент был уже достаточно изучен: его изотопы с массой 256 и 257 «живут» 20—30 секунд и тоже испускают α -частицы, превращаясь в ядра элемента № 101 — менделевия. И вполне закономерно, что первые попытки идентифицировать элемент № 105 сводились к установлению генетической связи α -частиц с новыми, не наблюдавшимися прежде характеристиками, с α -частицами, порожденными уже известным 103-м элементом.

К началу 1968 года в результате длительных опытов удалось зарегистрировать около десяти случаев таких генетически связанных α -распадов. Новый короткоживущий излучатель давал α -частицы с энергией около 9,4 Мэв, что соответствовало предсказаниям теоретиков. С большой вероятностью это излучение можно было приписать элементу № 105, однако наблюдавшийся эффект был очень мал и неустойчив, а теория — не слишком надежна.

Для ядер с нечетным числом нуклонов ее прогнозы о времени жизни и энергии α -частиц всегда очень неопределенны. Если в ряду «четных» ядер (число протонов и число нейтронов — четные) эти свойства изменяются закономерно, то у «нечетных» картина совсем иная: исключений из правила почти столько же, сколько «правильных» ядер. Естественно, что неопределенность теоретических оценок затрудняет поиски «нечетных» элементов и изотопов.

Правда, кое в чем теория помогла. Она допускала, что превращение ядра элемента № 105 в 103-й может идти несколько необычным путем. Испустив α -частицу, ядро со 105 протонами не сразу превращается в ядро 103-го элемента в основном его состоянии. Может существовать некое промежуточное, возбужденное состояние образующихся дочерних ядер. Поэтому энергия α -частиц, испускаемых ядрами нового элемента, может оказаться меньше предсказываемой теоретиками величины 9,4—9,7 и составить всего 8,9—9,2 Мэв. В силу этого обстоятельства время жизни ядер 105-го может оказаться в десятки раз больше, чем ожидалось... Из всего этого следовало, что так же внимательно, как область 9,4—9,7 Мэв, нужно исследовать

и другую, более низкую по энергиям, часть альфа-спектра.

Здесь, видимо, нужно пояснить, что это за спектры.

Как и при многих исследованиях, в ядерной химии получают не отдельные сведения, а спектры — полную картину разброса частиц по энергии. «Снимали» такие спектры и в дубненских экспериментах по синтезу элемента № 105. Однако в опытах 1968 года анализ части спектра ниже 9,4 Мэв был сильно затруднен из-за фона. Фон — излучение, подобное искомому, — возникал из-за побочных ядерных реакций. Альфа-излучатели образовывались на микропримесях свинца в материале мишени. Эти фоновые реакции более вероятны, чем главная, а ядерные свойства продуктов этих реакций весьма близки к ожидаемым для 105-го элемента. Опасны даже ничтожные примеси свинца.

Гарантии, что этой микропримеси в мишенях нет, не было. Таким образом, хотя полученные в опытах 1968 года результаты были близки к предсказанным, они, по мнению Г. Н. Флерова и большинства его сотрудников, не могли служить достаточным основанием для того, чтобы утверждать: элемент № 105 уже открыт.

Видимо, нужно было идти другим путем. Но каким?

АНАЛИЗ СВОЙСТВ элементов № 102, 103 и 104 позволял предполагать, что наряду с α -распадом элемент № 105 должен испытывать и спонтанное (самопроизвольное) деление. Для ядер урана и близких трансуранов этот вид распада крайне редок, но по мере продвижения в далекую трансурановую область его роль постоянно растет. Для некоторых изотопов 104, 105 и 106-го элементов спонтанное деление может быть основным, решающим видом радиоактивного распада.

Сейчас известно, что открытый в Дубне изотоп элемента № 105 делится спонтанно, без вмешательства извне, примерно в 20 случаях из ста, но в 1968 году этого, конечно, еще не знали.

Идентификация элемента по спонтанному делению имеет бесспорные достоинства. Во-первых, факт распада тяжелого ядра на два осколка обнаруживается значительно проще и надежнее, чем случаи альфа-распада. Аппаратура, регистрирующая спонтанное деление, намного чувствительнее. А во-вторых, при правильной постановке опыта фон практически исключен.

Принимая во внимание эти обстоятельства,

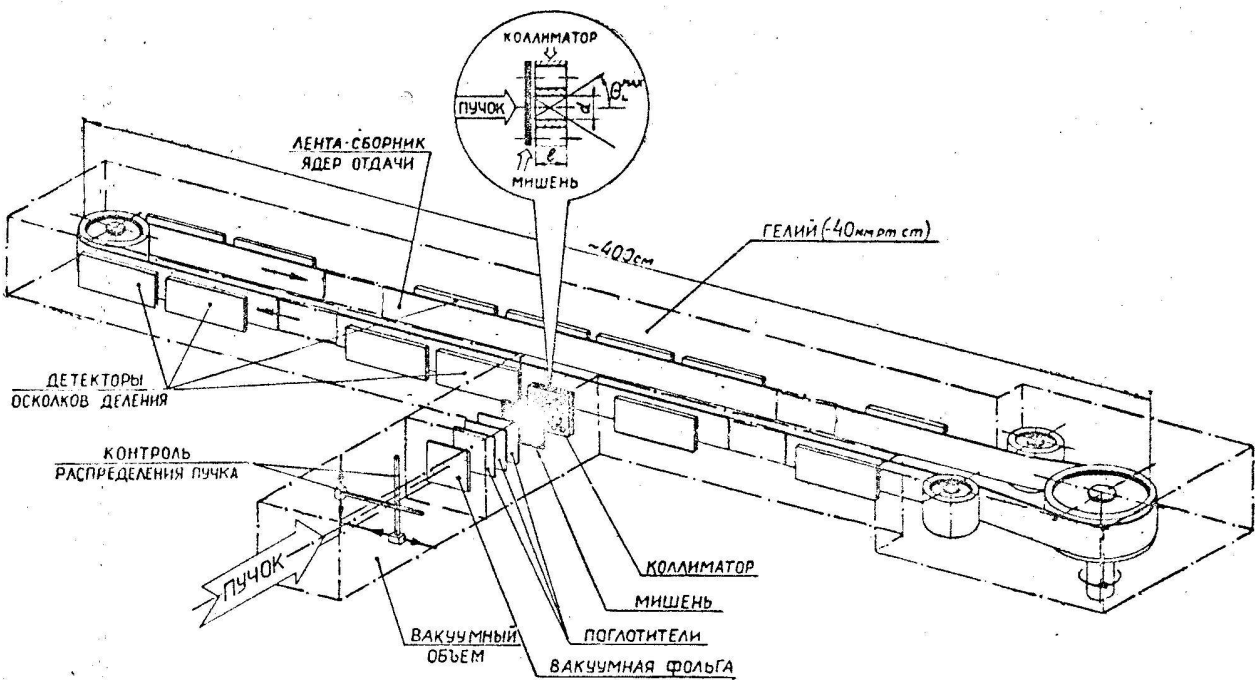


Схема экспериментальной установки для регистрации короткоживущих спонтанно делящихся изотопов, образующихся в ядерных реакциях с ускоренными тяжелыми ионами

в ноябре 1969 года в Лаборатории ядерных реакций были начаты поиски элемента № 105 по спонтанному делению. Реакция синтеза оставалась той же: америций-243 + неон-22. Схема установки, которая использовалась в этих опытах, показана на этой странице.

Ядра мишени, получив большой импульс от налетающего иона, выбивались из нее и попадали на сборник — бесконечную никелевую ленту-конвейер длиной 8 метров и шириной 2,5 сантиметра. Лента двигалась с постоянной скоростью и переносила попавшие на нее ядра от мишени к детекторам, регистрирующим осколки спонтанного деления. Чтобы исключить фон, и сборник и детекторы делали из сверхчистых материалов с рекордно низким содержанием урана — менее одной стомиллиардной грамма урана на грамм материала.

Вдоль этой ленты, подготовленной из фосфатного стекла (в виде пластинок размером $60 \times 35 \text{ мм}^2$), располагались детекторы. После специальной химической обработки на таких стеклах можно отчетливо видеть следы (треки), оставленные осколками деления. По распределению треков на детекторах (при из-

вестной скорости движения ленты-сборника) можно судить о времени жизни спонтанно делящегося изотопа, а по числу следов — о вероятности его образования...

В ПЕРВОМ ЖЕ ОПЫТЕ 1969 ГОДА, продолжавшемся около 70 часов, были зарегистрированы 58 следов от осколков спонтанного деления изотопа с периодом полураспада около 2 секунд. Ранее изотоп с такими свойствами не был известен. Естественно было предположить, что спонтанное деление с таким периодом полураспада испытывает изотоп 105-го элемента. Но чтобы доказать это, необходимо было выяснить механизм образования нового излучателя.

При облучении америция-243 ионами неона-22 105-й элемент может образоваться только в случае полного слияния взаимодействующих ядер. Важно, что в реакциях этого типа вероятность образования искомого продукта чрезвычайно сильно зависит от энергии налетающей частицы: изменение энергии ионов всего на 10% уменьшает выход продуктов реакции более чем в 10 раз. (Заметим тут же, что зависимость вероятности образования

изотопа от энергии бомбардирующих частиц называется функцией возбуждения ядерной реакции).

Другая особенность избранной реакции заключается в том, что к полному слиянию приводят лишь центральные, «лобовые» соударения взаимодействующих ядер. Поэтому ядра-продукты в соответствии с законом сохранения импульса летят строго вперед, по направлению пучка налетающих частиц. Если же происходит лишь касательное соударение, то налетающее ядро и ядро-мишень обмениваются несколькими нуклонами (протонами или нейтронами), или же происходит неполное слияние, или идут реакции с вылетом заряженных частиц. Во всех этих случаях вылетающие из мишени ядра имеют значительный угловой разброс.

Помещая между мишенью и сборником различные коллиматоры* и определяя число регистрируемых осколков в зависимости от степени коллимации, можно уверенно установить, какая реакция происходит: полное слияние ядер мишени и снаряда, частичное слияние или лишь соприкосновение, сопровождаемое передачей от ядра к ядру одного или нескольких нуклонов.

Этот метод, разработанный и введенный в практику трансурановых исследований сотрудниками нашей лаборатории, был применен и при идентификации элемента № 105 по спонтанному делению.

Оказалось, что выход спонтанно делящегося изотопа с периодом полураспада около двух секунд при увеличении степени коллимации** в пять раз уменьшился всего вдвое. Такие показатели характерны для летящих к сборнику напрямик продуктов реакций полного слияния, что ясно видно на диаграмме (с. 25). Для ядерных реакций других типов зависимость между выходом продуктов и степенью коллимации иная.

Известно, что при облучении америция-243 неосом-22 происходят и реакции передачи: ядро-снаряд лишь касается ядра-мишени и пролетает дальше, захватив при этом, например, один чужой нейтрон. Получаются возбужденные ядра изомера америция-242, которые находятся в квазистабильном состоянии и спонтанно делятся всего через 0,14 секунды. Так вот, выход этих ядер при пятикратном изменении степени коллимации упал более чем

в пять раз, что естественно (см. диаграмму) для реакций передачи вообще — «неорганизованные», летящие вкривь и вкось ядра не проходят через коллиматор.

Таким образом, коллимационный метод дал важный вывод: спонтанно делящийся изотоп с периодом полураспада около двух секунд образуется при полном слиянии ядер америция и неона. Следовательно, в этих ядрах по 105 протонов!

В ДАЛЬНЕЙШИХ ОПЫТАХ измеряли функцию возбуждения. Результаты этих опытов (см. график на с. 25) показали, что она имеет характерный вид колокообразной кривой с острым максимумом при энергии ионов неона около 117 Мэв. Форма и положение максимума полностью соответствовали ожидаемым для реакции полного слияния ядер америция-243 и неона-22 с последующим испарением четырех нейтронов. Это означало: наиболее вероятное массовое число нового изотопа равно 261 ($243 + 22 - 4 = 261$).

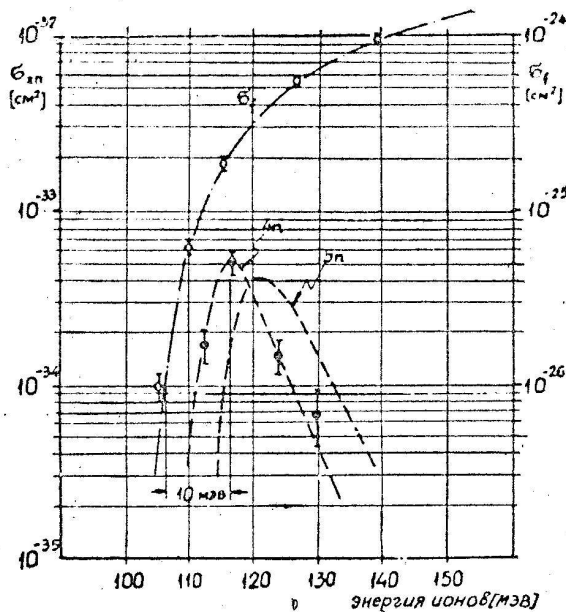
Было проведено более десяти контрольных опытов продолжительностью 40—50 часов каждый. Выводы, полученные на основе этих опытов, можно свести к следующему: при облучении америция-243 ускоренными ионами неона-22 наряду с другими ядерными реакциями происходит реакция полного слияния двух ядер с последующим испарением нескольких нейтронов; в результате этой реакции образуются ядра 105-го элемента, вероятнее всего изотопа $^{261}105$; эти ядра короткоживущи — период полураспада $1,8 \pm 0,6$ секунды, они могут распадаться двумя путями — или испускать α -частицу, или — примерно в 20% случаев — делиться спонтанно, на два осколка с соизмеримыми массами.

В опытах по спонтанному делению было зарегистрировано более 400 ядер нового элемента. Результаты этих опытов были опубликованы в «Сообщениях Объединенного института ядерных исследований» от 18 февраля 1970 года, а затем в журналах «Атомная энергия» и «Nuclear Physics».

К этому времени удалось изготовить сверхчистую мишень из америция-243 с содержанием свинца меньше одной десятиллиардной доли грамма. Это намного облегчило изучение α -распада 105-го элемента. Вновь были организованы опыты, подобные первым опытам 1967 года. Они показали, что большинство α -частиц, испускаемых при распаде ядер 105-го элемента, имеют энергии около 9 Мэв, а период полураспада нового излучателя хорошо согласуется с определенным в опытах

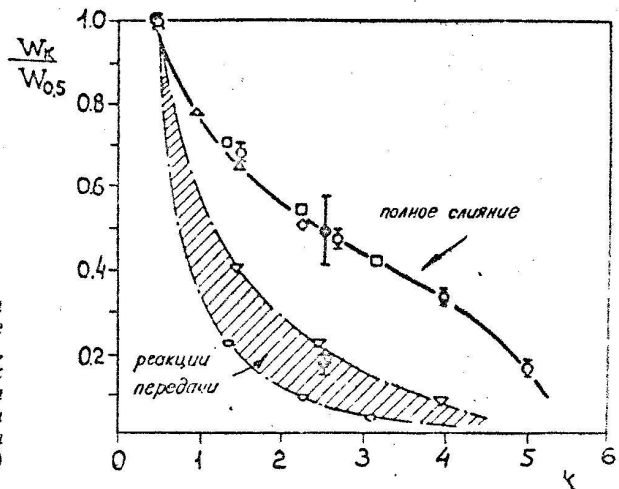
* Коллиматор — устройство для получения параллельных пучков лучей или частиц.

** Степенью коллимации называется отношение диаметра отверстия к высоте коллиматора.



Колоколообразные кривые — зависимость вероятности образования спонтанно делящегося изотопа 105-го элемента (левая шкала) от энергии ионов неона-22. Штрихпунктиром показана функция возбуждения для реакции деления компаунд-ядра. Ее величины указаны на правой шкале

На этой диаграмме показаны интегральные угловые распределения ядер отдачи, образующихся в реакциях полного слияния (сплошная линия) и в реакциях передачи нуклонов (заштрихованная область)



по спонтанному делению. Заметим попутно, что время жизни обнаруженного изотопа 105-го элемента оказалось в десятки раз больше, чем предсказали теоретики.

НЕСКОЛЬКО ПОЗЖЕ появилось сообщение об открытии элемента № 105 в Радиационной лаборатории имени Э. Лоуренса (Беркли, США). 28 апреля 1970 года (сопоставьте даты!) об этом сообщила Комиссия по атомной энергии США.

Методика для регистрации α -распада была

аналогична использовавшейся в Дубне, но ядерная реакция синтеза была другой: калифорний-249 (атомный номер 98) плюс азот-15 (атомный номер 7). Обнаружив для изотопа 105-го элемента α -распад с энергией около 9,06 Мэв и период полураспада $1,6 \pm 0,3$ секунды, американские ученые из Беркли практически подтвердили выводы, сделанные ранее в Дубне в опытах по спонтанному делению.

Теперь, когда радиоактивные свойства элемента № 105 были определены и подтвержде-

ны, особенно важно стало исследовать химические свойства нового элемента. Эти эксперименты проводились радиохимиками Лаборатории ядерных реакций под руководством доктора химических наук И. Звары.

ОСНОВНЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА элемента № 105 определялись на той же экспериментальной методике, которая была разработана для химической идентификации 104-го элемента. Суть ее — в химическом разделении продуктов ядерных реакций, образующихся в мишени.

Ожидалось, что по химическим свойствам элемент № 105 должен оказаться аналогом ниобия и тантала — это следует из логики периодического закона. А раз так, то его высший хлорид и, возможно, оксихлорид должны быть сравнительно летучими соединениями и, значит, для его химического выделения применим метод адсорбции газообразных хлоридов по зонам, как было в опытах с курчатовием*.

Атомы отдачи, образованные в реакции $^{243}\text{Am} + ^{22}\text{Ne}$, вылетали из мишени, точно так же как и в физических опытах. Но теперь их не собирали на никелевую ленту, а подхватывали потоком горячего, нагретого до 300°C азота, и этот поток уносил их в специальную термохроматографическую колонку из стекла. Одновременно в начало колонки подавались хлорирующие агенты — парообразные TiCl_4 и SOCl_2 .

Первый участок колонки (длиной около 30 см) находился при температуре 300°C и служил для отделения твердых нелетучих хлоридов. А летучие пролетали дальше, на второй, более длинный (130 см) участок. Здесь температура равномерно понижалась до 50°C и хлориды разных элементов выпадали в разных зонах — в зависимости от летучести. По положению зоны неизвестного элемента можно было судить, чей он аналог. В предварительных опытах определили зону ниобия как одного из возможных аналогов элемента № 105. И еще — гафния. Теперь надо было только точно определить, где адсорбируются новые ядра.

Спонтанное деление помогло и тут. (Акты спонтанного деления регистрировались теперь небольшими пластинками слюды.) Если в реакции действительно образовывался элемент № 105, «экатантал», то максимум осколков спонтанного деления должен быть заре-

гистрирован в «тантало-ниобиевой» части колонки.

Группировка и местоположение следов от осколков спонтанного деления ядер, образующихся при взаимодействии неона и америция (а их было зарегистрировано около 20), свидетельствовали о том, что спонтанно делящаяся активность принадлежит элементу, хлорид которого менее летуч, чем хлорид ниобия, но не уступает по летучести высшему хлориду гафния. Такие свойства хорошо согласуются с предсказанными для элемента № 105 — экатантала.

Летом 1973 года была испытана несколько иная методика определения химических свойств элемента № 105. Работали с летучими бромидами, а не хлоридами, и пришли к тем же выводам.

ПЕРВООТКРЫВАТЕЛИ ЭЛЕМЕНТА № 105 предложили назвать его нильсборием — в честь Нильса Бора, выдающегося физика XX века, неизменно стремившегося поставить науку на службу миру и прогрессу.

Международный союз по чистой и прикладной химии (ИЮПАК) это название пока не утвердил, как, впрочем, и название гафий, предложенное американскими физиками. В приоритетном конфликте наших и американских ученых по поводу открытия элементов № 102—105 по-прежнему нет компетентного и независимого третейского судьи. Вопрос об окончательном и справедливом наименовании самых тяжелых химических элементов остается не решенным.

* См. «Химия и жизнь», 1972, № 5.