

С 341,3Г

С-44

15/ii-71

ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ
УЧЕБНИК
ПО ФИЗИКЕ
10 КЛАСС
УЧЕБНИК
ПО ФИЗИКЕ

P7 - 5584

743/2-71

Н.К. Скобелев

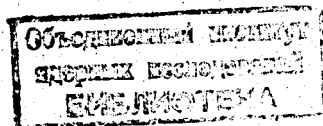
О ЗАПАЗДЫВАЮЩЕМ ДЕЛЕНИИ
НЕКОТОРЫХ НЕЙТРОНОДЕФИЦИТНЫХ
АТОМНЫХ ЯДЕР

P7 - 5584

Н.К. Скобелев

О ЗАПАЗДЫВАЮЩЕМ ДЕЛЕНИИ
НЕКОТОРЫХ НЕЙТРОНОДЕФИЦИТНЫХ
АТОМНЫХ ЯДЕР

Направлено в ЯФ



В работах /1-3/ описаны эксперименты по синтезу спонтанно делящихся продуктов с относительно большими временами жизни, полученных при бомбардировке висмута, урана и тория ионами ^{22}Ne , ^{11}B и ^{10}B на пробнике с наклонной мишенью. Спонтанно делящиеся продукты с периодами полураспада ≈ 60 сек; 1,4 мин и 2,6 мин были идентифицированы как изотопы ^{228}Np (^{227}Np), ^{232}Am и ^{234}Am соответственно, исходя из вида функций возбужденных реакций ^{209}Bi (^{22}Ne , 3-4 п), ^{228}Np (^{227}Np); ^{230}Th (^{10}B , 8 п) ^{232}Am ; ^{230}Th (^{10}B , 6 п) ^{234}Am и положения их максимумов.

Оценки парциальных периодов спонтанного деления для основных состояний этих нечетно-нечетных ядер, проведенные с использованием барьеров деления, рассчитанных Вайолой и Вилкинсоном /4/, дают значения T_{sp} в области $\approx 10^8 - 10^{12}$ лет (см. табл. 1).

Наблюдаемое поэтому на опыте столь сильное увеличение вероятности проницаемости барьера ($\approx 10^{13} - 10^{17}$ раз) можно объяснить уменьшением барьеров относительно деления ядер на величину 1,9-2,3 Мэв.

Если наблюдаемые в вышеуказанных реакциях акты деления обусловлены спонтанным делением ядер ^{228}Np , ^{232}Am и ^{234}Am из основного состояния, то его доля исходя из оценок сечения образования этих продуктов в указанных реакциях определялась бы как $10^{-3} - 10^{-4}$ от общего распада этих ядер.

Естественно, что такая аномалия в спонтанном делении нечетных ядер в этой области была бы более резко выражена у соседних ядер и особенно четно-четных изотопов, имеющих больший параметр делимости Z^2 / A . Однако в экспериментах при облучении толстой мишени свинца ионами ^{22}Ne , энергия которых была достаточной для образования изотопов ^{227}U и ^{226}U в реакциях $^{208}\text{Pb}(^{22}\text{Ne}, 3n)^{227}\text{U}$ и $^{208}\text{Pb}(^{22}\text{Ne}, 4n)^{226}\text{U}$, не наблюдались спонтанно делящиеся продукты ни в минутном, ни в секундном диапазоне времен жизни (^{227}U испытывает α -распад с $T_{1/2} = 78+18$ сек^{/5/}, а ^{226}U должен иметь, по оценкам, период полураспада $T_{\alpha} \approx 0,6$ сек). Такие результаты не противоречат грубой экстраполяции и предсказаниям^{/7/} периодов спонтанного деления соответствующих изотопов урана, согласно которым изотопы ^{226}U и ^{227}U должны иметь парциальные периоды $\approx 10^{14}$ сек и $\approx 10^{17} - 10^{18}$ сек. Поэтому приведенные в табл.1 оценки периодов спонтанного деления изотопов ^{228}Np , ^{232}Am и ^{234}Am , по нашему мнению, не должны содержать слишком больших ошибок. Повышенную вероятность деления вышеуказанных изотопов нептуния и америция можно объяснить делением ядер из возбужденного состояния.

Ранее нами указывалось^{/2,3,6/}, что возможно несколько вариантов возникновения возбужденных состояний атомных ядер с последующим распадом их путем деления:

1. В рассмотренных ядерных реакциях образуются спонтанно

делящиеся изомеры нептуния и америция с энергией возбуждения ≈ 2 Мэв. Однако изомеры формы или изомеры с большим запретом для электромагнитных переходов, имеющие энергию возбуждения ≈ 2 Мэв и минутные времена жизни, не наблюдались у атомных ядер в этой области. К значительно меньшим временам жизни приводит и экстраполяция известных величин времен жизни для спонтанно делящихся изомеров в этой области.

2. В ядерных реакциях образуются еще не изученные нейтрондефицитные изотопы нептуния и америция, имеющие значительную энергию электронного захвата. Такие ядра могут с большой вероятностью захватывать К-электроны и приводить во многих случаях к высоковозбужденным состояниям в дочерних ядрах. Остановимся подробнее на анализе этой возможности.

В табл. 2 представлены оценки времен жизни легких изотопов нептуния и америция относительно α -распада и электронного захвата исходя из эмпирических величин энергий α -распада (Q_α) и электронного захвата ($Q_{K\beta}$), заимствованных из работы Вайолы и др. /7/. На основании этих довольно грубых оценок можно заключить, что ядра ^{228}Np и ^{232}Am должны в основном испытывать α -распад. Изотоп ^{234}Am должен испытывать главным образом электронный захват. Однако и для ^{228}Np и для ^{232}Am доля К-захвата должна быть значительной.

Сравнение расчетной энергии электронного захвата этих изотопов с барьерами деления соответствующих дочерних ядер урана и плутония показывает, что, несмотря на существующую неопределенность в предсказаниях этих величин /4,7,8/, у легких изотопов нептуния с нечетным числом нейтронов и с $A \leq 228$ энергия, выделяемая при К-захвате, сравнима с величиной барьера деления соответствующего дочернего четно-четного ядра (E_f) или превышает ее. Аналогичная ситуация

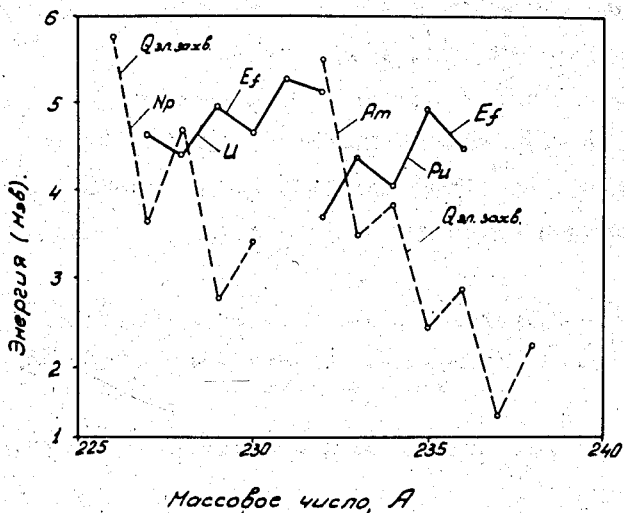
создается у изотопов америция с нечетным числом нейтронов и соответствующих дочерних четно-четных изотопов плутония для масс $A \leq 234$ (смотри рисунок).

Таким образом, наблюдаемое на опыте резкое увеличение вероятности распада ядер нептуния и америция путем деления может быть обусловлено мгновенным или задержанным делением дочерних ядер урана или плутония из возбужденного состояния, образовавшегося в результате электронного захвата материнского ядра. Такой распад был назван ранее ^{/2,3/} "запаздывающим делением." При оценках возможности запаздывающего деления следует учитывать вероятность всех переходов на уровни дочерних ядер, лежащие выше основного состояния примерно на 2 Мэв. В таком случае доля образования возбужденных состояний резко возрастает и вероятность снятия возбуждения путем деления будет близка к величинам 10^{-3} для ^{228}Np и 10^{-2} - для ^{232}Am . Для ^{234}Am такие оценки осложнены тем, что предсказываемый наиболее вероятный период сильно отличается от наблюдаемого нами в эксперименте.

Итак, возможность наблюдения деления после электронного захвата легких нейтронодефицитных нечетно-нечетных атомных ядер, имеющих большую энергию электронного захвата, довольно высока.

Из вышеизложенного следует, что в ядерных реакциях, приводящих к образованию изотопов ^{228}Np , ^{232}Am и ^{234}Am , вероятнее всего, наблюдалось запаздывающее деление возбужденных состояний дочерних ядер ^{228}U , ^{232}Pu и ^{234}Pu , образовавшихся после электронного захвата.

Следует подчеркнуть, что запаздывающее деление должно более рельефно проявляться после электронного распада нейтронодефицитных нечетно-нечетных изотопов, наиболее удаленных от области стабильности. В этом случае чаще выполняется условие



Зависимость расчётных величин энергии К -захвата изотопов америция и нептуния (пунктир), а также барьеров деления изотопов плутония и урана (сплошная линия) от массового числа А .

$$Q_{\text{к.э.}} (\text{мат. ядра}) \geq E_f (\text{доч. ядра}).$$

В дополнение к недавно сделанным грубым оценкам Берловича^{/9/} о границах областей запаздывающего деления следует указать, что такое деление будет иметь более широкие границы и должно проявляться и в случае, когда $T_{\text{к.э.}} \geq T_a$, а $Q_{\text{к.э.}} (\text{мат. ядра}) \geq E_f (\text{доч. ядра})$.

В заключение я выражаю глубокую благодарность академику Г.Н. Флерову за полезную дискуссию и ряд ценных замечаний.

Литература

1. В.И. Кузнецов, Н.К. Скобелев, Г.Н. Флеров. ЯФ, 4, 279 (1966).
2. В.И. Кузнецов, Н.К. Скобелев, Г.Н. Флеров. Препринт ОИЯИ, Р-2862, Дубна, 1966; ЯФ, 5, 271 (1967).
3. В.И. Кузнецов, Н.К. Скобелев. ЯФ, 5, 1136 (1967).
4. V.E. Viola, B.D. Wilkins. Nucl.Phys., 82, 65 (1966).
5. В.М. Горбачев, Ю.С. Замятин, А.А. Лбов. Основные характеристики изотопов тяжелых элементов (справочник). Атомиздат, Москва, 1970.
6. Н.К. Скобелев. Препринт ОИЯИ, 7-5015, Дубна, 1970.
7. V.E. Viola and G.T. Seaborg. J.Inorg.Nucl.Chem., 28, 697 and 741 (1966).
8. W.D. Mayers and W.J. Swiatecki. Preprint UCRL-11980 (1965).
9. Э.Е. Берлович, Ю.П. Новиков. ДАН, 185, 1025 (1969).

Рукопись поступила в издательский отдел
25 января 1971 года.

Таблица I

Изотоп	Наблюдаемый период полураспада	Исслед. реакция	Сечение образования (см ²)	Ожидаемый период (лет)
²²⁸ Np (²²⁷ Np)	60±5 сек	²⁰⁹ Bi (²² He, 3-4r)	(4,5±0,8)10 ⁻³⁴	≥10 ¹⁰
²³² Am	1,4±0,25 мин	²³⁰ Th (¹⁰ B, 8r)	(2,3±0,4)10 ⁻³³	≥10 ⁸
²³⁴ Am	(2,6±0,2) мин	²³⁰ Th (¹⁰ B, 6r)	(5,7±0,5)10 ⁻³⁴	≥10 ¹²
		²³⁰ Th (¹¹ B, 7r)	(5,4±0,5)10 ⁻³⁴	

Таблица 2. Значения величин Q_{α} и $Q_{\kappa-3}$ для ряда изотопов нептуния и америция, заимствованные из работы [7], и проведенные для них оценки парциальных периодов α -распада и К-захвата.

Изотоп	^{227}Np	^{228}Np	^{232}Am	^{234}Am
Q_{α} (МэВ)	7,950	7,460	7,530	6,650
$T_{I/2}(\alpha)$ (сек)	~ 2	~ 80	~ 260	$\sim 9 \cdot 10^5$
$Q_{\kappa-3}$ (МэВ)	3,65	4,70	5,58	3,83
$T_{I/2}^x$ (К-захв.) сек	$\sim 10^4$	$\sim 7 \cdot 10^3$	$\sim 4 \cdot 10^3$	$\sim 10^4$

х) Для оценки $T_{I/2}$ (К-захв) у нечетно-нечетных ядер было выбрано значение $\lg fT = 6,9$ [7].