

Д-763

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



1218/2-79

2/10-79

P7 - 12056

В.А.Друин, Б.Бочев, Ю.В.Лобанов, Р.Н.Сагайдак,  
Ю.П.Харитонов, С.П.Третьякова, Г.Г.Гульбекян,  
Г.В.Букланов, Е.А.Ерин, В.Н.Косяков, А.Г.Рыков

О СПОНТАННОМ ДЕЛЕНИИ ТЯЖЕЛЫХ ИЗОТОПОВ  
НИЛЬСБОРИЯ ( $Z = 105$ ) И ЭЛЕМЕНТА 106

1978

P7 - 12056

В.А.Друин, Б.Бочев, Ю.В.Лобанов, Р.Н.Сагайдак,  
Ю.П.Харитонов, С.П.Третьякова, Г.Г.Гульбемян,  
Г.В.Букланов, Е.А.Ерин<sup>1</sup>, В.Н.Косяков<sup>2</sup>, А.Г.Рыков<sup>1</sup>

О СПОНТАННОМ ДЕЛЕНИИ ТЯЖЕЛЫХ ИЗОТОПОВ  
НИЛЬСБОРИЯ ( $Z = 105$ ) И ЭЛЕМЕНТА 106

*Направлено в ЯФ*

---

<sup>1</sup> НИИАР, Димитровград.

<sup>2</sup> ИАЭ им. И.В.Курчатова, Москва.



Друин В.А. и др.

P7 - 12056

О спонтанном делении тяжелых изотопов ниельсбория ( $Z = 105$ ) и элемента 106

В ядерных реакциях  $^{249}\text{Bk}(^{18}\text{O}, 5n)$  и  $^{249}\text{Cf}(^{18}\text{O}, 4n)$  получены тяжелые изотопы ниельсбория -  $^{262}\text{Ns}$  и элемента 106 -  $^{263}106$ , испытывающие с большой вероятностью спонтанное деление (-60% и -70% соответственно).

Полученные результаты в совокупности с имеющимися данными о других изотопах 105 и 106 элементов дают указание на то, что для изотопов элементов тяжелее курчатовия ( $Z = 104$ ) имеет место закономерность в зависимости периодов спонтанного деления от числа нейтронов, аналогичная установленной для изотопов курчатовия.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОЯЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований, Дубна 1978

Druin V.A. et al.

P7 - 12056

On Spontaneous Fission of Heavy Isotopes of Nielsbohrium ( $Z = 105$ ) and Element 106

The nuclear reactions  $^{249}\text{Bk}(^{18}\text{O}, 5n)$  and  $^{249}\text{Cf}(^{18}\text{O}, 4n)$  have been used to produce the heavy isotopes of nielsbohrium,  $^{262}\text{Ns}$ , and element 106,  $^{263}106$ , which undergo spontaneous fission with high probabilities (-60% and -70%, respectively). Together with the available data on other isotopes of elements 105 and 106, the results obtained indicate that the dependence of spontaneous fission half-lives on neutron number for elements heavier than kurchatovium ( $Z = 104$ ) is similar to that established for kurchatovium isotopes.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research.

Dubna 1978

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Экспериментальные исследования радиоактивных свойств ядер с  $Z \geq 100$  привели к обнаружению ряда интересных особенностей в поведении их стабильности относительно спонтанного деления. Наиболее характерными среди них являются следующие:

а. Наличие четко выраженного максимума в зависимости периодов спонтанного деления для четно-четных изотопов Fm и элемента 102 от числа нейтронов в ядре. Максимальная стабильность ядер этих элементов достигается при числе нейтронов  $N = 152$ . Более легкие и более тяжелые изотопы имеют времена жизни относительно спонтанного деления по величине на много порядков меньше. Так, например,  $^{244}\text{Fm}$  и  $^{258}\text{Fm}$  живут меньше  $^{252}\text{Fm}$  соответственно в  $10^{12}$  и  $10^{13}$  раз.

б. При переходе к более тяжелому элементу - курчатовию ( $Z = 104$ ) установлено, что сильная зависимость  $T_{\text{SF}}(N)$  с максимумом при  $N = 152$  исчезает, а вместо нее появляется плавная, монотонно возрастающая с увеличением числа нейтронов в ядре функция. Так, например, изотоп  $^{260}\text{Ku} /^{1-4}/$  живет примерно в  $10^5$  раз дольше, чем это следует из экстраполяций времен жизни в область  $Z > 102^{/5}/$ , а период полураспада  $^{256}\text{Ku} /^{6}/(N = 152)$  отклоняется от соответствующих оценок примерно в  $10^5$  раз в сторону меньших значений.

в. Для ядер Fm и 102 элемента с числом нейтронов  $N = 157$  обнаружено резкое повышение стабильности относительно спонтанного деления, что приводит к факторам запрета относительно тенденции в изменении свойств соответствующих четно-четных изотопов, большим чем  $10^9$ , в то время как другие известные нечетные по  $A$  и дважды нечетные ядра имеют факторы запрета от  $10^4$  до  $10^6$ .

Изменение закономерности в поведении стабильности ядер с  $Z = 104$  относительно спонтанного деления в зависимости от числа нейтронов находит качественное объяснение в рамках динамических расчетов периодов спонтанного деления <sup>7/</sup>. Теория предсказывает аналогичный характер поведения  $T_{SF}$  для четно-четных изотопов более тяжелых элементов ( $Z > 104$ ). Попытка развить эти расчеты для нечетных по  $A$  ядер <sup>8/</sup> дает некоторые представления о влиянии нечетной частицы на времена жизни для наиболее тяжелых ядер и показывает, в частности, что фактор запрета при переходе от ядер с  $Z = 96$  к ядрам с  $Z = 108$  уменьшается по величине на три порядка.

Совокупность этих фактов стимулирует экспериментальные попытки продвижения в область  $Z > 104$  с целью исследования спонтанного деления наиболее тяжелых изотопов 105 и 106 элемента.

Так, исследование  $\alpha$ -распада тяжелого изотопа нильсборния ( $^{262}105$ ) <sup>9/</sup> показало, что при облучении  $^{249}\text{Bk}$  ионами  $^{18}\text{O}$  в области энергий 92-97 МэВ наблюдается спонтанно делящаяся активность с периодом полураспада  $25 \pm 10$  с. Если эту активность соотнести с  $40 \pm 10$  с  $\alpha$ -активностью  $^{262}105$ , то можно установить ветвь на спонтанное деление этого нуклида. Такая оценка, проделанная авторами <sup>9/</sup>, дала величину ~60%. Однако вследствие недостатка экспериментальных данных авторы не исключают возможности того, что источниками 25-секундной спонтанно делящейся активности могут быть либо  $^{263}105$ , либо  $^{263}\text{Ku}$ .

В недавней работе <sup>10/</sup>, посвященной исследованию спонтанного деления  $^{262}105$ , авторы, используя эту же комбинацию мишень-частица, наблюдали спонтанно делящуюся активность с периодом полураспада  $34,1 \pm 4,6$  с. Ими была определена ветвь на спонтанное деление, составившая величину  $78 \pm 6\%$ .

Поскольку в работе <sup>10</sup> не приводятся данные о сечении наблюдаемой активности и его энергетической зависимости, то нельзя исключить того, что деление связано с более тяжелым изотопом  $^{263}105$ . Время жизни неизвестного нуклида  $^{263}105$  может оказаться близким ко времени жизни  $^{262}105$ , как это имело место для изотопов  $^{260}105$  <sup>11/</sup> и  $^{261}105$  <sup>12/</sup>.

Тяжелый изотоп 106 элемента -  $^{263}106$  ( $N = 157$ ), изученный по  $\alpha$ -распаду <sup>13/</sup>, по утверждению авторов, не должен делиться с заметной модой. Этот вывод сделан на основании того, что

полученное экспериментально при регистрации  $\alpha$ -распада сечение образования этого изотопа /0,3 нб/ в максимуме функции возбуждения превышает расчетное /0,2 нб/.

Следует отметить также, что данные о спонтанном делении указанных выше изотопов <sup>9,10,13/</sup> извлекались авторами в неблагоприятных фоновых условиях при соотношении эффект/фон ~0,1, вследствие больших сечений образования в реакциях передач долгоживущего спонтанно делящегося нуклида  $^{256}\text{Fm}$ .

Таким образом, недостаточно полные данные о спонтанном делении  $^{262}105$  и отсутствие таковых для  $^{263}106$  привлекли нас к дополнительному исследованию этих нуклидов с применением более чувствительной методики.

## 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ

### Получение $^{262}\text{Ns}$ и $^{263}106$

Для получения исследуемых изотопов использовались реакции  $^{249}\text{Bk} (^{18}\text{O}, 5n) ^{262}\text{Ns}$  и  $^{249}\text{Cf} (^{18}\text{O}, 4n) ^{263}106$ . Мишени из изотопов  $^{249}\text{Bk}$  /350 мг/см<sup>2</sup>, диаметр 8 мм/ и  $^{249}\text{Bk}$  /400 мг/см<sup>2</sup>, диаметр 6 мм/ приготавливались методом послойного нанесения на золотые фольги толщиной 9,8 мг/см<sup>2</sup> каждая с последующим прокаливанием в воздухе до превращения в оксиды. Содержание дочернего  $^{249}\text{Cf}$  в мишени из 314-дневного  $^{249}\text{Bk}$  в конце экспериментов не превышало 15%. Изотопически чистый  $^{249}\text{Cf}$  был получен как продукт распада  $^{249}\text{Bk}$ . Радиоактивные слои обеих мишеней покрывались золотой фольгой толщиной 150 мг/см<sup>2</sup>, чтобы предотвратить выбивание микроколичеств вещества мишеней пучком ионов. Мишень заряжалась в медную кассету и устанавливалась на охлаждаемой водой головке.

Облучения мишеней проводились на изохронном циклотроне У-200 ионами  $^{18}\text{O}$ , которые ускорялись в машине как  $^{18}\text{O}^{+4}$  и выводились из нее методом перезарядки. После вывода из циклотрона и фокусировки пучок ионов проходил через тонкую /~50 мг/см<sup>2</sup>/ золотую мишень, приготовленную на углеродной фольге толщиной ~30 мг/см<sup>2</sup>, алюминиевое входное окно толщиной 2,1 мг/см<sup>2</sup> с нанесенным на него тонким слоем золота /~100 мг/см<sup>2</sup>/, 40 мм гелия при давлении 15-20 Тор, подложку

и попадал на мишень. Тонкие золотые мишени использовались для измерения энергии и мониторингирования тока пучка по упругому рассеянию на них налетающих ионов. Камера мишени в рабочих условиях наполнялась гелием до давления 15-20 Тор, для того чтобы предотвратить чрезмерный нагрев мишеней и ленты-сборника ядер отдачи интенсивным пучком ионов.

В целом экспериментальная установка описана нами ранее в статьях, посвященных исследованию курчатовия <sup>3,4</sup>. Некоторые технические усовершенствования, показанные на рис. 1, были направлены на более строгий контроль энергии и интенсивности пучка ионов, которые осуществлялись с помощью двух поверхностно-барьерных детекторов. Энергетическое разрешение детектора 1 /ППШМ/, определяемое по пику упруго рассеянных ионов, составляло обычно 1,6-1,8 МэВ. Изменения положения максимума упругого пика при настройках ускорителя на максимальный ток и за счет нестабильности электроники в течение 2-3 суток облучения не превышало  $\pm 1,5$  МэВ. Энергия ионов на мишени варьировалась с помощью дополнительных алюминиевых фольг, помещаемых между входным окном и мишенью, и определялась по таблицам пробег-энергия <sup>14</sup>. Детектор 2, прокалиброванный по вакуумному цилиндру Фарадея, давал информацию об интенсивности пучка, проходящего через мишень.

Собранные на ленту-сборник ядра отдачи непрерывно переносились к трековым детекторам осколков деления, расположенным вплотную к ленте /зазор 1 мм/. В качестве детекторов использовались фосфатные стекла и лавсан, имеющие эффективность регистрации осколков около 90% <sup>15</sup>. Получаемые распределения треков осколков спонтанного деления обрабатывались с помощью программы для построения оценок параметра экспоненциального распределения в условиях малой статистики <sup>16</sup>.

<sup>262</sup>Ns

Облучения берклиевой мишени ионами кислорода проводились при энергиях ионов на слое мишени 93, 99 и 105 МэВ. Во всех случаях скорость движения ленты составляла 0,356 см/с, а время движения ленты в одном направлении - более 20 часов, что позволило нам практически полностью подавить фон от долгоживущих спонтанно делящихся активностей. Результаты проведенного анализа распределения треков приводятся в таб-

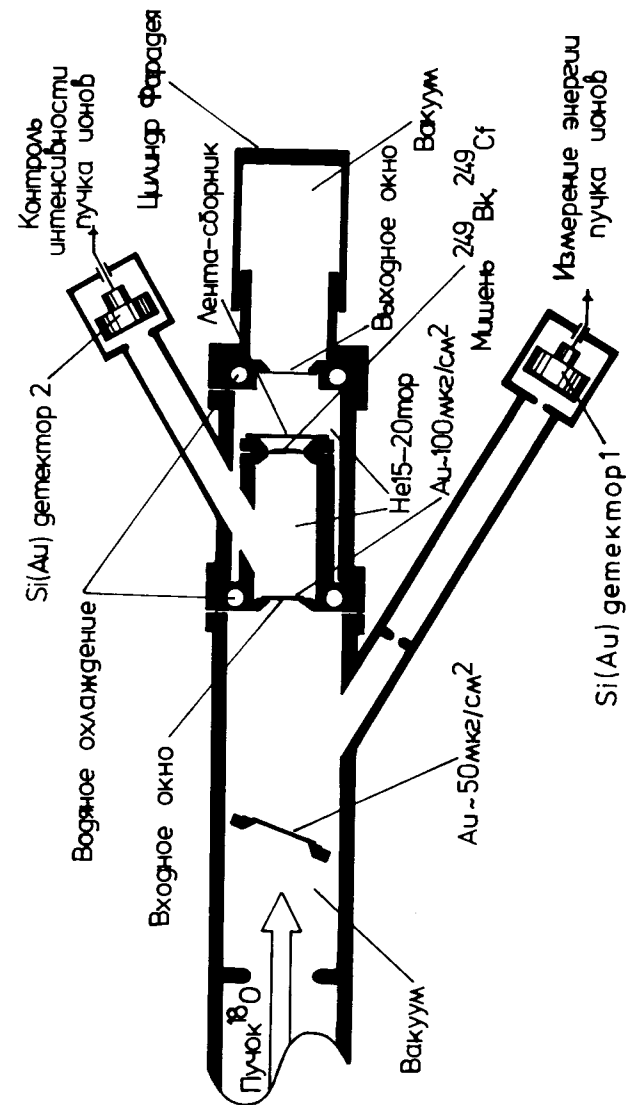


Рис. 1. Схема центральной части экспериментальной установки.

лице. Эти результаты позволяют утверждать, что мы регистрировали распад одного и того же нуклида. Аналогичный анализ полного количества треков дает значение  $35,2 \pm 10,4$  с для уровня надежности 90%. Зависимость сечения образования этой активности от энергии соответствует расчетной /17,18/ для реакции

Таблица

Энергия ионов $^{18}\text{O}$ МэВ	Оценка методом максимального правдоподобия	Уровень надежности, %
93	$34,0^{+28,6}_{-13,6}$	67
99	$33,3^{+14,8}_{-8,8}$	67
105	$36,5^{+30,3}_{-13,2}$	67

( $^{18}\text{O}, 5n$ ), как показано на рис. 2. В расчетах использовалась систематика  $\langle \Gamma_n / \Gamma_f \rangle^{18}$ , дающая удовлетворительное согласие с известными экспериментальными данными по сечениям (Hf, xn) -реакций в широкой области сильно делящихся ядер.

Таким образом, результаты исследования функции возбуждения наблюдаемой спонтанно делящейся активности и ее период полураспада, совпадающий с полученным при исследовании  $\alpha$ -распада, позволяют утверждать, что эта активность связана с распадом  $^{262}\text{Ns}$ .

Используя данные работ /9,10/ и полученное нами экспериментальное значение сечения в максимуме функции возбуждения /2,8 нб/, можно оценить ветвь на спонтанное деление как 60%. Соответствующие теоретические оценки /19/ показывают, что вероятность распада  $^{262}\text{Ns}$  иным образом, в частности путем электронного захвата, мала (~1/60).

Мы исследовали также функции возбуждения для образования долгоживущих спонтанно делящихся активностей в отдельных двухчасовых облучениях, но в той же геометрии, когда лента-сборник ядер отдачи была неподвижной. Кривые распада для

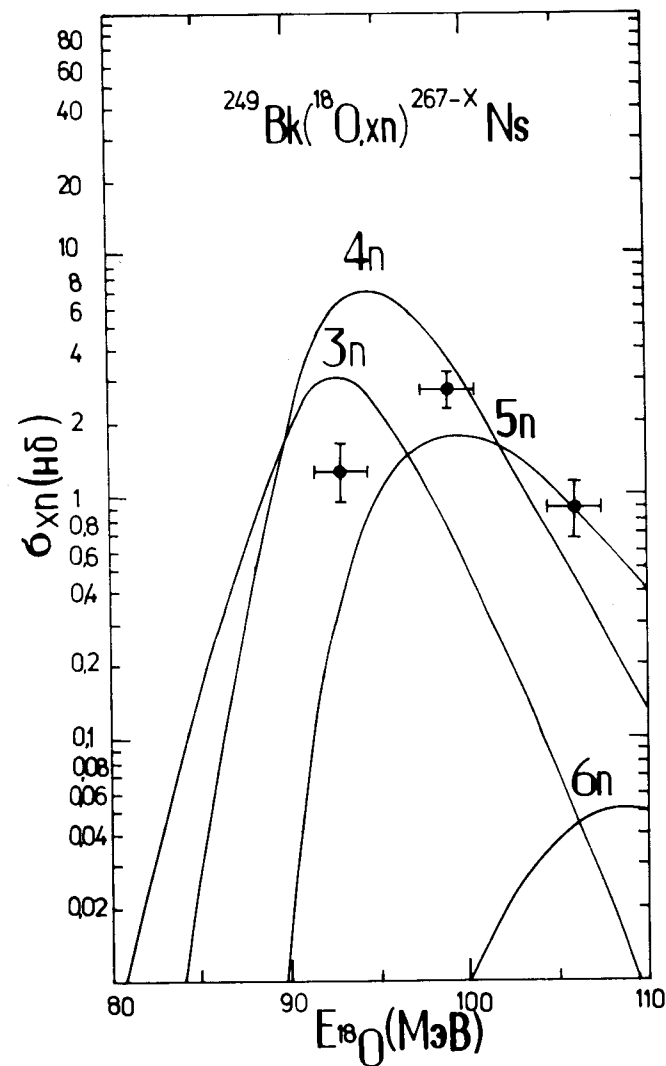


Рис. 2. Функции возбуждения для реакций  $^{249}\text{Bk}(^{18}\text{O}, xn)^{267-x}\text{Ns}$ . Сплошные кривые - расчет /17,18/, точки - экспериментальные значения /указаны только статистические ошибки/.

этих продуктов прослеживались через 15-20 минут после облучения в течение более чем 3 суток и показали, что эта активность обусловлена в основном  $^{256}\text{Fm}$  ( $^{256}\text{Md}$ ).

Облучение  $^{249}\text{Bk}$  ионами  $^{18}\text{O}$  проводилось в широком диапазоне энергий ионов кислорода с целью обнаружения спонтанного деления неизвестного более тяжелого изотопа  $^{263}\text{Ns}$ , который должен образовываться в ядерной реакции  $^{249}\text{Bk}(^{18}\text{O}, 4n)^{263}\text{Ns}$ . Однако нам не удалось обнаружить спонтанно делящейся активности с ожидаемым для  $(^{18}\text{O}, 4n)$ -реакции выходом. Измерения проводились в диапазоне времен от 0,2 до 200 с. Следует отметить, что в экспериментах по изучению  $\alpha$ -распада <sup>9/</sup> этот изотоп также не наблюдался. Возможной причиной ненаблюдения  $\alpha$ -распада и спонтанного деления этого изотопа является преобладание электронного захвата при распаде  $^{263}\text{Ns}$ . Это приводит к образованию  $\alpha$ -радиоактивного неизвестного изотопа  $^{263}\text{Ku}$ , который распадается по цепочке  $^{263}\text{Ns} \xrightarrow{\alpha, \tau_{1/2} \approx 2,3 \text{ с}}$ ,  $^{263}\text{Ku} \xrightarrow{\alpha, \tau_{1/2} \approx 2,59 \cdot 10^{-2} \text{ с}}$ ,  $^{255}\text{Fm}$ , что исключает возможность его идентификации способами, использованными в настоящей работе и в опытах по  $\alpha$ -распаду <sup>9/</sup>.

Мы также провели облучение  $^{249}\text{Bk}$  ионами  $^{16}\text{O}$  с энергией 94 МэВ. В этом случае нам удалось наблюдать 2-секундную активность, идентифицированную нами как  $^{261}\text{Ns}$ , для которого мы получили долю спонтанного деления ~30%, соответствующую данным, полученным в Дубне в 1970 г. /~20%/ <sup>12/</sup>.

$^{263}106$

Идентификация  $^{263}106$  была выполнена аналогичным образом по периоду полураспада и измерению энергетической зависимости выхода спонтанно делящейся активности. Облучения калифорниевой мишени ионами кислорода-18 проводились при энергиях ионов на слое мишени 90, 95 и 102 МэВ. Обработка распределения треков осколков спонтанного деления при энергии 95 МэВ, соответствующей максимуму функции возбуждения реакции  $(^{18}\text{O}, 4n)$ , дает значение  $T_{\text{SF}} = 0,64^{+0,32}_{-0,18}$  с для уровня надежности 67%. Этот результат в пределах погрешностей согласуется с результатами, полученными при исследовании  $\alpha$ -распада того же нуклида /0,9±0,2 с/ <sup>13/</sup>. Эта активность наблюдалась также при энергиях 90 и 102 МэВ. Полученная таким образом функция возбуждения /рис. 3/ соответствует расчетной <sup>17,18/</sup> для реакции  $^{249}\text{Cf}(^{18}\text{O}, 4n)^{263}106$ . Величина

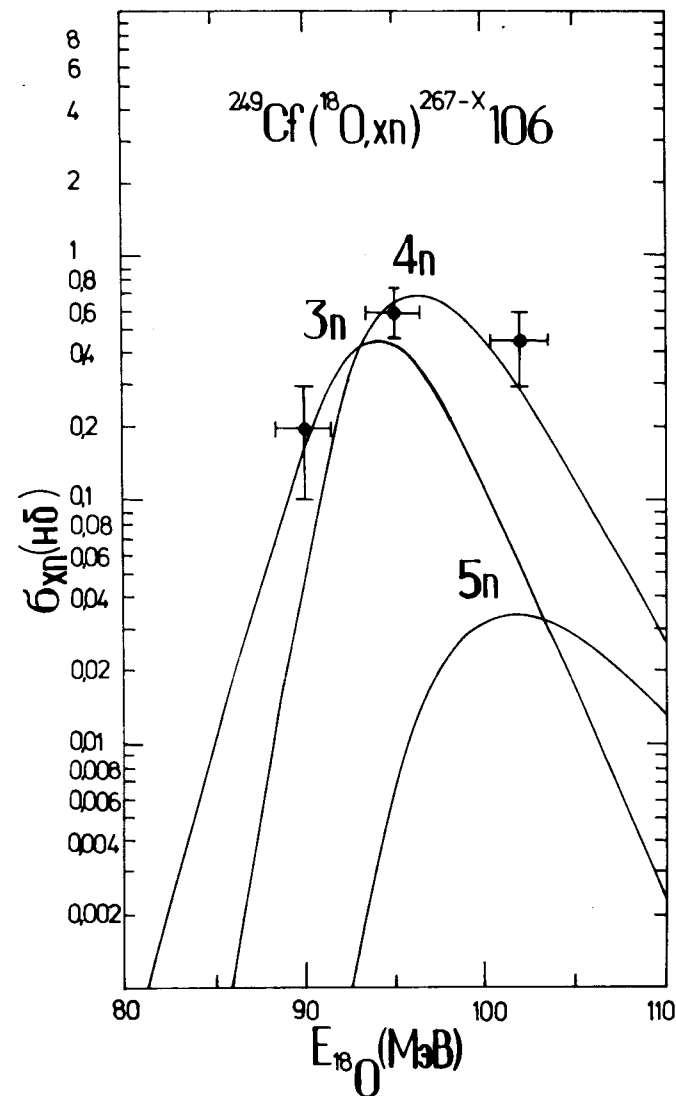


Рис. 3. Функции возбуждения для реакции  $^{249}\text{Cf}(^{18}\text{O}, xn)^{267-x}106$ . Сплошные кривые - расчет <sup>17,18/</sup>, точки - экспериментальные значения /указаны только статистические ошибки/.

сечения в максимуме функции возбуждения /0,6 нб/ и данные по сечению образования этого же изотопа, полученные при регистрации  $\alpha$ -распада  $^{137}$ , позволяют оценить ветвь на спонтанное деление, которая составляет величину ~70%.

### 3. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Экспериментальные значения периодов полураспада относительно спонтанного деления  $^{262}\text{Ns}$  и  $^{263}\text{106}$  представлены на рис. 4 вместе с другими данными для четно-четных и нечетных изотопов курчатовия, нильсбория и элемента 106  $^{21}$ . Обращает на себя внимание тот факт, что зависимость  $T_{\text{SF}}(N)$  для нечетных изотопов курчатовия воспроизводит аналогичную для четно-четных. Это означает, что коэффициенты запрета для деления нечетных изотопов курчатовия примерно одинаковы в довольно широком диапазоне массовых чисел и составляют величину  $\sim 10^4$ . Экспериментальные данные о периодах спонтанного деления изотопов 105 и 106 элементов, дополненные данными настоящей работы, указывают на наличие зависимости  $T_{\text{SF}}(N)$  для  $Z > 104$ , аналогичной той, которая имеет место для изотопов курчатовия.

Теоретические оценки энергии специализации, определяющей повышение барьера ядер с нечетной частицей относительно четно-четного остова, дают хорошее качественное согласие с экспериментальными данными. Согласно расчетам  $^{8, 20}$ , коэффициенты запрета в области  $Z > 104$  должны быть не столь велики, как для ядер более легких элементов, даже при наличии  $N = 157$ . Объясняется это сужением барьера деления за счет опускания второго максимума ниже основного состояния. При этом величина коэффициента запрета должна уменьшаться по мере перехода к более тяжелым ядрам. Так, для  $^{263}\text{106}$  теорией  $^{20}$  предсказывается коэффициент запрета  $\sim 10^3$ . К сожалению, до сих пор не синтезирован ни один четно-четный изотоп элемента 106 и нет возможности оценить экспериментальное значение фактора запрета.

На рис. 5 мы привели  $T_{\text{SF}}$  для изотопов различных элементов с числом  $N = 157$ . Только для трех ядер измерены периоды спонтанного деления ( $^{257}\text{Fm}$ ,  $^{262}\text{105}$  и  $^{263}\text{106}$  - два последних значения получены в настоящей работе). Для других указаны

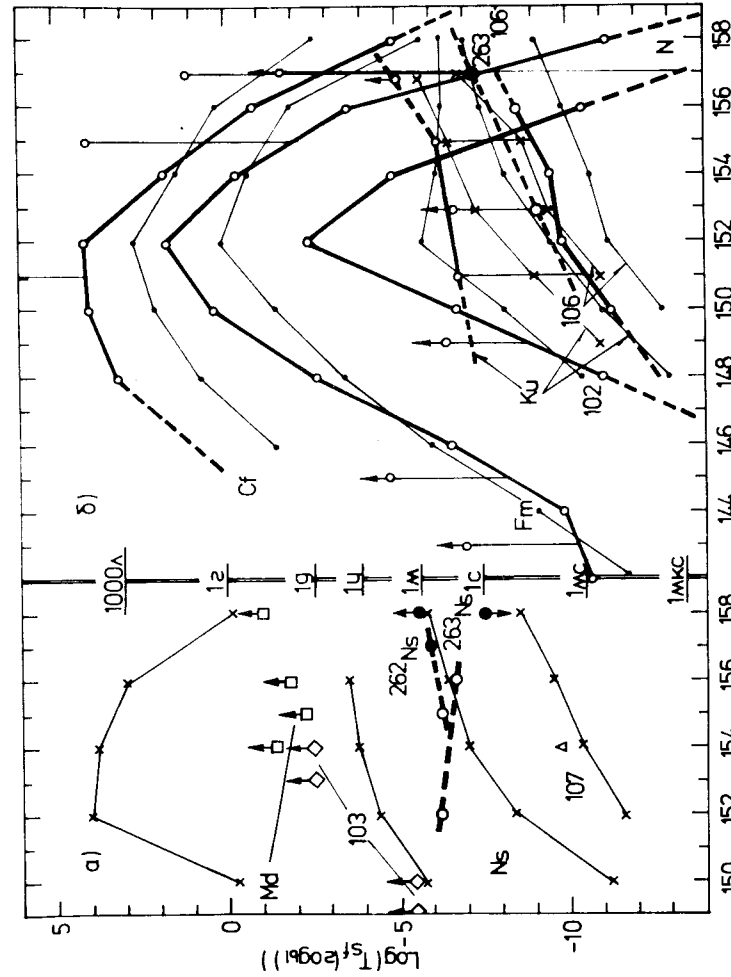


Рис. 4. Систематика периодов спонтанного деления наиболее тяжелых ядер: а/ для четных по Z ядер; б/ для четных по Z ядер. Открытыми символами показаны экспериментальные значения  $T_{\text{SF}}$  для изотопов различных элементов, закрытыми кружками - данные, полученные в настоящей работе. Точки - результаты расчета для четно-четных ядер  $^{7}$ , кресты - для нечетных по A ядер  $^{8}$ . Жирные линии проведены через экспериментальные значения  $T_{\text{SF}}$ , тонкие - через расчетные.



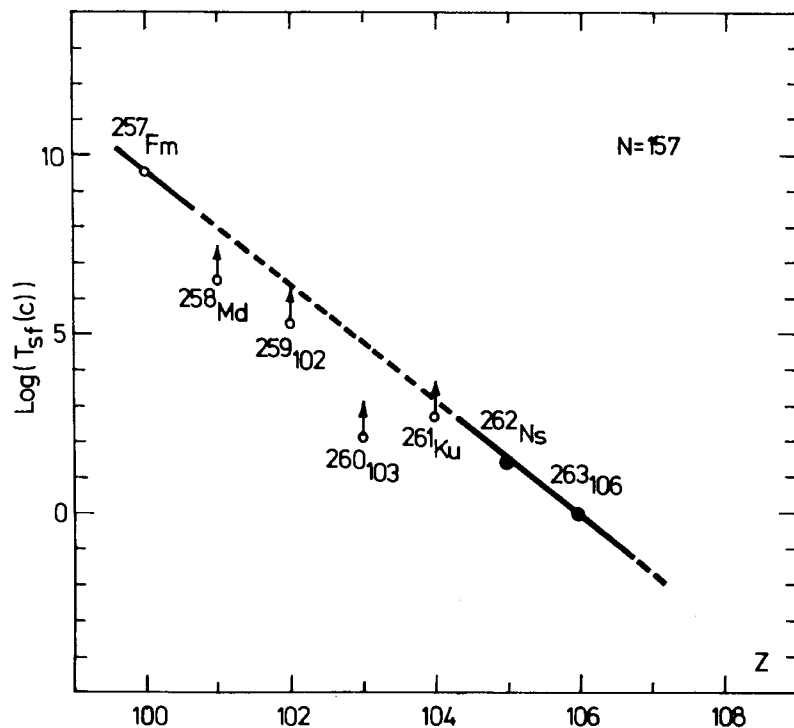


Рис. 5. Зависимость периодов спонтанного деления от Z для различных элементов с числом нейтронов N=157. Закрытыми кружками показаны результаты настоящей работы.

лишь нижние пределы  $T_{SF}$ . Тем не менее этот график позволяет путем экстраполяции в область  $Z=107, 108$  оценить возможные времена жизни для спонтанного деления изотопов с  $N=157$ . Эти оценки обнадеживают экспериментаторов в их попытках синтезировать новые изотопы тяжелых элементов с временами жизни от миллисекунд до десятков и сотен миллисекунд. Еще большими временами должны, по-видимому, обладать доступные изотопы 107 и 108 элементов с  $N=159$ , синтез которых возможен в ядерных реакциях с ионами  $^{22}\text{Ne}$  на мишенях  $^{249}\text{Bk}$  и  $^{249}\text{Cf}$ . Естественно, что сечения ядерных реакций могут быть невелики, однако сооружение высокоточных ускорителей тяжелых ионов, таких как У-400 в Дубне, делает эту работу вполне реальной.

В заключение авторы выражают искреннюю признательность академику Г.Н.Флерову и проф. Ю.Ц.Оганесяну за постоянный интерес к работе и ее поддержку, Е.А.Черепанову за расчеты функций возбуждения, В.И.Крашонкину и В.К.Утенкову за помощь в проведении экспериментов.

Мы благодарим также персонал циклотрона У-200 за обеспечение стабильной работы ускорителя и группу сотрудников, обеспечивших обработку и сканирование трековых детекторов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Флеров Г.Н. и др. АЭ, 1964, 17, с.310; *Phys. Lett.*, 1964, 13, p.73.
2. Оганесян Ю.Ц. и др. АЭ, 1970, 28, с.393.
3. Друин В.А. и др. ЯФ, 1976, 24, с.254.
4. Друин В.А. и др. АЭ, 1977, 43, с.55.
5. Silva R.J. et al. *Nucl. Phys.*, 1973, A216, p.97.
6. Оганесян Ю.Ц. и др. *Nucl. Phys.*, 1975, A239, с.157; ОИЯИ, Д7-8224, Дубна, 1974.
7. Baran A. et al. *Proc. 3rd Int. Conf. on Nuclei Far from Stability*, CERN, 1976 76-13, p.537.
8. Pomorski K. *Proc. 10th Masurian School in Nuclear Physics, Nucleonica*, 1978, part 2, 23, p.125.
9. Ghiorso A. et al. *Phys. Rev.*, 1971, C4, p.1250.
10. Bemis C.E. et al. *Phys. Rev.Lett.*, 1977, 39, p.1246.
11. Bemis C.E. et al. *Phys. Rev.*, 1977, C16, p.1146.
12. Флеров Г.Н. и др. АЭ, 1970, 29, с.243; *Nucl. Phys.*, 1970, A160, p.181.
13. Chiorso A. et al. *Phys. Rev.Lett.*, 1974, 33, p.1490.
14. Northcliffe L.C., Schilling R.F. *Nuclear Data*, 1970, A7, p.233.
15. Николаев В.А., Перельгин В.П. ПТЭ, 1976, №2, с.7.
16. Злоказов В.Б. *NIM*, 1978, 151, p.303; ОИЯИ, P10-10885, Дубна, 1977.
17. Ильинов А.С. ОИЯИ, P7-7108, Дубна, 1973.
18. Ильинов А.С., Черепанов Е.А. *Сообщения ИЯИ АН СССР П-0090*, Москва, 1978.
19. Колесников И.Н., Демин А.Г. ОИЯИ, P6-9420, P6-9421, Дубна, 1975.
20. Randrup J. et al. *Nucl. Phys.*, 1973, A217, p.221.
21. Оганесян Ю.Ц. и др. *Письма в ЖЭТФ*, 1974, 20, с.580.

Рукопись поступила в издательский отдел  
1 декабря 1978 года.