

НАБЛЮДЕНИЕ СПОНТАННОГО ВЫЛЕТА ЯДЕР ^{14}C ИЗ ^{223}Ra

*Д.В.Александров, А.Ф.Беляцкий, Ю.А.Глухов, Е.Ю.Никольский,
Б.Г.Новацкий, А.А.Оглоблин, Д.Н.Степанов*

Наблюден распад ^{223}Ra путем вылета ядер ^{14}C . Полученные результаты совпадают с данными работы ¹.

Спонтанный вылет легких ядер энергетически возможен для большего числа нуклидов тяжелее свинца. Вопрос о существовании такого вида распада, промежуточного между α -активностью и делением, рассматривался неоднократно. Например в обзоре ² авторы делают, в частности, вывод о том, что наиболее вероятным для изотопов тория является испускание ядер ^{24}Ne или ^{28}Mg , а для изотопов урана – вылет ^{32}Si или ^{34}S .

Проведенный нами анализ, в котором вылет легких ядер рассматривается в рамках модели, аналогичной гамовской теории α -распада, показал, что с наибольшей вероятностью должен осуществляться распад, приводящий к образованию дважды магического ядра ^{208}Pb или соседних изотопов. Оценка проницаемостей кулоновского барьера для ядер естественных радиоактивных семейств показала, что наиболее оптимальными условиями для рассматриваемого нами типа распада обладают изотопы $^{223}, ^{224}, ^{226}\text{Ra}$ с вылетом ядра ^{14}C . В таблице даны изотопы ядер, которые могут рассматриваться наиболее вероятными кандидатами поиска распада тяжелыми частицами. Во второй колонке приведены периоды полураспада рассматриваемых изотопов, в третьей дана полная энергия распада. В четвертой

колонке указаны проникаемости кулоновского барьера для значения параметра $r_0 = 1, 2\Phi$, который входит в выражение для радиуса канала $R = r_0 (a^{1/3} + A^{1/3})$, где a и A — массовые числа вылетевшего и дочернего ядер соответственно. В пятой колонке приводятся отношения проникаемостей каналов α -распада и распада тяжелой частицей.

Вид распада	$T_{1/2}$	Q распада МэВ	D	D_α / D_a
$^{223}\text{Ra} \rightarrow ^{14}\text{C} + ^{209}\text{Pb}$	11,7 дн	31,83	$4,07 \cdot 10^{-30}$	$6,21 \cdot 10^3$
$^{224}\text{Ra} \rightarrow ^{14}\text{C} + ^{210}\text{Pb}$	3,64 дн	30,53	$1,59 \cdot 10^{-32}$	$1,92 \cdot 10^5$
$^{226}\text{Ra} \rightarrow ^{14}\text{C} + ^{212}\text{Pb}$	1,62 г	28,21	$2,55 \cdot 10^{-37}$	$6,35 \cdot 10^4$
$^{233}\text{U} \rightarrow ^{25}\text{Ne} + ^{208}\text{Pb}$	$1,6 \cdot 10^5$ л	60,82	$1,32 \cdot 10^{-33}$	$1,76 \cdot 10^{-1}$
$^{233}\text{U} \rightarrow ^{24}\text{Ne} + ^{209}\text{Pb}$	—	60,49	$1,05 \cdot 10^{-33}$	$2,21 \cdot 10^{-1}$
$^{236}\text{Pu} \rightarrow ^{28}\text{Mg} + ^{208}\text{Pb}$	2,7 г	79,67	$1,64 \cdot 10^{-29}$	$8,35 \cdot 10^{-1}$
$^{240}\text{Cm} \rightarrow ^{32}\text{Si} + ^{208}\text{Pb}$	26,8 дн	97,57	$1,08 \cdot 10^{-27}$	$7,57 \cdot 10^{-1}$
$^{246}\text{Cf} \rightarrow ^{38}\text{S} + ^{208}\text{Pb}$	1,5 дн	112,72	$9,7 \cdot 10^{-29}$	$1,82 \cdot 10^2$

В связи с тем, что в нашем распоряжении не было изотопа ^{223}Ra , для которого наиболее вероятно радиоуглеродная активность, первые измерения были проведены с источниками ^{224}Ra и ^{226}Ra . Краткое сообщение о результатах этого измерения было опубликовано в ³, где приведены только верхние оценки эмиссии ^{14}C по отношению к α -распаду.

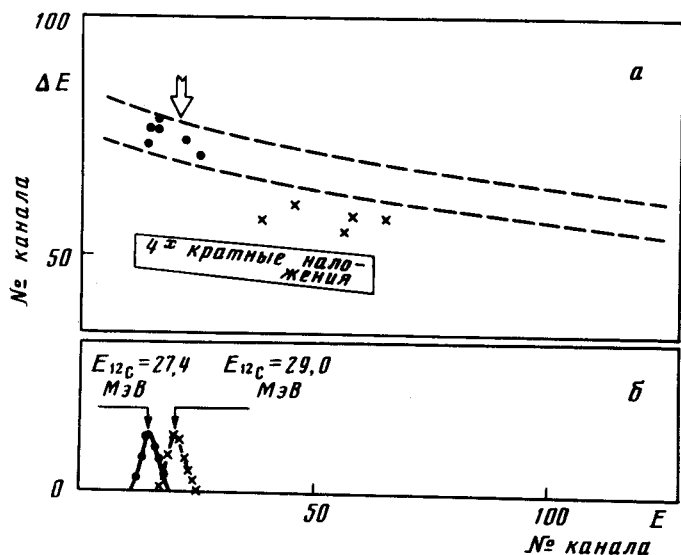
Для поиска распада $^{223}\text{Ra} \rightarrow ^{14}\text{C} + ^{209}\text{Pb}$ выбран источник ^{227}Ac ($T_{1/2} = 22$ г), в котором изотоп ^{223}Ra находится в радиоактивном равновесии с продуктами распада активности.

Идентификация заряженных частиц, вылетающих из источника, проводилась с помощью стандартной $\Delta E - E$ методики. Телескоп полупроводниковых счетчиков, регистрирующий продукты радиоактивного распада, состоял из ΔE детектора толщиной 16 мкм и E детектора (500 мкм), телесный угол телескопа составлял $\approx 0,1$ ср. Для того, чтобы исключить попадание радиоактивных ядер отдачи на поверхность ΔE счетчиков, между источником и детектором устанавливалась золотая фольга толщиной 200 мкг/см². Загрузка ΔE детектора составляла $3 \cdot 10^4$ имп/с $E - 2,5 \cdot 10^4$ имп/с. Для уменьшения эффекта множественных наложений импульсов α -частиц в трактах ΔE и E счетчиков были введены режекторы, запрещавшие регистрацию двойных совпадений импульсов, если последние были разделены временным интервалом превышающим $40 \div 50$ нс. Схема амплитудной дискриминации по ΔE каналу запрещала регистрацию импульсов α -частиц и дважды совпавших амплитуд импульсов этих частиц, что резко сократило мертвое время преобразователя амплитуда-код. Более подробно методика эксперимента описана в ⁴.

Применение такой методики позволило регистрировать очень редкие события на огромном "фоне" α -частиц и надежно разделять ионы радиоуглерода от множественных наложений импульсов. На рис. а показан двухмерный спектр $\Delta E - E$ событий, полученный в течение 30-дневной экспозиции с источником ^{227}Ac . В нижней части рисунка сплошными линиями показана область четырехкратных наложений импульсов α -частиц (всего в этой области было отмечено 1800 событий). Выше крестиками обозначены события, отвечающие пяти кратным наложениям импульсов α -частиц, таких событий было зарегистрировано пять штук.

Выше области пятикратных совпадений за все время измерений было зарегистрировано семь отсчетов, которые на рисунке обозначены точками. Положение этих событий приблизительно совпало с рассчитанным по удельным ионизационным потерям положением гиперболы углерода-14. Точный учет многочисленных поправок, связанных с неоднородностью

толщины источника, потерями энергии ионов при прохождении защитной фольги, слоев золота на поверхности детекторов и возможного мертвого слоя E -счетчика, весьма проблематичен. Для надежного определения области углеродной гиперболы и энергетической калибровки $\Delta E - E$ спектра были проведены измерения на пучках ионов ^{14}N с $E_N = 70$ МэВ и ^{12}C с $E = 29,2$ МэВ, полученных на циклотроне ИАЭ. В первом случае была точно определена область гиперболы углерода-14, которая на рисунке ограничена штриховыми линиями, во втором по упругому рассеянию на мишенях ^{197}Au и ^{12}C проведена энергетическая калибровка спектра ионов углерода в диапазоне энергий $27 \div 30$ МэВ (рис. б).



а – Двухмерный спектр $\Delta E - E$, полученный в измерениях с источником ^{223}Ra . Точками обозначены события, соответствующие вылету ядер ^{14}C . Штриховыми линиями показана зона, ограничивающая возможные события ^{14}C . Пятикратные наложения импульсов α -частиц показаны на рисунке крестиками. Область четырехкратных наложений обозначена сплошными линиями. Стрелкой обозначено расчетное положение $E_{^{14}\text{C}} = 29,8$ МэВ на основании калибровки показанной на рис. б; б – энергетический спектр упругого рассеяния ионов ^{12}C на мишенях ^{12}C (левый пик) и ^{197}Au

Контрольные измерения позволили сделать вывод, что указанные семь событий следует приписать регистрации ядер ^{14}C с энергией $29 \div 30$ МэВ из распада $^{223}\text{Ra} \rightarrow ^{14}\text{C} + ^{209}\text{Pb}$ (энергия распада 31,84 МэВ). Получено отношение выхода ядер ^{14}C к выходу α -частиц в ^{223}Ra , которое составило $(7,6 \pm 3,0) \cdot 10^{-10}$.

Необходимо отметить, что когда эксперимент по поиску эмиссии ^{14}C из ^{223}Ra проводился в ИАЭ, было опубликовано сообщение ¹ об обнаружении такого вида распада. Результаты, полученные нами, полностью совпадают с данными работы ¹. Таким образом, наше исследование является независимым подтверждением открытия нового вида спонтанного вылета радиоуглерода в ^{223}Ra .

Нами начат эксперимент по поиску распада ^{233}U с испусканием ядер неона.

Авторы благодарят В.И.Духанова за помощь в настройке радиоэлектронной аппаратуры.

Литература

1. Rose H.J., Jones G.A. Nature, 1984, 307, 245.
2. Сэндулеску А, Поенару Д.Н., Грайнер В. ЭЧАЯ, 1980, 11, 1334.
3. Александров Д.В., Беляцкий А.Ф., Глухов Ю.А., Новацкий Б.Г., Степанов Д.Н. Тезисы XXXIV Совещ. по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра. Л.: Наука, 1984 г.
4. Духанов В.И., Мазуров И.Б. ПТЭ, 1981, №6, 114.