

ЛИТЕРАТУРА

1. Инструктивно-методические указания по работе санитарно-эпидемиологических станций в области радиационной гигиены. М. Медгиз, 1960, стр. 33.
2. Метод меченых атомов в биологии. Под ред. А. И. Кузина. М., Изд-во МГУ, 1955, стр. 260.
3. Н. Н. Алфимов, П. Н. Ягвой, Ю. П.

4. Алексеев. «Медицинская радиология», № 2, 79 (1962).
5. В. Н. Лавренчик. «Атомная энергия», 13, 72 (1962).
6. В. Н. Лавренчик и др. «Атомная энергия», 14, 569 (1963).
7. Л. С. Каминский. Обработка клинических и лабораторных данных. Л., Медгиз, 1959, стр. 118.

Синтез и физическая идентификация изотопа 104-го элемента с массовым числом 260

Г. Н. Флеров, Ю. Ц. Оганесян, Ю. В. Лобанов, В. И. Кузнецов, В. А. Друин, В. П. Перельгин, К. А. Гаврилов, С. П. Третьякова, В. М. Плотко

Теоретические и экспериментальные исследования закономерностей спонтанного деления ядер, находящихся в основном состоянии, показывают, что вероятность этого процесса увеличивается по мере роста параметра Z^2/A . На основании этого можно ожидать, что изотоп 104-го элемента с массовым числом 260 будет распадаться в основном путем спонтанного деления. Однако предсказание времени жизни этого изотопа по отношению к спонтанному делению — задача очень трудная. Оценка с помощью обычной экстраполяции эмпирических зависимостей периодов спонтанного деления от различных параметров, характеризующих ядро, в область $Z=104$ дает значение T_{sf} в широком интервале от 10^{-3} до 1 сек. С другой стороны, теоретические расчеты с учетом однонуклонной структуры ядра [1] приводят к существенно меньшей величине T_{sf} . Например, для 102^{256} теоретическое значение $T_{sf} = 0,02$ сек, а для 104^{260} $T_{sf} = 5 \cdot 10^{-6}$ сек.

Однако экспериментально было показано, что 102^{256} испытывает спонтанное деление с $T_{sf} = 1500$ сек. Это давало основание надеяться, что и для 104^{260} время жизни не будет столь малым, как это следует из работы [1]. Поэтому нами была разработана методика индикации спонтанного деления для поисков 104-го элемента. Эксперименты проводились на внутреннем пучке 300 см циклотрона тяжелых ионов. В качестве мишени использовался Pu^{242} ; облучение проводилось ионами Ne^{22} . Изучалась ядерная реакция $Pu^{242}(Ne^{22}, 4n)104^{260}$.

Схематическое устройство пробника показано на рис. 1. Никелевая лента-конвейер длиной 8 м предназначалась для транспортировки ядер-продуктов реакции от мишени к детекторам. Скорость ленты могла варьироваться в широких пределах. В качестве детекторов осколков деления использовались силикатные и фосфатные стекла [2, 3]. При заданной скорости перемещения ленты распределение треков по детекторам дает информацию о времени жизни синтезированных в реакциях ядер.

Плутониевая мишень (97% Pu^{242} , 1,5% Pu^{240} и 1,5% Pu^{238}) толщиной 700 мкг/см^2 была нанесена на тонкую алюминиевую фольгу и закрыта сверху слоем никеля толщиной $\sim 100 \text{ мкг/см}^2$.

В первых экспериментах было обнаружено, что при энергии бомбардирующих частиц 113—115 Мэв наблюдается образование спонтанно делящегося изотопа с временем жизни $\sim 0,3$ сек и сечением $\sim 2 \cdot 10^{-34} \text{ см}^2$ [4]. Кривая распада этого изотопа показана на рис. 2.

Следует отметить, что при использовании физического способа идентификации возникают значительные трудности, связанные с наличием фона. Если изучается α -распад нового элемента, то всегда существует опасность появления в ядерных реакциях продуктов со сходными свойствами радиоактивного распада (период полураспада и энергия α -частиц). Экспериментально

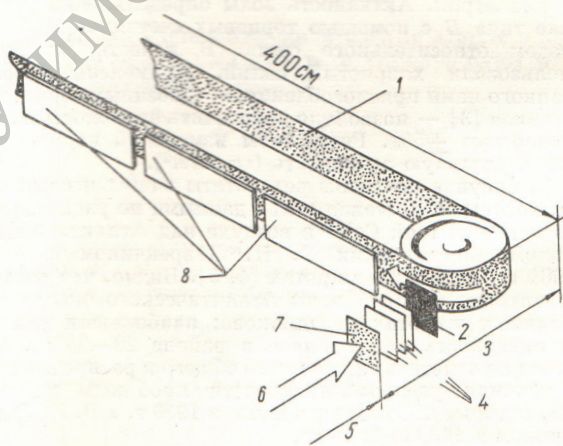


Рис. 1. Схема устройства, применявшегося в опытах по синтезу 104-го элемента:

1 — лента-конвейер; 2 — мишень Pu^{242} ; 3 — гелиевое охлаждение; 4 — поглотители; 5 — вакуум; 6 — пучок; 7 — вакуумная фольга; 8 — детекторы осколков деления.

установлено, что такие продукты с большей вероятностью образуются при облучении тяжелых мишеней многозарядными ионами. С аналогичными трудностями встречаются экспериментаторы и в случае идентификации новых элементов по спонтанному делению. Как недавно установлено [5—8], в реакциях образуются ядра в изомерном состоянии, из которого спонтанное деление происходит за очень короткое время. Так, период полураспада для спонтанного деления изомера Am^{242m} составляет всего 13 мсек. Кроме Am^{242m} в реакциях с тяжелыми ионами были найдены спонтанно делящиеся изомеры с периодом полураспада 0,85 мсек

и 3,5 сек [9, 10]. Эти ядра образуются в реакциях частичного слияния бомбардирующего иона с ядром-мишенью.

Другим источником фона при синтезе 104^{260} может служить 102^{256} , который испытывает спонтанное деление в 1/150 доле случаев и распадается с периодом ~ 8 сек [11]. Он образуется в реакции $Pu^{242} (Ne^{22}, \alpha 4n) 102^{256}$, протекающей с относительно большой вероятностью. Однако функции возбуждения как реакций частичного слияния, так и реакции с вылетом энергичной α -частицы должны существенно отличаться от испарительной кривой $(Ne^{22}, 4n)$.

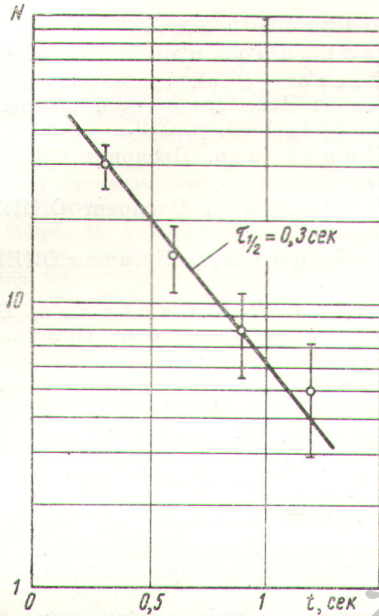


Рис. 2. Распад спонтанно делящегося продукта, образованного при взаимодействии ускоренных ионов Ne^{22} с Pu^{242} .

Нами изучались энергетические зависимости сечений образования нового изотопа с $T_{sf} = 0,3$ сек, а также Am^{242m} и 102^{256} . Результаты представлены на рис. 3. Было найдено, что функция возбуждения для изотопа с $T_{sf} = 0,3$ сек имеет максимум при $E_{Ne} = 114$ Мэв и ширину на подвысоте ~ 10 Мэв, что соответствует испарительной реакции $(Ne^{22}, 4n)$. Вид функции возбуждения оказался подобным тому, какой имел место при получении 102-го элемента в реакции $U^{238} (Ne^{22}, 4n) 102^{256}$ [12].

Для проверки того, что наблюдаемый эффект ($T_{sf} = 0,3$ сек) связан с распадом 104^{260} , были поставлены опыты, в которых U^{238} облучался Ne^{22} , а Pu^{242} облучался Ne^{20} и O^{18} . В этих экспериментах могли образоваться практически все возможные спонтанно делящиеся продукты, которые возникали при облучении Pu^{242} , за исключением 104^{260} . Оказалось, что в реакциях $U^{238} + Ne^{22}$, $Pu^{242} + Ne^{20}$ и $Pu^{242} + O^{18}$ изотоп со временем жизни 0,3 сек не образуется; верхняя граница сечения составляет $\sigma \leq 2 \cdot 10^{-35}$ см². Тем не менее проведенные опыты принципиально не исключают образования спон-

танно делящихся ядер в реакциях $Pu^{242} (Ne^{22}, p3n) 103^{260}$, где после электронного захвата образуется тяжелый изотоп 102^{260} , и $Pu^{242} (Ne^{22}, \alpha 2n) 102^{258}$. В обоих случаях мы имеем дело с тяжелыми изотопами 102-го элемента, свойства которых в настоящее время неизвестны.

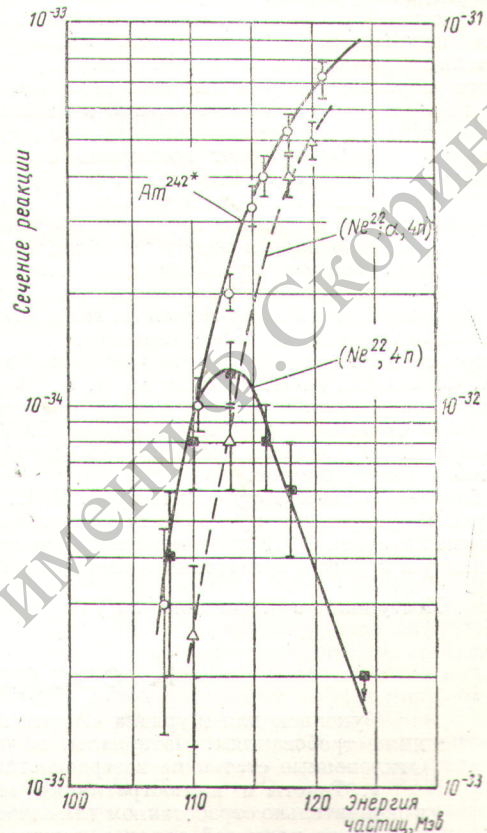


Рис. 3. Энергетические зависимости сечений образования спонтанно делящихся продуктов в реакции $Pu^{242} + Ne^{22}$ (правая шкала сечений относится к синтезу Am^{242m}).

Экспериментальные точки:

■ — для синтеза изотопа с $T_{sf} = 0,3$ сек; Δ — для синтеза изотопа 102^{256} ; \circ — для синтеза изотопа Am^{242m} .

Поведение реакции $(p, 3n)$ детально изучалось нами в опытах $U^{238} + Ne^{22}$ и $Pu^{242} + O^{18}$, где наблюдалось образование Md^{256} с последующим электронным захватом и спонтанным делением Fm^{256} . Было найдено, что сечение реакции $(Ne^{22}, p3n)$ составляет $\sim 1/100$ часть от сечения $(Ne^{22}, 4n)$; функция возбуждения в случае $(Ne^{22}, p3n)$ представляет кривую с максимумом, сдвинутым на величину $\sim 10-12$ Мэв по отношению к максимуму кривой $(Ne^{22}, 4n)$ [13]. Следует отметить также, что электронный захват 103^{260} ($E_h = 2,5$ Мэв) за время $\sim 0,3$ сек чрезвычайно маловероятен в этой области ядер. Поэтому вклад от реакции $Pu^{242} (Ne^{22}, p3n) 103^{260}$ практически исключен.

В реакции $Pu^{242} (Ne^{22}, \alpha 2n) 102^{258}$ возможно, что функция возбуждения будет похожа на испарительную

кривую с вылетом четырех нейтронов. Однако опыты с $U^{238} + Ne^{22}$, в которых идентифицировался 100^{254} , показывают, что сечение реакции ($Ne^{22}, \alpha 2n$) составляет не более 1/50 части сечения ($Ne^{22}, 4n$). С другой стороны, из всех экспериментально полученных значений ускорение периода полураспада при увеличении массы ядер на две единицы значительно меньше величины 5000, которая получается, если приписать наблюдаемому излучателю с $T_{sf} = 0,3$ сек не 104^{260} , а изотопу 102^{258} .

Таким образом, результаты экспериментов (вид функции возбуждения, величина сечений в максимуме, отсутствие эффекта в контрольных опытах с другими частицами и мишенями) дают достаточное оснований предполагать, что в реакции $Pu^{242} (Ne^{22}, 4n)$ образуется изотоп 104-го элемента с массовым числом 260, испытывающий спонтанное деление с периодом полураспада $0,3 \pm 0,1$ сек. Однако имея в виду сложности, которые возникают при синтезе трансфермиевых элементов, весьма желательно провести химические эксперименты как для дополнительной идентификации, так и для изучения химических свойств 104-го элемента.

Авторы считают своим приятным долгом поблагодарить А. Ф. Линева, А. Н. Филипсона, И. А. Шелаева и группу обслуживания циклотрона за обеспечение долгосрочной стабильной работы циклотрона, С. М. Поликанова и Е. Д. Донца за плодотворные обсуждения результатов экспериментов.

Мы благодарны директору ОИЯИ проф. Д. И. Блохинцеву и Государственному комитету по использованию атомной энергии СССР за внимательное отношение и поддержку в процессе проведения настоящей работы.

Поступило в Редакцию 29/VIII 1964 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. S. A. E. Johansson. Report UCRL-10474, 1962.
2. P. Price R., R. Walker. Phys. Letters, 3, 113 (1962).
3. В. П. Перельгин, С. П. Третьякова, И. Звара. «Приборы и техника эксперимента», 4, 78 (1964); А. Капусцки, В. П. Перельгин, С. П. Третьякова. Препринт ОИЯИ Р-1433. Дубна, 1963.
4. Г. Н. Флеров, С. И. Поликанов. Доклад на Конгрессе по ядерной физике. Париж, июль 1964.
5. С. М. Поликанов и др. ЖЭТФ, 42, 1464 (1964).
6. С. М. Поликанов и др. ЖЭТФ, 44, 804 (1963).
7. G. N. Flerov et al. Proceedings of the third Conference on Reactions between Complex Nuclei, Asilomar, USA, 1963, p. 249.
8. А. Ф. Лиев и др. Препринт ОИЯИ Д-1693. Дубна, 1964.
9. В. А. Друин и др. Препринт ОИЯИ Р-1651. Дубна, 1964.
10. Ю. В. Лобанов и др. Препринт ОИЯИ Р-1801. Дубна, 1964.
11. В. А. Друин, Н. К. Скобелев, Б. В. Фелдман, Г. Н. Флеров. Препринт ОИЯИ Р-1580. Дубна, 1964.
12. Е. Д. Донец, В. А. Щеголев, В. А. Ермаков. Препринт ОИЯИ Р-1383. Дубна, 1963.
13. В. А. Друин. Nucleonika, VII, 473 (1962).

К сведению авторов

Рукописи для журнала «Атомная энергия» должны удовлетворять перечисленным ниже требованиям. Материалы, не отвечающие этим требованиям, не принимаются. Отклоненные статьи не возвращаются.

1. Тексты и иллюстративные материалы представляются в трех экземплярах в окончательно обработанном для печати виде и должны быть подписаны всеми авторами.

После подписей авторов должны быть указаны: фамилия, имя и отчество (полностью), домашний адрес и номер телефона.

2. Объем обзорных статей, как правило, не должен превышать 20—22 стр.; оригинальных статей — 10—12 стр.; писем в редакцию — 5 стр. машинописного текста (включая рисунки и список литературы).

3. Текст рукописи должен быть напечатан на машинке через два интервала на одной стороне листа, с полями с левой стороны не уже 4 см; рукописные вставки не допускаются.

4. К статьям должны быть приложены аннотации, в которых следует коротко и ясно сформулировать цель, результаты и область практического применения работы, а к письмам в редакцию — краткие авторефераты.

5. Цитируемая литература приводится в конце статьи общим списком с указанием: а) для журнальных статей: инициалов и фамилий авторов, названия журнала, тома или номера, страницы и года; б) для книг: инициалов и фамилий авторов, полного названия книги, места издания, издательства и года издания; в) для сборников: инициалов и фамилий авторов статьи, названия сборника, инициалов и фамилии составителя или редактора сборника, места издания, издательства, года издания, страницы.

В тексте ссылки даются по порядку номеров: 1, 2, 3 и т. д.

6. Оформление текста (написание формул, выделение греческих и латинских, строчных и прописных букв, сокращение слов и т. д.) производится в соответствии с общими правилами, принятыми для научно-технических журналов. Трудноразличимые в рукописном обозначении буквы и знаки должны быть пояснены на полях.

Размерность всех приведенных величин должна соответствовать Международной системе единиц измерений. В отдельных случаях могут быть приведены пересчетные формулы.

7. Рисунки должны быть выполнены черной тушью на бумаге размером 15×20 см; фотографии должны иметь контрастное изображение; размер фотографий не менее 9×12 см. Подписи под рисунками должны быть напечатаны на отдельном листе.