

ИЗ ТЕКУЩЕЙ ЛИТЕРАТУРЫ

НОВОЕ ОБ ЭЛЕМЕНТЕ № 102

Немногим более года назад, 9 июля 1957 г., было опубликовано первое извещение о том, что международному коллективу ученых — сотрудников шведских, американских и английских лабораторий — удалось синтезировать на стокгольмском циклотроне десятый зауроновый элемент — № 102, для которого они предложили наименование «нобелий» (символ No).

Указывалось, что этот элемент в виде изотопа 102^{253} (или 102^{251}) был получен при бомбардировке кюрия Cm^{244} ионами углерода C^{13} и что новооткрытый изотоп обладает периодом полураспада около 10 мин., причем распадается с испусканием альфа-частиц с энергией около 8,5 Мэв.

Сообщение об открытии нового элемента было опубликовано и в ряде советских научных журналов и, в частности, в УФН (декабрь 1957 г., стр. 825). Последующее время показало, однако, что история открытия элемента № 102 отнюдь не завершилась, но скорее лишь началась летом 1957 г. Характер дальнейших работ по синтезу элемента № 102 был обусловлен возникшей сейчас необходимостью установления новых критериев, подтверждающих и доказывающих природу синтезируемых элементов, новых путей эксперимента, определяемых все меньшей и меньшей продолжительностью жизни синтезируемых изотопов. Напомним, что идентификация всех новооткрываемых зауроновых элементов, вплоть до менделевия (№ 101), основывалась на химическом способе их выделения в ионно-обменных колоннах.

При всей «экспрессности» ионного обмена по сравнению с классическими химическими процедурами не приходится, однако, надеяться на его применимость к изотопам, время жизни которых исчисляется лишь секундами или долями секунды.

Между тем из систематики всей совокупности данных о времени жизни и способах распада около сотни известных ныне зауроновых изотопов можно было заключить, что по мере роста атомного номера неустойчивость к альфа-распаду и спонтанному делению быстро нарастает, так что область «минутных» изотопов заканчивается где-то около $Z=102$, а уже при $Z=106-108$ время жизни даже самых «прочных» изотопов будет, видимо, исчисляться миллионными долями секунды. Поэтому и до начала поисков элемента № 102 было ясно, что граница применимости любых химических методов идентификации новых элементов уже близка, и что нужно искать новые пути.

Существенные элементы новизны появились уже в работе А. Гиорзо, Б. Харви, Дж. Чоппина, С. Томпсона и Г. Сиборга (1955 г.) по синтезу элемента № 101 — менделевия. Для того чтобы отделить считанные атомы Mv^{256} от сотен миллионов атомов облучаемой мишени — эйнштейния, эти авторы применили метод ядер отдачи. Бомбардирующие эйнштейний альфа-частицы при «судачном» попадании, необходимым для их поглощения и образования менделевия, передают ядрам мишени большой импульс и выбивают их из мишени в специальный приемник, например, на золотую фольгу. Отношение числа атомов образующегося при бомбардировке элемента к числу атомов близкого ему по химическим свойствам элемента — мишени в приемнике оказывается гораздо больше, чем в самой мишени, и это сильно облегчает дальнейшие процедуры химического разделения.

Собирание в специальном приемнике продукта бомбардировки кюрия ионами углерода предшествовало ионно-обменному разделению элементов и в опытах по синтезу элемента № 102 на стокгольмском циклотроне.

Однако метод атомов отдачи играл в этих опытах, как и в опытах по получению менделевия, еще вспомогательную, второстепенную роль, и решающий вывод о том,

что открыт элемент № 102, был сделан участниками стокгольмской международной группы в основном на основании положения фракции, испускающей $8,5 \text{ Мэв}$ α -частицы, при ее вымывании из ионнообменной колонны.

В сообщении об открытии элемента № 102 было немало неясностей, отмеченных и самими участниками стокгольмской группы в их первой научной публикации¹. Прежде всего, бросалось в глаза определенное противоречие между значениями периода полураспада (10 мин.) и энергии альфа-частиц ($8,5 \text{ Мэв}$). Между этими двумя величинами существует, как известно, определенная связь, причем согласно систематике альфа-распада тяжелых ядер энергии альфа-частиц в $8,5 \text{ Мэв}$ для элемента № 102 должен был бы отвечать период полураспада около 10 секунд. В какой-то мере настораживающей казалась и плохая воспроизводимость опытов — из шести использованных кюриевых мишеней лишь в трех облучение привело к возникновению приписываемой элементу № 102 альфа-активности; к тому же и для этих трех мишеней положительные результаты наблюдались только первые две недели после их изготовления и то лишь в половине случаев.

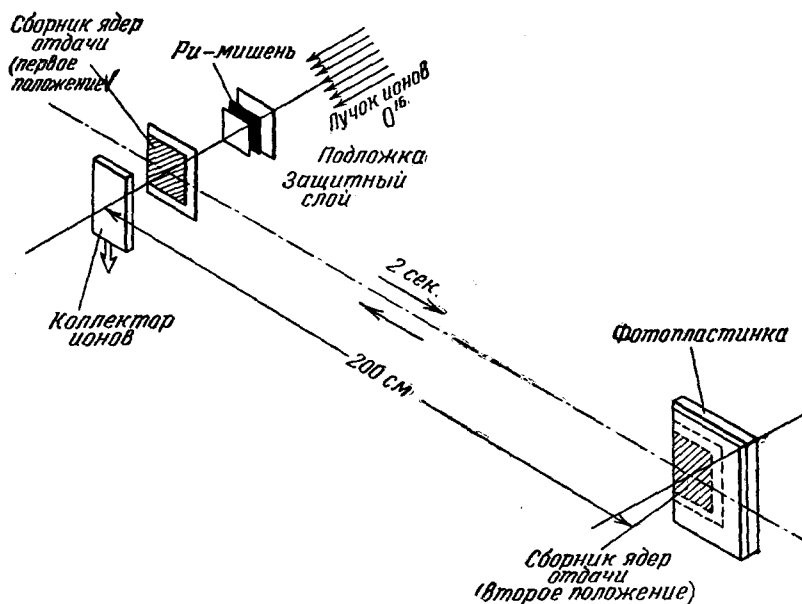


Рис. 1.

Противоречие между временем жизни и энергией альфа-частиц могло, правда, объясняться тем, что альфа-активность обусловлена не самим элементом № 102, но его короткопериодным дочерним продуктом, образующимся при распаде исходного изотопа путем K -захвата. Невоспроизводимость же опытных данных истолковывалась как следствие возможных загрязнений мишени при ее изготовлении или в ходе облучения.

Поэтому новый свет на вопрос о свойствах различных изотопов элемента № 102 могли пролить лишь новые исследования. Эти исследования были выполнены в последний год в СССР и в США, причем они не только привели к новым интересным результатам, но и заложили основы новой методики идентификации изотопов, идущей на смену ионно-обменным методам при изучении таких изотопов, время жизни которых не превышает секунд или долей секунд.

Советские работы по синтезу элемента № 102 были начаты на 150-сантиметровом циклотроне Института атомной энергии АН СССР осенью 1957 г. Этими работами руководит член-корр. АН СССР Г. Н. Флеров, участниками работ является большой коллектив физиков и химиков — С. М. Поликанов, А. С. Карамян, А. С. Пасюк, Д. М. Парфанович, Н. П. Тарантин, В. А. Карнаухов, В. А. Друин, В. В. Волков, А. М. Семчинова, Ю. Ц. Оганесян, В. И. Хализев и Г. И. Хлебников [2].

Для получения нового элемента советские ученые бомбардировали изотопы плутония Pu^{239} и Pu^{241} ионами кислорода с энергией около 100 Мэв . Поскольку время жизни ожидавшихся среди продуктов этой бомбардировки изотопов элемента № 102 могло исчисляться всего секундами, был применен новый метод, представляющий дальнейшее развитие метода отдачи и позволяющий установить также и энергию испускаемых образующимися изотопами альфа-частиц.

Схема опытов московской группы показана на рис. 1. Пучок ионов кислорода (поток которых регистрируется с помощью коллектора ионов и интегратора тока) падает на слой плутония толщиной в несколько сотен микрограмм/см², нанесенный на полуторамикронную никелевую подложку. Поглотившие кислород ядра мишени сквозь напыленный защитный медный слой и попадают в специальный тонкий алюминиевый сборник. Время от времени сборник быстро (за 2—3 секунды) перемещается на расстояние два метра к толстослойной фотопластинке, регистрирующей испускаемые попавшими в сборник ядрами альфа-частицы. В спектре альфа-частиц, наряду с группами, обусловленными ранее известными изотопами фермия и калифорния, была отмечена и группа с энергией $8,8 \pm 0,5$ Мэв. До конца августа 1958 г. было отмечено 87 актов испускания таких частиц. Характер наблюдаемого в опытах московской группы спектра альфа-частиц иллюстрируется рис. 2.

Как явствует из систематики альфа-распада тяжелых ядер, из всех заурановых элементов 8,8 Мэв альфа-частицы могли испускать только изотопы элемента № 102. Среди более близких к плутонию элементов альфа-частицы такой энергии могли бы испускать лишь самые легкие изотопы, образование которых кислородными ионами с энергией 100 Мэв невозможно.

Хотя найденная в опытах на циклотроне ИАЭ АН СССР энергия испускаемых элементом № 102 альфа-частиц и оказалась в согласии с публикацией стокгольмской группы, это еще отнюдь не означает подтверждения стокгольмских данных, где, как уже говорилось, энергия альфа-частиц не соответствует периоду полураспада.

Как показали те опыты московской группы, в которых менялась скорость перемещения сборника ядер отдачи к фотопластинке, период полураспада новооткрытого изотопа во всяком случае меньше 30 сек.

Первое сообщение о московских работах было сделано в феврале 1958 г. С. М. Поликановым на симпозиуме в Копенгагене и тогда же направлено в печать². В то время еще не был уточнен вопрос о том, не обусловлены ли отмеченные в опытах альфа-частицы большой энергии какими-то фоновыми загрязнениями. Такие составляющие фона, как космические лучи, следы ThC', вклад (n, α)-реакций в выход α -частиц, не зависят от скорости перемещения приемника от пучка к фотопластинке и потому, меняя эту скорость, удалось легко показать, что эти источники фона пренебрежимы. Значительно большая опасность могла таиться в ничтожных примесях висмута, свинца, таллия и ртути в облучаемой плутониевой мишени, поскольку при бомбардировке этих элементов ионами кислорода возникают неизвестные изотопы, испускающие 8—9 Мэв альфа-частицы. Поэтому в апреле—августе 1958 г. подробно исследовался вопрос о возможной роли этих примесей, причем был разработан чувствительный способ активационного анализа, позволявший надежно регистрировать стомиллионные доли грамма примесей перечисленных элементов. В результате было показано, что наблюдавшаяся альфа-активность не может быть объяснена только примесями и подтвержден вывод, сделанный еще в конце 1957 г.: при бомбардировке плутония 100 Мэв ионами кислорода образуется альфа-активный изотоп элемента № 102 с энергией альфа-частиц $8,8 \pm 0,5$ Мэв. Верхняя граница сечения образования нового элемента оценивается в $2 \cdot 10^{-32}$ см².

Работы по синтезу элемента № 102 начали проводиться и на пущенном в 1957 г. в Беркли в Радиационной лаборатории Калифорнийского университета линейном ускорителе тяжелых ионов.

В работах калифорнийской группы, проходивших под общим руководством Г. Сиборга и А. Гюрзо, прежде всего были предприняты попытки воспроизвести

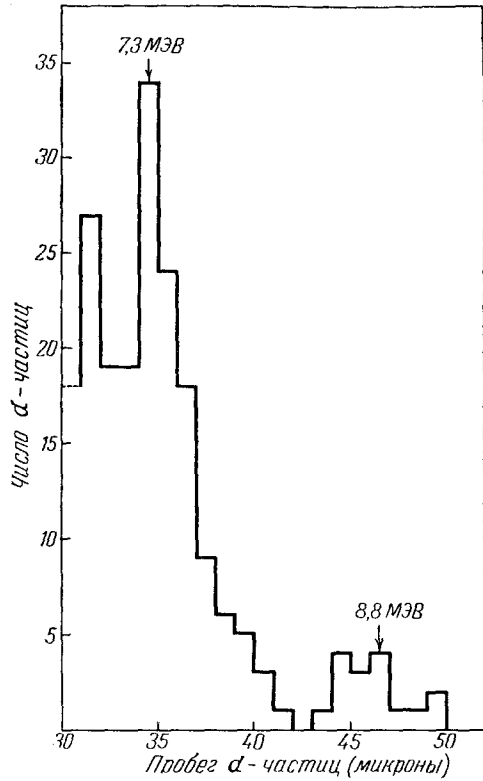


Рис. 2.

результаты опытов стокгольмской группы. Однако, несмотря на большое число тщательно выполненных экспериментов, проводившихся в течение длительного времени и с использованием различных методов, подтвердить стокгольмские результаты не удалось. В дальнейшем калифорнийская группа перешла к использованию радикально новой методики, которая и позволила А. Гиорзо, Т. Сиккеланду, Дж. Уолтону и Г. Сиборгу в апреле 1958 г. идентифицировать ³ изотоп 102^{254} , образующийся при бомбардировке юрия Sm^{246} ионами C^{12} .

Новая методика, разработанная в Беркли, также опирается на метод ядер отдачи, представляя собой дальнейшее остроумное его развитие. Основная идея, лежащая в основе идентификации изотопа 102^{254} , состояла в том, чтобы непрерывно улавливать атомы возникающего при альфа-распаде нового элемента дочернего изотопа фермия — Fm^{250} , для которого ранее были установлены и период полураспада (30 мин.) и энергия испускаемых альфа-частиц (7,43 Mэв). Метод ядер отдачи использовался калифорнийской группой на двух этапах. Вначале, при бомбардировке юриевой мишени, содер-

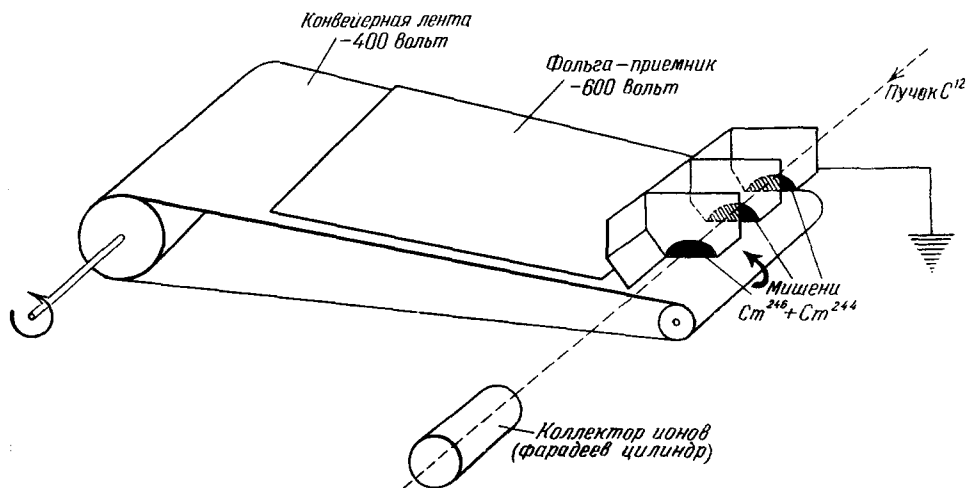


Рис. 3.

жавшей 5% изотопа Sm^{246} (и 95% изотопа Sm^{244}), ионами углерода с энергией 60—100 Mэв , образующиеся атомы элемента № 102 вылетали из мишени за счет отдачи, тормозились в атмосфере гелия и притягивались отрицательно заряженной металлической конвейерной лентой, двигавшейся непосредственно под мишенью (см. рис. 3).

В дальнейшем атомы нового элемента уже во время перемещения на конвейерной ленте испытывали альфа-распад. Образующиеся при альфа-распаде дочерние атомы фермия вновь получали энергию отдачи, причем около половины этих атомов вылетали с конвейерной ленты и притягивались расположенным над лентой приемником — отрицательно по отношению к ленте, заряженной фольгой. В результате в приемнике, не подверженном прямому действию бомбардирующих ионов углерода, в каждом опыте появлялось до сорока атомов нового изотопа, идентифицированного с помощью обычных ионно-обменных методов, как Fm^{250} . Для определения периода полураспада материнского изотопа 102^{254} фольга-приемник разрезалась на пять частей в направлении, поперечном перемещению ленты, и активности всех пяти частей одновременно регистрировались на амплитудных альфа-анализаторах. Зная время перемещения конвейерной ленты на расстояние от начала до конца приемника и сравнивая активности разных участков фольги-приемника, удалось установить, что период полураспада 102^{254} близок к 3 сек. Сечение ядерной реакции образования этого изотопа $\text{Sm}^{246} (\text{C}^{12}, 4n) 102^{254}$ при энергии углеродных ионов 60—100 Mэв исчисляется микробарнами (10^{-30} см^2), причем проходит через острый максимум при энергии 70—75 Mэв , соответствующей по расчету наибольшей вероятности испускания именно четырех нейтронов.

Следует отметить здесь, что обнаружение в описанных опытах атомов Fm^{250} в фольге-приемнике, строго говоря, еще не является стопроцентным доказательством того, что эти атомы появились именно при альфа-распаде изотопа 102^{254} . Возможны (хотя и весьма маловероятны) также предположения, что атомы Fm^{250} попали в приемник вследствие отдачи при изомерном распаде гипотетического изомера Fm^{250*} или при K -захвате электрона ядром неизвестного пока изотопа менделевия Mv^{250} . Тогда трехсекундный период полураспада относится к изомерному переходу или K -захвату материнских атомов фермия или менделевия, а не к α -распаду изотопа 102^{254} .

В качестве примера «изомерного варианта» происхождения Fm^{250} можно привести возможную реакцию $\text{Sm}^{244} (\text{C}^{12}, \alpha 2n) \text{Fm}^{250}$ на содержащемся в количестве около 95% в кюриевой мишени изотопе Sm^{244} . Сечение реакций типа $(\text{C}^{12}, \alpha 2n)$ в определенном интервале энергии углеродных ионов может оказаться на два-три порядка больше, чем для реакций $(\text{C}^{12}, 4n)$, так что вероятностью образования изомера Fm^{250*} , если он существует, отнюдь нельзя было бы пренебречь.

Одним из возможных способов строгого доказательства альфа-распадного происхождения ядер Fm^{250} в условиях калифорнийских опытов могла бы служить демонстрация того факта, что энергия отдачи этих ядер составляет не электронвольты, а десятки килоэлектронвольт (например, что эти ядра проходят в приемник и сквозь тонкие экраны, отсекающие ядра отдачи с очень малой энергией).

Уже упоминавшееся выше положение максимума выхода Fm^{250} при энергии C^{12} -ионов 70—75 Мэв является лишь косвенным дополнительным доводом в пользу образования 102^{254} , и было бы весьма желательно прямое определение энергии альфа-частиц, испускаемых этим изотопом. С другой стороны, для истолкования полученных в Москве результатов, основанного лишь на систематике альфа-распада и потому тоже не обладающего достаточной убедительностью и достоверностью, весьма существенно установление массового числа и времени жизни наблюдавшегося изотопа. Продолжающиеся сейчас в разных странах опыты по синтезу элемента № 102, несомненно, внесут полную ясность в вопрос о путях его получения и свойствах его изотопов.

В. И. Гольданский

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. P. Fields, A. Friedman, J. Milsted, B. Atterling, W. Forsling, L. Holm, B. Aström, *Phys. Rev.* **107**, 1460 (1957).
2. Г. Н. Флеров, С. М. Поликанов, А. С. Карамян, А. С. Пасюк, Д. М. Парфанович, Н. И. Тарантин, В. А. Карнаухов, В. А. Друин, В. В. Волков, А. М. Семчинова, Ю. Ц. Оганесян, В. И. Хализев, Г. И. Хлебников, Доклады АН СССР, **120**, 73 (1958).
3. A. Ghiorso, T. Sikkeland, J. Walton, G. Seaborg, *Phys. Rev. Letters*, **1**, 18 (1958).