

e341.38

Г-19

3873/2-77

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



26/IX - 77

P7 - 10797

Ю.П.Гангровский, М.Б.Миллер, И.Ф.Харисов,
М.Маринеску, Л.В.Михайлов

ЗАПАЗДЫВАЮЩЕЕ ДЕЛЕНИЕ ^{246}Es И ^{240}Bk

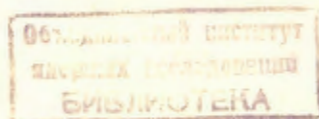
ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОННОГО ЗАХВАТА

1977

P7 - 10797

Ю.П.Гангрский, М.Б.Миллер, И.Ф.Харисов,
М.Маринеску,¹ Л.В.Михайлов²

ЗАПАЗДЫВАЮЩЕЕ ДЕЛЕНИЕ ²⁴⁶Es И ²⁴⁰Vk
ПОСЛЕ ЭЛЕКТРОННОГО ЗАХВАТА



¹Институт ядерной физики и технологии, Бухарест.

²Институт ядерных исследований АН УССР, Киев.

Гангрский Ю.П., Миллер М.Б., Харисов И.Ф.,
Маринеску М., Михайлов Л.В.

P7 - 10797

Запаздывающее деление ^{246}Es и ^{240}Bk после электронного захвата

Представлены результаты экспериментов по наблюдению запаздывающего деления нейтронодефицитных ядер ^{246}Es и ^{240}Bk после электронного захвата. Изотопы ^{246}Es и ^{240}Bk были получены, соответственно, в реакциях $^{238}\text{U}(^{14}\text{N}^{+3}, 6n)$ и $^{232}\text{Th}(^{14}\text{N}, 6n)$. Вероятность запаздывающего деления составляет $4 \cdot 10^{-5}$ и для ^{246}Es и $1 \cdot 10^{-5}$ для ^{240}Bk . Полученные результаты сравниваются с измеренными ранее вероятностями запаздывающего деления других ядер.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

Gangrsky Yu.P. et al.

P7 - 10797

Delayed Fission of ^{246}Es and ^{240}Bk after
Electron Capture

Results of experiments on delayed fission of neutron deficient nuclei ^{246}Es and ^{240}Bk after electron capture are presented. Isotopes ^{246}Es and ^{240}Bk were produced in the reactions $^{238}\text{U}(^{14}\text{N}^{+3}, 6n)$ and $^{232}\text{Th}(^{14}\text{N}, 6n)$, respectively. Probability of delayed fission for ^{246}Es is $4 \cdot 10^{-5}$ and for ^{240}Bk - $1 \cdot 10^{-5}$. The results obtained are compared with the delayed fission probabilities measured earlier for other nuclei.

The investigation has been performed at the
Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1977

В 1966 - 1967 гг в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ был открыт /1,2/ новый вид распада ядер - запаздывающее деление, происходящее из возбужденных состояний, заселяемых при электронном захвате нейтронодефицитных ядер ^{228}Ac ($T_{1/2} = 1$ мин), ^{232}Am ($T_{1/2} = 1,4$ мин), ^{234}Am ($T_{1/2} = 2,6$ мин). В дальнейших работах (см., например, /3/) было показано, что это явление должно иметь место как для нейтронодефицитных, так и нейтроноизбыточных ядер. В работах /4,5/ нами сообщалось о запаздывающем делении нейтроноизбыточных изотопов Pa с массовыми числами $A = 238$ и 236 .

Измеренные значения вероятностей запаздывающего деления этих изотопов оказались очень низкими (10^{-8} - 10^{-9} относительно полного числа β -превращений). Детальное изучение процесса, происходящего со столь малой вероятностью, весьма затруднительно. В то же время такое изучение представляется важным, поскольку после выяснения механизма запаздывающего деления этот процесс можно было бы использовать для исследования свойств ядер, значительно удаленных от области β -стабильности, в частности для определения параметров барьеров деления. Большая (по сравнению с изотопами Pa) вероятность запаздывающего деления сжимается при переходе к более тяжелым ядрам, обладающим большей делимостью при той же энергии возбуждения.

В настоящей работе описываются опыты по наблюдению запаздывающего деления и измерению вероятности этого процесса при К-захвате нейтрондефицитных ядер ^{246}Es и ^{240}Bk .

Свойства ^{246}Es были изучены ранее в работе /6/, в которой был установлен период полураспада $T_{I/2} = 7,7 \pm 0,5$ мин. и было показано, что основным видом распада этого ядра является К-захват, происходящий в 90% случаев (в 10% случаев происходит α -распад с энергией α -частиц $E_{\alpha} = 7,33$ МэВ). Изотоп Bk с $A = 240$ до настоящего времени экспериментально не наблюдался.

В таблице I приводятся известные из эксперимента /6/ и ожидаемые по систематике /7,8/ свойства распада ядер ^{246}Es и ^{240}Bk .

Т а б л и ц а I.

Свойства ядер ^{246}Es и ^{240}Bk

Ядро	$T_{I/2}$ мин	E_{α} , МэВ	Q_{EC} , МэВ	EC/a , %
^{246}Es	7,7	7,33	3,65 ^x	90
^{240}Bk	4,0 ^x	-	3,84 ^x	100 ^x

^x результаты расчетов /7,8/.

Энергия β -распада исследуемых ядер (и, следовательно, максимальная энергия возбуждения дочерних) мала по сравнению с ожидаемой высотой барьеров деления дочерних ядер ^{246}Cf и ^{240}Cm , которая близка к величине 6 МэВ /9/ (имеется в виду высота наибольшего максимума двугорбого барьера). В связи с этим при планировании опытов не приходилось рассчитывать на большую вероятность

запаздывающего деления. Ядра ^{246}Es и ^{240}Bk получались в реакциях $^{238}\text{U} (I^4\text{N}, 6n) ^{246}\text{Es}$ и $^{232}\text{Th} (I^4\text{N}, 6n) ^{240}\text{Bk}$. Для достижения наибольшей чувствительности была выбрана метоцика с наклонной мишенью, позволявшая эффективно использовать большое количество рабочего вещества и реализовать токи ионов на мишень до 10 мкА. Облучались мишени ^{238}U и ^{232}Th , нанесенные на медные охлаждаемые держатели и имеющие эффективную толщину с учетом наклона около 5 мг.см⁻². Облучения проводились на внутреннем пучке изохронного циклотрона У-200 ЛЯР ОИЯИ.

Схема опыта показана на рис. I. Максимальная энергия ионов $I^4\text{N}^{+3}$, падающих на поверхность мишеней, составляла 92-94 МэВ, что соответствует максимуму функции возбуждения реакций ($I^4\text{N}, 6n$) на уране и тории /6/.

Производилось несколько циклов облучения длительностью 30 мин (в опытах с ^{238}U) и 15 мин (при облучении ^{232}Th). По окончании каждого цикла облучения мишени приводились в контакт с твердотельными трековыми детекторами осколков деления (лавсановая пленка толщиной 15 мкм).

На время облучений детекторы, во избежание появления на них фона от облучения нейтронами, выносились в защищенное от радиации помещение. Для определения временной зависимости запаздывающего деления периодически производилась смена детекторов через интервалы, близкие к известному для ^{246}Es и ожидаемому для ^{240}Bk периодам полураспада.

На рис.2 представлены результаты измерений числа осколков на детекторах. Временная зависимость числа зарегистрированных осколков в реакции $^{238}\text{U} + I^4\text{N}$ имеет сложный вид, который, по-видимому, не описывается одной экспонентой. Для выяснения причины этого требуются дальнейшие эксперименты.

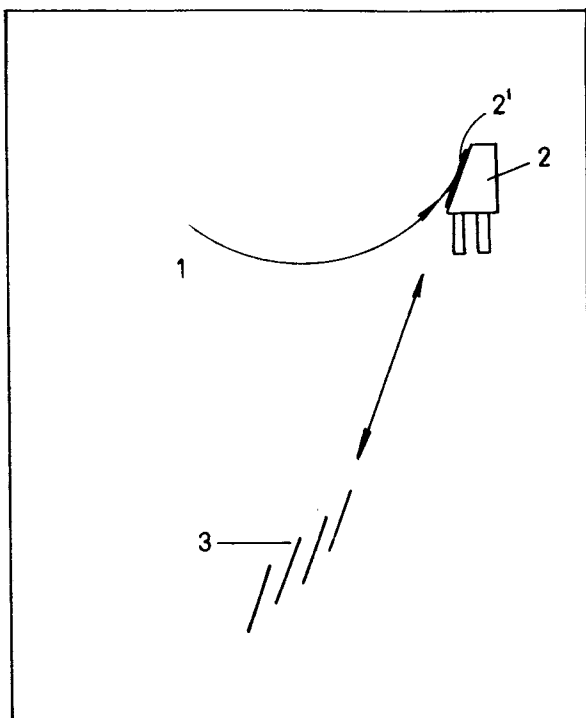


Рис. 1. Схема эксперимента.
 1 - часть траектории пучка ионов $^{14}\text{N}^{+3}$;
 2 - медный охлаждаемый водой держатель мишени с мишенью $2'$;
 3 - детекторы осколков деления, приводимые в контакт с мишенью на время регистрации.

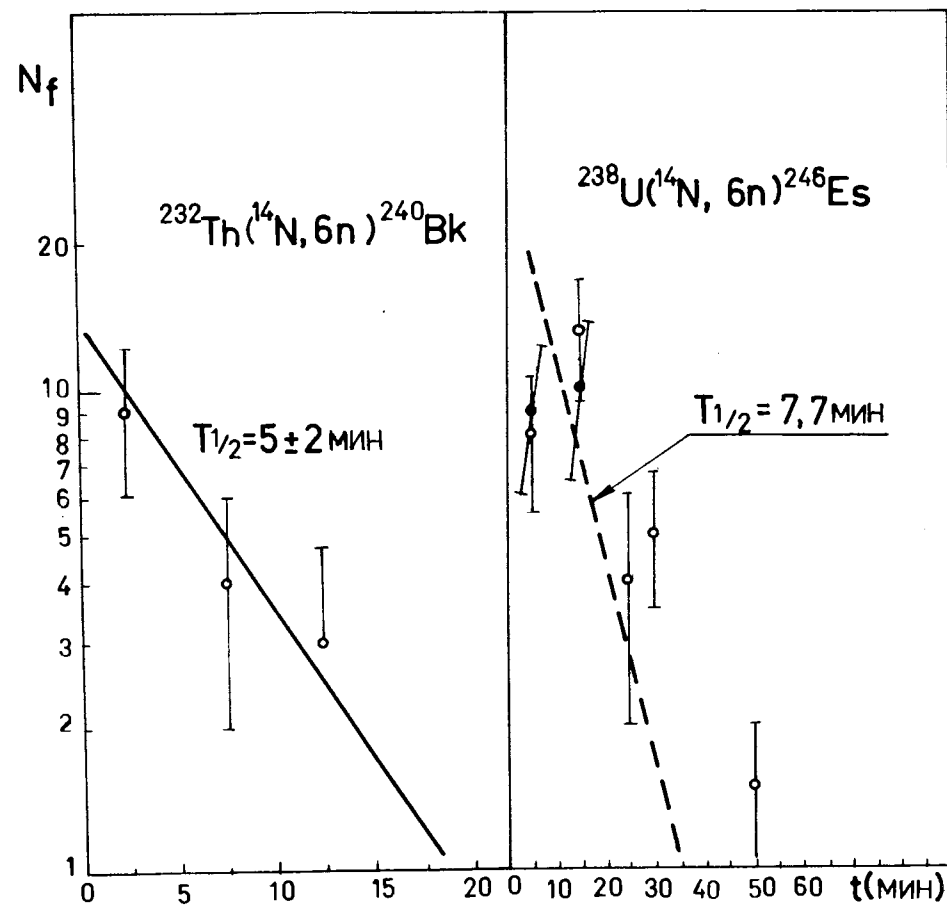


Рис. 2. Временные распределения треков в реакциях.
 Пунктиром нанесена расчетная зависимость для $T_{1/2} = 7,7$ мин.

В случае реакции $^{232}\text{Tl} + ^{14}\text{N}$, направленной на получение ^{240}Bk , мы также видим активность деления. Кривая распада в этом случае соответствует периоду $T_{1/2} = 5 \pm 2$ мин, что хорошо согласуется с ожидаемым периодом полураспада для ^{240}Bk .

Для определения числа осколков, которые можно отнести к запаздывающему делению ^{246}Es и ^{240}Bk , производился анализ возможных источников фона. При исследовании запаздывающего деления изотопов Pa было показано, что помимо тривиального фона спонтанного деления вещества мишени на достаточно низком уровне сечений имеет место фон, связанный с делением ядер мишени под действием запаздывающих нейтронов и жесткого γ -излучения, сопровождающего распад продуктов деления, сильно удаленных от области β -стабильности. В пренебрежении изменением распределения выходов при делении в различных реакциях этот фон должен быть приблизительно пропорционален полному количеству осколков мгновенного деления, образующихся в мишени за все время эксперимента. Для оценки уровня фона от этого эффекта мы определяли полный выход осколков деления при облучении ^{238}U и ^{232}Tl ионами ^{14}N , и это количество сопоставлялось с тем, которое имело место при облучении ^{238}U γ -квантами тормозного излучения в опытах по изучению Pa /5/.

Полное число осколков определялось во всех случаях по кумулятивному выходу ^{140}Ba , для которого было принято значение относительного выхода 4,6% и которое измерялось путем регистрации γ -излучения с энергией $E_\gamma = 1,6$ МэВ, принадлежащего распаду $^{140}\text{Ba} \rightarrow ^{140}\text{La} \rightarrow ^{140}\text{Ce}$. В работе /5/ при облучении ^{238}U тормозными γ -квантами с максимальной энергией ~ 30 МэВ полное число осколков деления, образующихся в мишени, составляло 10^{12} . В настоящих опытах это количество было определено равным $5 \cdot 10^9$ и $3 \cdot 10^9$

(реакции $^{238}\text{U} + ^{14}\text{N}$ и $^{232}\text{Tl} + ^{14}\text{N}$, соответственно), т.е. оказалось в несколько сот раз меньше. Примерно во столько же раз должен быть меньше и фон от рассматриваемого эффекта. Учет зарегистрированных в работе /5/ осколков показывает, что фон за счет этого эффекта в опытах с ^{246}Es и ^{240}Bk менее одного осколка за все время измерений. Простой анализ показывает, что незначителен также фон от спонтанного деления вещества мишеней (в том числе, и деления под действием космической и естественной радиации, имеющейся в экспериментальном зале У-200).

Незначительность фона и соответствие временного распределения зарегистрированных в опытах осколков распаду изотопов ^{246}Es и ^{240}Bk позволяют отнести наблюдаемую активность к запаздывающему делению указанных ядер. Для определения вероятностей запаздывающего деления исследуемых ядер (и дополнительного подтверждения самого факта их образования) производилось измерение их полного выхода в экспериментах. С этой целью по окончании облучений мишени растворялись, измеряемые доли растворенного материала наносились тонким слоем на подложки и полупроводниковым Si-Au детектором регистрировалось α -излучение продуктов основной ветви распада ^{246}Es (^{246}Cf , $T_{1/2} = 35,6$ ч, $E_\alpha = 6,76$ МэВ) и ^{240}Bk (^{240}Cm , $T_{1/2} = 28,7$ дн, $E_\alpha = 6,26$ МэВ).

В таблице 2 приведены полученные значения вероятностей запаздывающего деления после электронного захвата ядер ^{246}Es и ^{240}Bk и соответствующие сечения эффектов запаздывающего деления этих ядер, а также полные сечения (σ_D) образования ^{246}Es и ^{240}Bk , определяемые по выходам дочерних ядер ^{246}Cf и ^{240}Cm .

Из этих данных следует, что вероятность запаздывающего деления ^{246}Es и ^{240}Bk , несмотря на подбарьерный характер этого процесса, значительно выше соответствующих вероятностей, измеренных ранее для ^{238}Pa и ^{236}Pa , хотя значения энергий β -распада

Т а б л и ц а 2.

Сечения и вероятность запаздывающего деления.

Ядро	σ_g , см ²	$\sigma_{гсф}$, см ²	$P_{гсф}$
²⁴⁶ ES	$5 \cdot 10^{-30}$	$2 \cdot 10^{-34}$	$4 \cdot 10^{-5}$
²⁴⁰ Bk	$5 \cdot 10^{-30}$	$5 \cdot 10^{-35}$	10^{-5}

очень близки. Этот факт, по-видимому, отражает более высокую цельность ядер Cf и Cm по сравнению с ураном при низких энергиях возбуждения.

Авторы благодарны Г.Н.Флерову, Ю.Ц.Оганесяну за интерес к работе и полезные обсуждения, Б.А.Гвоздеву за помощь при проведении экспериментов, Б.Н.Маркову и группе эксплуатации циклотрона У-200 ЛЯР за обеспечение надежной работы ускорителя.

Л И Т Е Р А Т У Р А :

1. В.И.Кузнецов, Н.К.Скобелев, Г.Н.Флеров.
Ядерная физика, 4, 279 (1966).
2. В.И.Кузнецов, Н.К.Скобелев, Г.Н.Флеров.
Ядерная физика, 5, 221 (1967).
3. Н.К.Скобелев. Ядерная физика, 15, 441 (1972).
4. А.Г.Белов, Ю.П.Гангрский, А.М.Кучер, М.Б.Миллер, И.Ф.Харисов.
Сообщение ОИЯИ, Р15-9795, Дубна, 1976.

5. Ю.П.Гангрский, М.Маринеску, М.Б.Миллер, В.Н.Самосюк, И.Ф.Харисов.
Препринт ОИЯИ, Р15-10613, 1977.
6. В.Л.Михеев, В.И.Илющенко, М.Б.Миллер.
Ядерная физика, 5, 49 (1967).
7. Н.Н.Колесников, А.Г.Демин. Сообщение ОИЯИ, Р6-9420, Дубна, 1975.
8. Н.Н.Колесников, А.Г.Демин. Сообщение ОИЯИ, Р6-9421, Дубна, 1975.
9. R. Vack, H. Britt et al. Phys. Rev., c.10, 1928 (1974).

Рукопись поступила в издательский отдел
29 июня 1977 года