

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна.



Р7 - 6262

Г.Н.Флеров, С.А.Карамян, Ю.Э.Пенионжкевич,  
С.П.Третьякова, И.А.Шелаев

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

НЕКОТОРЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ  
ПО ИЗУЧЕНИЮ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
УСКОРЕННЫХ ИОНОВ КСЕНОНА С ЯДРАМИ

1972

Экз. чит. зал

P7 - 6262

Г.Н.Флеров, С.А.Карамян, Ю.Э.Пенионжкевич,  
С.П.Третьякова, И.А.Шелаев

НЕКОТОРЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ  
ПО ИЗУЧЕНИЮ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  
УСКОРЕННЫХ ИОНОВ КСЕНОНА С ЯДРАМИ

**Научно-техническая  
библиотека  
ОИЯИ**

## SUMMARY

Cross sections of some interaction reactions of accelerated  $Xe$  ions with nuclei were measured. Cross sections of the exchange reactions were noticed to be growing in transitions from light bombarding particles ( $^{22}Ne$ ,  $^{40}Ar$ ) to  $^{136}Xe$  ions. The products of the compound nucleus reactions were identified in bombarding the targets of  $Mg$  and  $Zn$ ; the cross sections of the reactions were determined to be:  $^{24}Mg$  ( $^{136}Xe, 5n$ )  $^{155}Dy$  - 340 mb;  $^{70}Zn$  ( $^{136}Xe; 4, 5n$ )  $^{202, 201}Po$  - 31 and 52 mb, respectively.

The search was performed for the spontaneously fissioning emitters in the interaction products of  $U$  and  $Xe$  nuclei. The boundary of  $\sigma \leq 10^{-31} \text{ cm}^2$  was obtained for the production cross section of long-lived spontaneously fissioning emitters with the half-life of about 100 days.

Исследование ядерных реакций с участием очень тяжелых ускоренных ионов является ближайшей перспективой развития физики взаимодействия сложных ядер, а также эффективных методов получения новых элементов и изотопов. Если два года назад самой тяжелой ускоренной частицей являлись ионы аргона ( $Z=18$ ), то в настоящее время в Дубне проведены опыты с ионами цинка ( $Z=30$ )<sup>/1/</sup>, в Орсе (Франция) ведутся эксперименты на пучке криптона ( $Z=36$ )<sup>/2/</sup>, в Беркли (США) находится в наладке линейный ускоритель тяжелых ионов *Super HILAC*, в Дармштадте (ФРГ) строится новый линейный ускоритель, предназначенный для получения пучков ускоренных ионов всех элементов таблицы Менделеева. В последнее время в Дубне на тандем-циклотроне удалось ускорить ионы ксенона ( $Z=54$ ) до энергии 7 Мэв/нуклон. Проект соединения двух циклотронов Лаборатории ядерных реакций У-300 и У-200 в единую систему<sup>/3/</sup> был осуществлен в 1971 году, и в сентябре 1971 года получены пучки различных изотопов ксенона с энергией до 7 Мэв/нуклон и интенсивностью до  $3 \cdot 10^9$  частиц/сек<sup>/4/</sup>. В работе<sup>/5/</sup> сообщалось о наблюдении первой ядерной реакции с ускоренными ионами  $^{132}\text{Xe}$ .

Большой интерес к изучению ядерных реакций, вызываемых очень тяжелыми ионами с  $Z > 30$ , объясняется, в первую очередь, обсуждае-

мой в литературе возможностью синтеза сверхтяжелых элементов в этих реакциях. В частности, в 1964 году в работе /6/ впервые была высказана идея об использовании реакции деления гигантских составных ядер, образующихся при взаимодействии двух тяжелых ядер, в качестве способа синтеза новых трансурановых элементов.

Данный метод позволяет рассчитывать на получение тяжелых ядер, обогащенных нейтронами, и является, по нашему мнению, наиболее эффективным способом синтеза изотопов, близких к магическим ядрам  $^{294}110$  и  $^{298}114$ . Реакции с ионами ксенона также могут явиться источником получения изотопов известных элементов, далеких от линии  $\beta$ -стабильности, как в сторону нейтронного дефицита, так и, особенно, нейтронного обогащения. Кроме того, при изучении реакций взаимодействия тяжелых ядер можно надеяться на обнаружение новых интересных физических явлений, таких, например, как предсказанная теоретически динамическая деформация ядер кулоновским полем; кулоновское деление; эффект критического углового момента в роли определяющего фактора механизма ядерной реакции; эффекты, связанные с увеличением порога реакции слияния с ростом массы составного ядра вплоть до значений, превышающих кулоновский барьер, и многое другое. Все перечисленные эффекты должны оказывать существенное влияние на величины сечений реакций различного типа при взаимодействии тяжелых ядер. В частности, отношение полного сечения реакций передачи нуклонов и сечения реакции составного ядра определяется в значительной степени величиной критического углового момента.

В данной работе измерены сечения некоторых ядерных реакций различного типа, вызываемых ускоренными ионами ксенона, с целью получения на первом этапе качественной информации о механизме взаимодействия тяжелых ядер, а также сделана попытка наблюдения спонтанно-делящихся излучателей в продуктах взаимодействия ядер урана и ксенона.

#### Реакция образования составного ядра

При слиянии ядра ксенона с энергией, равной кулоновскому барьеру, и ядра мишени энергия возбуждения составного ядра существенно зависит от  $Z$  мишени и соответственно от  $Z$  составного ядра ( $Z_c$ ). Энергия возбуждения резко уменьшается и приближается к нулю для составных ядер с  $Z_c > 100$ . Согласно нашим оценкам, эффекты критического углового момента становятся также очень сильными в этой области  $Z_c$ . Поэтому для выяснения особенностей реакции составного ядра с ионами ксенона в условиях близости порога слияния к кулоновскому барьеру и существенного действия центробежных эффектов необходимо изучать образование составных ядер с  $Z_c > 100$ . Однако столь тяжелые ядра обладают высокой делимостью, что снижает сечения образования изотопов-продуктов реакций типа  $(Xe, xn)$ . Кроме того, изотопы трансфермиевых элементов имеют короткие времена жизни, поэтому требуется экспрессная высокочувствительная методика, которую весьма затруднительно использовать при работе на внутреннем пучке, имевшемся в нашем распоряжении. В связи с изложенным были изучены реакции образования более легких составных ядер:  $^{24}Mg(^{136}Xe, 3,5n)^{157}Dy$ ;  $^{15}Dy$  и  $^{70}Zn(^{136}Xe, 4,5n)^{202,20}Po$ .

В экспериментах использовалась методика облучения толстой мишени на внутреннем пучке циклотрона с дальнейшей регистрацией полной  $\gamma$ -активности, накопленной в мишени. При интенсивности пучка тяжелых ионов  $10^9$  1/сек методика  $Ge(Li)$ -детектора имеет порог чувствительности на уровне  $10^{-28}$  см<sup>2</sup> для толстой мишени. Поскольку ставилась задача получить в каждом опыте информацию о возможно большем числе различных реакций, имеющих широкий спектр сечений, то использование толстой мишени было необходимо. Однако применение толстой мишени безусловно, затрудняло процедуру извлечения величины сечения реакций.

Необходимо было делать предположения о виде функций возбуждения реакций.

Реакции взаимодействия ионов ксенона с ядрами легче аргона, в том числе и с магнием, не являются качественно новыми в физическом отношении, так как они полностью подобны инверсным реакциям взаимодействия ускоренных легких ядер с мишенью-ксеноном или другим элементом середины периодической системы Менделеева. Такие реакции весьма хорошо изучены, и это позволило нам использовать реакцию  $^{24}\text{Mg} (^{136}\text{Xe}; 3, 5n)$  для определения энергии пучка ксенона. На рис. 1 показаны рассчитанные нами по Джексону <sup>17/</sup> функции возбуждения указанных реакций с использованием сечения образования составного ядра, вычисленного по классической формуле при значении параметра  $r_0 = 1,45$  ферми и с учётом влияния критического углового момента, который, согласно нашей оценке для этой реакции, равен  $45\hbar$ . Интегрируя функции возбуждения от  $E^{max}$  до барьера, можно было рассчитать выходы и отношения выходов для различных изотопов в зависимости от  $E^{max}$ . Измерение спектров  $\gamma$ -активности толстой мишени из магния после облучения на внутреннем пучке циклотрона позволило определить с высокой точностью отношение выходов изотопов  $^{157}\text{Dy}$  и  $^{155}\text{Dy}$  в зависимости от радиуса циклотрона, на котором помещалась мишень. Сравнивая экспериментальную величину отношения выходов  $^{157}\text{Dy}$  и  $^{155}\text{Dy}$  с расчётными значениями, можно было определить энергию пучка ионов  $^{136}\text{Xe}^{+27}$ , которая на радиусе циклотрона 85 см оказалась равной  $(670 \pm 30)$  Мэв. Экспериментально определенные абсолютные выходы изотопов  $^{157}\text{Dy}$  и  $^{155}\text{Dy}$  позволили найти максимальные сечения образования изотопов, которые приведены в таблице 1. Для  $^{157}\text{Dy}$  существенную роль играют реакции испарения 4 и 5 нейтронов на изотопах  $^{25}\text{Mg}$  и  $^{26}\text{Mg}$ , имевшихся в мишени естественного изотопного состава. Это обстоятельство учитывалось в расчётах. Величины сечений хорошо согласуются с абсолютными расчётными значениями.

Аналогичным образом были проведены эксперименты для реакций  $^{68,70}\text{Zn} (^{136}\text{Xe}; 4,5n) \rightarrow ^{202,201,199}\text{Po}$ . Толстая мишень из цинка, обогащенного изотопом  $^{70}\text{Zn}$ , облучалась в течение 5 часов на радиусе 85 см циклотрона У-200 пучком ионов  $^{136}\text{Xe}^{+27}$ . Изотопный состав мишени был следующий:  $^{70}\text{Zn} - 44,9\%$ ;  $^{68}\text{Zn} - 20,6\%$ ;  $^{67}\text{Zn} - 3,9\%$ ;  $^{66}\text{Zn} - 15,8\%$ ;  $^{64}\text{Zn} - 14,7$ . В спектре  $\gamma$ -активности облученной мишени по энергии и периоду полураспада были идентифицированы  $\gamma$ -линии: 422 и 961 кэв для  $^{202}\text{Bi}$ ; 330, 907 кэв для  $^{201}\text{Pb}$ ; 367, 353, 722 кэв для  $^{199}\text{Pb}$ . Характеристики распада изотопов  $^{202,201,199}\text{Po}$  и их дочерних продуктов были взяты из работ <sup>18,9/</sup>. Изотоп  $^{202}\text{Bi}$  был накоплен в мишени в результате распада  $^{202}\text{Po}$ , образованного в реакции  $^{70}\text{Zn} (^{136}\text{Xe}, 4n)$ . Вкладом реакции  $(^{136}\text{Xe}, p3n)$  можно было пренебречь, так как для тяжелых составных ядер вероятность испарения протонов и  $\alpha$ -частиц много меньше, чем нейтронов ( $\Gamma_n \gg \Gamma_p, \Gamma_\alpha$ ). Реакции на более легких изотопах цинка не могли привести к образованию  $^{202}\text{Po}$  и  $^{202}\text{Bi}$ . Изотоп  $^{201}\text{Pb}$  являлся внучатым продуктом распада  $^{201}\text{Po}$ , полученного в реакции  $^{70}\text{Zn} (^{136}\text{Xe}, 5n)$ , вклад реакции испарения трех нейтронов на изотопе  $^{68}\text{Zn}$  вероятно, был очень мал, так как, согласно расчёту, функция возбуждения этой реакции расположена в области энергий ниже кулоновского барьера. В то же время  $^{199}\text{Pb}$  главным образом образовывался именно в реакции с участием  $^{68}\text{Zn}$ , приводившей к  $^{199}\text{Po}$ , который распадается по цепочке:  $^{199}\text{Po} \rightarrow ^{199}\text{Bi} \rightarrow ^{199}\text{Pb}$ . Реакция  $^{70}\text{Zn} (^{136}\text{Xe}, 7n)$  имеет низкую вероятность при энергии ионов 670 Мэв. Кроме того, данная реакция заметно подавлена конкуренцией со стороны деления. Таким образом, выход изотопов  $^{202}\text{Bi}$ ,  $^{201}\text{Pb}$ ,  $^{199}\text{Pb}$  с учётом соответствующих факторов можно было легко преобразовать в выход реакций  $^{68,70}\text{Zn} (^{136}\text{Xe}; 4,5n) \rightarrow ^{199-202}\text{Po}$ .

Из экспериментального выхода реакций на толстой мишени, предполагая вид функций возбуждения, мы получили сечения реакций в максимуме функций возбуждения. Считалось, что функции возбуждения реакций имеют форму, близкую к функции Гаусса с шириной на половине высоты 15 Мэв в шкале энергий возбуждения составного ядра. Предполагалось также, что энергия бомбардирующих частиц - 670 Мэв заметно превышает энергии, соответствующие максимумам функций возбуждения, так что при использовании толстой мишени функции возбуждения интегрируются полностью. В этих допущениях были получены следующие значения максимальных сечений реакций:

$$\sigma^{max}(4n) = 31 \text{ мбарн для } {}^{70}\text{Zn}({}^{136}\text{Xe}, 4n) {}^{202}\text{Po};$$

$$\sigma^{max}(5n) = 52 \text{ мбарн для } {}^{70}\text{Zn}({}^{136}\text{Xe}, 5n) {}^{201}\text{Po} \text{ и}$$

$$\sigma^{max}(5n) = 56 \text{ мбарн для } {}^{68}\text{Zn}({}^{136}\text{Xe}, 5n) {}^{199}\text{Po}.$$

В работе /10/ были измерены функции возбуждения реакций  ${}^{164}\text{Dy}({}^{40}\text{Ar}, xn)$ . Составное ядро в этой реакции -  ${}^{204}\text{Po}$ , только на два нейтрона отличаются от составного ядра для изученной нами реакции  ${}^{70}\text{Zn}({}^{136}\text{Xe}, xn)$ . Поэтому представляет интерес сравнить полученные величины сечений. В максимуме функций возбуждения реакции испарения 4 и 5 нейтронов, согласно работе /10/, имеют сечения 20 и 70 мбарн соответственно. Эти значения мало отличаются от полученных нами данных. Отсюда можно сделать вывод, что эффекты критического углового момента в системе  ${}^{70}\text{Zn} + {}^{136}\text{Xe}$  не приводят к существенному уменьшению сечения образования составного ядра по сравнению с более обычной реакцией  ${}^{164}\text{Dy} + {}^{40}\text{Ar}$ . Здесь следует заметить, что точность абсолютных значений сечений, полученных нами, невысока. Допустимы отклонения в пределах фактора-2, связанные с погрешностями измерения

потока частиц, с процедурой извлечения сечений из величины выхода реакций на толстой мишени и с возможными неточностями данных Нортклиффе /11/ о соотношении пробег-энергия для ионов ксенона. Относительная погрешность определения сечений различных реакций не превышала 15%.

Можно сделать попытку преобразовать полученные значения  $\sigma^{max}(xn)$  в сечения образования составного ядра. Известно, что сечение реакции испарения  $x$  нейтронов  $\sigma(xn)$  для делящегося ядра определяется формулой:

$$\sigma^{max}(xn) = \sigma_c P^{max}(x) \prod_{i=1}^x \left( \frac{\Gamma_n}{\Gamma_n + \Gamma_f} \right)_i,$$

где  $P^{max}(x)$  - максимальная вероятность испарения  $x$  нейтронов, которую можно рассчитать согласно /7/. Поэтому из экспериментальных значений  $\sigma^{max}(xn)$ , привлекая данные относительно  $\Gamma_n / \Gamma_f$ , можно определить  $\sigma_c$ . В осуществлении данного расчёта встречаются трудности, связанные с недостаточной определенностью величин  $\Gamma_n / \Gamma_f$ . Действительно, в работе /12/ Сиккеландом убедительно показано, что вплоть до составных ядер с  $Z_c = 82$  (реакция  ${}^{182}\text{W} + {}^{16}\text{O}$ ) параметр  $\Gamma_n / \Gamma_f$  резко зависит от энергии возбуждения и делимость составного ядра необходимо учитывать только для первой ступени испарительного каскада. В то же время в работе /10/ для составного ядра с  $Z_c = 84$  (реакция  ${}^{164}\text{Dy} + {}^{40}\text{Ar}$ ) уже предполагается отсутствие зависимости  $\Gamma_n / \Gamma_f$  от энергии возбуждения, и произведение  $\prod_{i=1}^x \left( \frac{\Gamma_n}{\Gamma_n + \Gamma_f} \right)_i$  заменяется степенью  $\left( \frac{\Gamma_n}{\Gamma_n + \Gamma_f} \right)^x$ . Все же, если использовать средние значения параметра  $\left( \frac{\Gamma_n}{\Gamma_n + \Gamma_f} \right)$  из работы /10/, то экспериментальные значения  $\sigma^{max}(xn)$  приводят к величинам  $\sigma_c$ , которые в пределах фактора 2 при соответствующих энергиях согласуются с полным сечением реакции, вычисленным

по классической формуле  $\sigma_R = \pi (R_1 + R_2)^2 (1 - B/E)$ , где  $R_1$  и  $R_2$  - радиусы ядер при  $r_0 = 1,4$  ферми.  $B$  - кулоновский барьер,  $E$  - энергия частицы в системе центра инерции.

### Реакции передачи

В спектрах гамма-активности мишеней, облученных пучком ксенона, присутствовали интенсивные линии продуктов обменных реакций. Для извлечения сечений образования этих изотопов из экспериментально измеренного выхода делалось предположение, что зависимости сечений всех реакций передачи от энергии бомбардирующих частиц имеют подобный вид:

$const (1 - B/E)$ . Данное предположение является достаточно правдоподобным, поскольку энергия ионов ксенона незначительно превышала кулоновский барьер практически для всех мишеней, а вблизи барьера все обменные реакции имеют быстро растущие функции возбуждения.

В таблице 1 приведены сечения образования ряда радиоактивных продуктов при взаимодействии ускоренных ионов  $^{136}\text{Xe}^{+27}$  и  $^{136}\text{Xe}^{+30}$  с различными ядрами мишени. Абсолютные значения сечений определены в пределах фактора 2. Неплохая статистическая точность результатов (около 10-15%) позволяет сравнивать сечения различных реакций. На рис. 2 показаны сечения образования изотопов свинца и иода при облучении висмута ионами  $^{136}\text{Xe}^{+30}$ . Пунктирными кривыми на рис. 2 показаны сечения образования изотопов свинца при облучении  $^{209}\text{Bi}$  ионами  $^{22}\text{Ne}$  и продуктов реакции передачи одного протона и  $X$  нейтронов при взаимодействии ядер  $^{133}\text{Cs}$  с ионами  $^{22}\text{Ne} / 13, 14 /$ . Кривые нормированы к экспериментальным данным, полученным на пучке ксенона, по сечениям изотопов  $^{203}\text{Pb}$  и  $^{132}\text{I}$ . Видно, что с ростом числа передаваемых нуклонов сечение уменьшается не так сильно в реакции с ксеноном, как при взаимодействии ионов  $^{22}\text{Ne}$  с ядрами.

Сравнение абсолютной величины сечений, перечисленных в таблице 1, с сечениями аналогичных реакций при взаимодействии тяжелых ядер с более легкими бомбардирующими частицами (такими, как  $^{22}\text{Ne}$ ), показывает, что вероятность реакций передачи нуклонов при переходе к ионам ксенона увеличивается в 10-15 раз при той же энергии частиц в единицах Мэв/нуклон, за вычетом барьера в системе центра инерции. Аналогичный вывод следует из величины сечений реакций передачи трех протонов и 9, 10 и 11 нейтронов при взаимодействии ядер ксенона и урана, приводящих к образованию изотопов  $^{224}, ^{225}, ^{226}\text{Ac}$  (см. табл. 1). На рис. 3 показан альфа-спектр фракции актиноидов, выделенных из урановой мишени, облученной ионами  $^{136}\text{Xe}$ . Большинство  $\alpha$ -линий соответствует продуктам распада изотопов  $^{224}, ^{225}, ^{226}\text{Ac}$ . Сечения образования этих изотопов примерно в 40 раз превышают сечения, имевшие место при облучении урана ионами неона  $^{15}\text{Ne}$ .

Увеличение вероятности прямых реакций при переходе к ионам ксенона находит естественное объяснение в росте углового момента и центробежных сил при том же значении прицельного параметра с увеличением массы сталкивающихся ядер. Кроме того, нельзя исключить возможное увеличение роли механизма кулоновского развала сталкивающихся ядер.

### Облучение урана ксеноном

Было проведено облучение толстой металлической мишени из урана в течение 15 часов интегральным потоком  $5 \cdot 10^{12}$  ионов  $^{136}\text{Xe}^{+30}$  и сделано химическое выделение фракции актиноидов и фракции тяжелых металлов ( $\text{Au}, \text{Hg}, \text{Tl}, \text{Pb}, \text{Bi}$ ). При измерении альфа-спектра фракции тяжелых металлов за двое суток было зарегистрировано только четыре отсчета в области энергий от 5,5 до 10 Мэв. Низкий уровень активности не позволил выявить  $\alpha$ -группы в этом спектре и произвести идентификацию



ядра-излучателя. Спектр альфа-активности актинидов, показанный на рис. 3, обсуждался выше.

В спектрах  $\gamma$ -активности облученной мишени были обнаружены радиоактивные изотопы - продукты реакций передачи нуклонов:  $^{239}\text{Np}$ ,  $^{239}\text{U}$ ,  $^{135}\text{Xe}$ ,  $^{140}\text{La}$ . Сечения образования этих изотопов приводятся в таблице 1.

Препараты, выделенные химически, наносились на фосфатное стекло. Полученный источник находился в контакте с другой пластиной из фосфатного стекла в течение длительного времени. Через определенные промежутки времени стеклянные пластины снимались, протравливались и просматривались с целью обнаружения треков осколков спонтанного деления.

В течение ста суток измерений были зарегистрированы отдельные события для обеих химических фракций. Однако наблюдаемый эффект был настолько мал, что не представлялось возможным провести контрольные опыты и идентифицировать спонтанно делящиеся ядра. Можно дать только верхнюю границу сечения образования спонтанно делящегося изотопа в реакции  $^{238}\text{U} + ^{136}\text{Xe}$ , для излучателя с периодом полураспада 100 дней сечение  $\sigma < 10^{-31} \text{ см}^2$ . Это значение не противоречит оценке сечения образования спонтанно делящихся изотопов калифорния, фермия и сверхтяжелых элементов  $^{298}114$ ,  $^{294}110$  в реакции деления урана ионами ксенона <sup>/16/</sup>, сделанной на основе экстраполяции.

В дальнейшем предполагается проведение более подробного исследования реакции  $^{238}\text{U} + ^{136}\text{Xe}$  при существенном увеличении интегрального потока ионов ксенона.

В заключение необходимо сделать одно замечание, касающееся вопроса синтеза сверхтяжелых элементов. В реакции деления ядер под действием очень тяжелых ионов может быть образован целый набор нейтронно обогащенных изотопов сверхтяжелых элементов вблизи центра

области стабильности  $Z=114$ ,  $N=184$ . Периоды полураспада этих изотопов должны меняться в широком интервале времен, так что возможно ориентироваться на синтез как короткоживущих изотопов с  $\tau_{1/2} < 1$  сек, так и нуклидов, живущих дни и десятки дней. Получение еще более долгоживущих изотопов требует очень длительных облучений и не является эффективным. По нашему мнению, период полураспада изотопа должен иметь определенную корреляцию с вероятностью образования данного изотопа. Действительно, более высокое время жизни нуклида означает, что его барьер деления выше, а параметр делимости  $-\Gamma_f / \Gamma_n$  ниже, чем для короткоживущего. Подобная корреляция наблюдалась в систематике экспериментальных сечений образования распада изотопов 102 элемента <sup>/17/</sup>. В этой работе показано, что изотоп  $^{254}102$  с замкнутой нейтронной оболочкой  $N=152$  имеет наибольшее время жизни и наибольшее сечение образования.

Если для сверхтяжелых элементов характер корреляции параметра делимости  $\Gamma_f / \Gamma_n$  с барьером деления остается таким же, как и для известных тяжелых ядер, то однозначно следует вывод о предпочтительности проведения экспериментов по синтезу сравнительно долгоживущих изотопов в реакции  $^{238}\text{U} + ^{136}\text{Xe}$ .

Авторы благодарны В.С. Алфееву, Б.А. Загеру, В.Н. Мельникову, С.И. Козлову, Р.Ц. Оганесяну и начальникам смен циклотронов У-300 и У-200, обеспечившим получение устойчивых пучков ионов ксенона, а также Б.А. Гвоздеву за выполнение химической обработки мишени, В.А. Шеголеву за помощь в измерениях, Ю.Ц. Оганесяну, А.Г. Демину и Б.И. Пустыльнику за полезные обсуждения результатов.

Литература

1. А.Г. Демин, В. Куш и др. Материалы международной конференции по физике тяжелых ионов. Дубна, 11-17 февраля, 1971 года. ОИЯИ, Д7-5769, стр. 169, Дубна, 1971.
2. R. Bimbot, C. Deprun et al. C. Rendus.T. 273, serie B. 505, C.R. Acad. Sc.Paris (1971).
3. И.А. Шелаев, В.С. Алфеев, В.В. Батюня и др. Сообщение ОИЯИ, Р9-6166, Дубна, 1971.
4. И.А. Шелаев, В.С. Алфеев, Б.А. Загер и др. Сообщение ОИЯИ, Р9-6062, Дубна, 1971.
5. Г.Н. Флеров, С.А. Карамян и др. Препринт ОИЯИ, Р7-6093, Дубна, 1971.
6. G.N.Flerov, V.A. Karnaukhov.G.Rendus du Congres Intern. de Physique Nucleaire. 2-8 Juli, 1964, v. 1, p. 373.
7. J.D.Jackson. Can.J.Phys., 84, 767 (1956).
8. C.M. Lederer, I.M. Hollander, I. Perlman. Table of Isotopes. Willey, N.Y.-Lond.-Sydney, 1967.
9. A.E. Jones, A.W. Aten. Radiochim.Acta 13, 176 (1970).
10. T. Sikkeland et al. Phys.Rev., C1, 1564 (1970).
11. L. Nortcliffe, R. Schilling. Data Tables 7, 233 (1970).
12. T. Sikkeland. Phys.Rev., 135, B669 (1964).
13. Ю.Ц. Оганесян, Ю.Э. Пенионжкевич, А.О. Шамсутдинов, ЯФ, XIV, 54 (1971).
14. Ю.Ц. Оганесян, Ю.Э. Пенионжкевич и др. ЯФ, XI, 492 (1970).
15. Г. Кумпф. Автореферат диссертации, ОИЯИ, 2074, Дубна, 1965.
16. С.А. Карамян, Ю.Ц. Оганесян. Сообщение ОИЯИ, Р7-4339, Дубна, 1969.
17. В.Л. Михеев, С.М. Поликанов. Труды Международной конференции по физике тяжелых ионов. Дубна, октябрь 1966 г. Вып. 2, ОИЯИ, Д7-3548, стр. 65.

Рукопись поступила в издательский отдел  
4 февраля 1972 года.

Мишень	Бомбардирующая частица	продукт реакции	Сечение, мбарн.	Мишень	Бомбардирующая частица	продукт реакции	Сечение мбарн.
<sup>24</sup> Mg	<sup>136</sup> Xe +27	<sup>24</sup> Na	18	<sup>181</sup> Ta	<sup>136</sup> Xe +27	<sup>135</sup> Xe	160
		<sup>135</sup> Xe	110	<sup>209</sup> Bi	<sup>136</sup> Xe +30	<sup>130</sup> I	20
		<sup>155</sup> Dy	340			<sup>131</sup> I	23
		<sup>157</sup> Dy	48			<sup>132</sup> I	27
<sup>70</sup> Zn	<sup>136</sup> Xe +27	<sup>69m</sup> Zn	12			<sup>133</sup> I	25
		<sup>71m</sup> Zn	19			<sup>134</sup> I	20
		<sup>72</sup> Zn	14			<sup>135</sup> Xe	250
		<sup>67</sup> Ga	2			<sup>198</sup> Tl	5
		<sup>73</sup> Ga	5			<sup>200</sup> Tl	16
		<sup>75</sup> Ge	8			<sup>200</sup> Pb	9
		<sup>77</sup> Ge	1			<sup>204</sup> Pb	15
		<sup>131</sup> I	11			<sup>202m</sup> Pb	17
		<sup>132</sup> I	12			<sup>203</sup> Pb	32
		<sup>134</sup> I	19			<sup>204m</sup> Pb	37
		<sup>135</sup> Xe	120	<sup>238</sup> U	<sup>136</sup> Xe +30	<sup>135</sup> Xe	190
		<sup>199</sup> Po	56			<sup>140</sup> La	6
		<sup>201</sup> Po	52			<sup>239</sup> U	120
		<sup>202</sup> Po	31			<sup>239</sup> Np	200
<sup>159</sup> Tb	<sup>136</sup> Xe +27	<sup>132</sup> I	4			<sup>224</sup> Ac	0,05
		<sup>133</sup> I	9			<sup>225</sup> Ac	0,05
		<sup>134</sup> I	16			<sup>226</sup> Ac	0,04
		<sup>135</sup> I	12				
		<sup>135</sup> Xe	140				

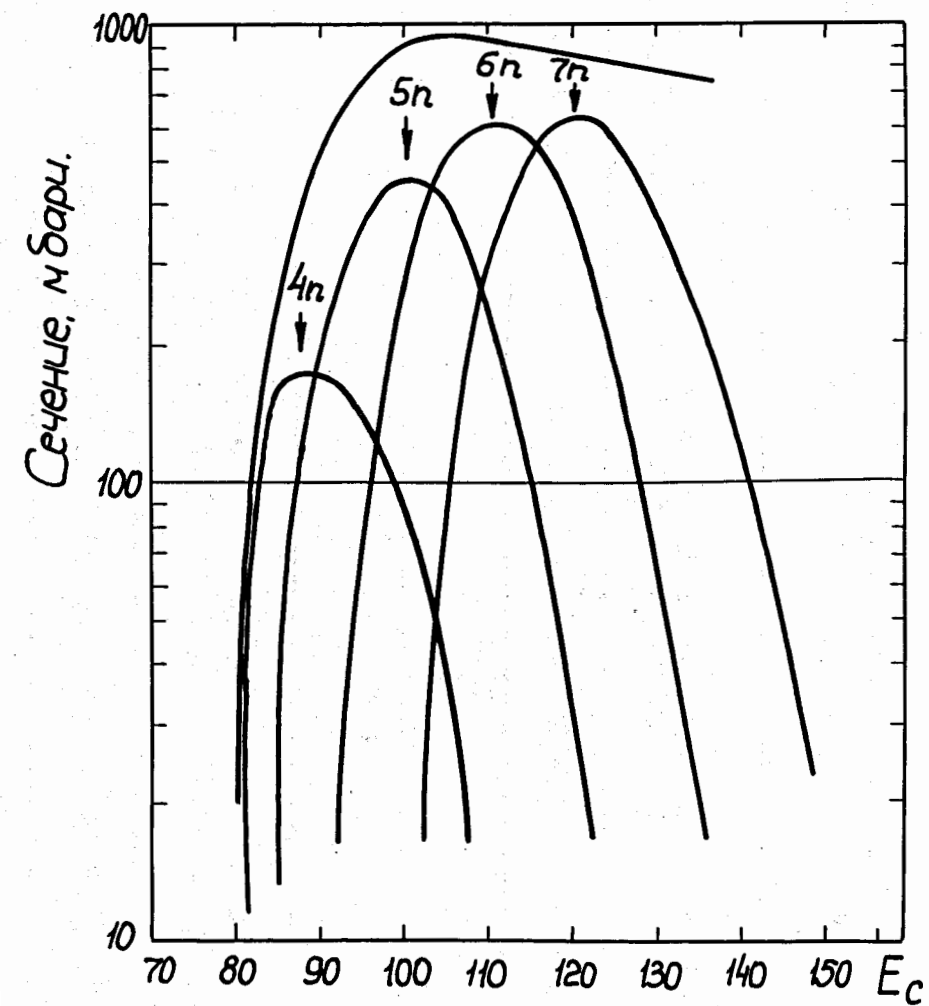


Рис. 1. Расчётные функции возбуждения реакций  $^{24}\text{Mg}(^{136}\text{Xe}, xn)$ .  $E_c$  - энергия частицы в системе центра инерции.

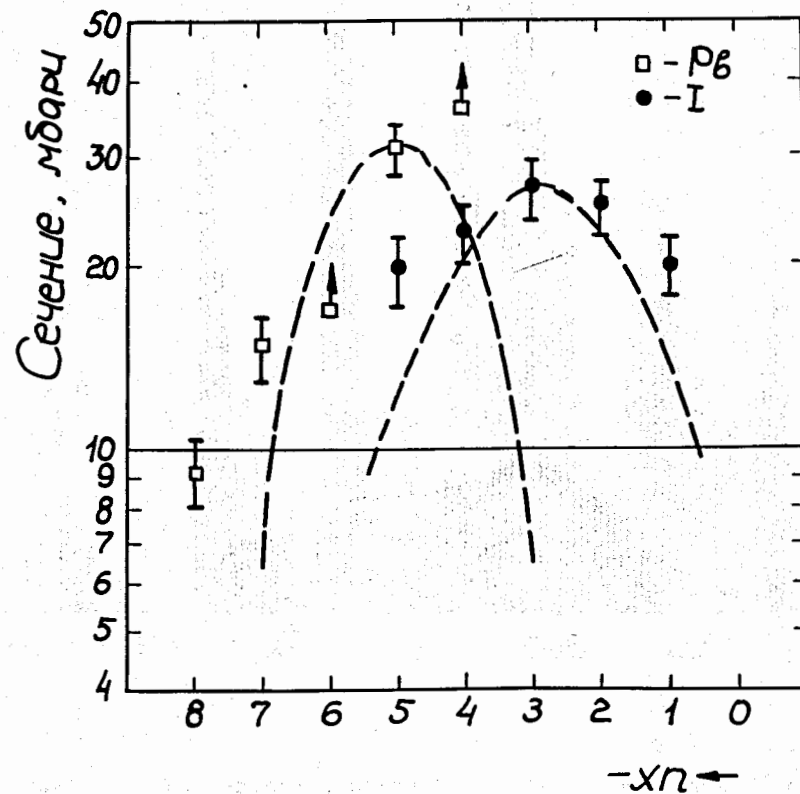


Рис. 2. Сечения реакций передачи одного протона и  $x$  нейтронов при взаимодействии  $^{209}\text{Bi} + ^{136}\text{Xe}$ .

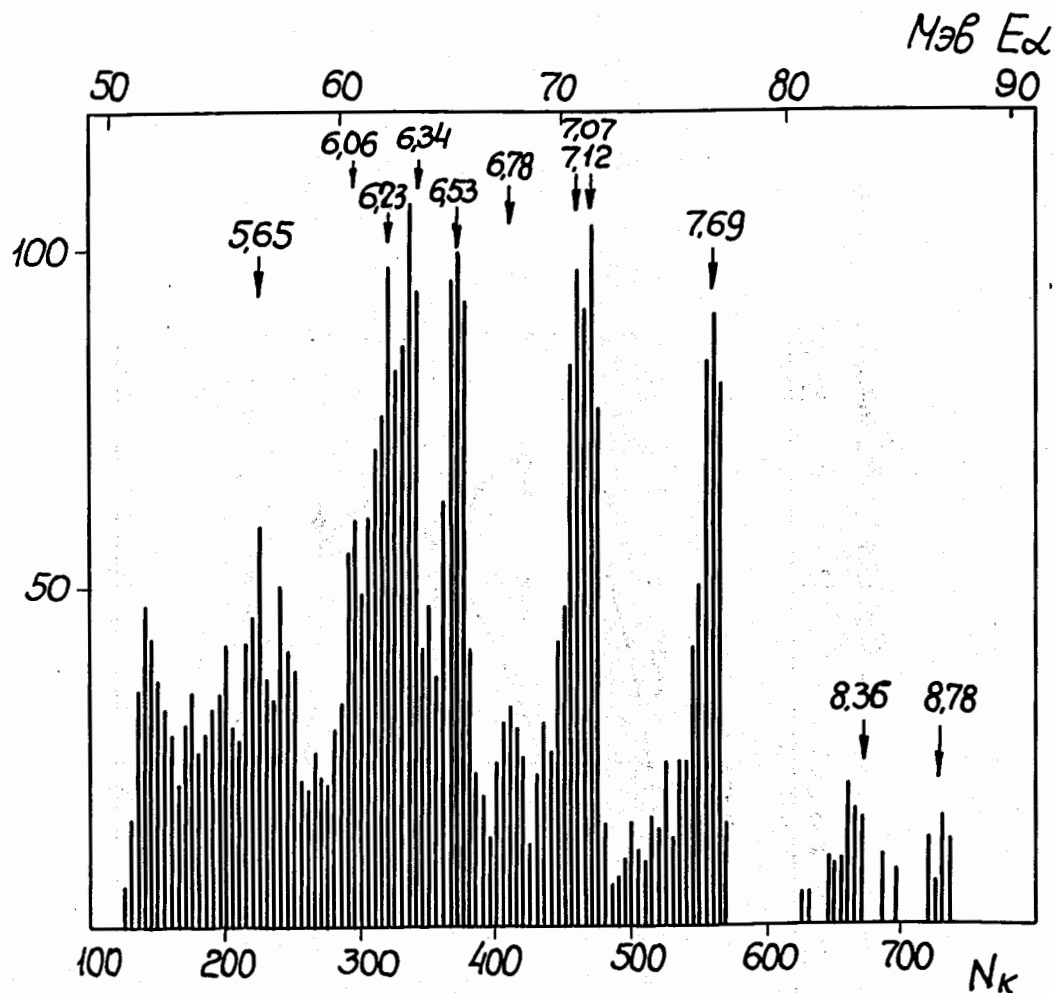


Рис. 3. Альфа-спектр фракции актинидов, выделенной из урановой мишени после облучения ионами  $^{136}\text{Xe}^{+30}$  интегральным потоком  $5.1012$  частиц. Время накопления информации 40 час.

Флеров Г.Н., Карамян С.А., Пенионжкевич Ю.Э.,  
Третьякова С.П., Шелаев И.А. P7-6262

Некоторые эксперименты по изучению взаимодействия ускоренных ионов ксенона с ядрами

Измерены сечения некоторых реакций взаимодействия ускоренных ионов ксенона с различными ядрами. Зафиксирован рост сечений обменных реакций при переходе от легких бомбардирующих частиц ( $^{22}\text{Ne}$ ,  $^{40}\text{Ar}$ ) к ионам  $^{136}\text{Xe}$ . При облучении мишеней из магния и цинка идентифицированы продукты реакций образования составного ядра, определены сечения реакций:  $^{24}\text{Mg} (^{136}\text{Xe}, 5n) ^{155}\text{Dy}$  - 340 мбарн;  $^{70}\text{Zn} (^{136}\text{Xe}; 4, 5n) ^{202, 201}\text{Po}$  - 31 и 52 мбарн соответственно.

Проведены поиски спонтанно делящихся излучателей в продуктах взаимодействия ядер урана и ксенона. Получена граница сечения образования  $\sigma \leq 10^{-31} \text{ см}^2$  для долгоживущих спонтанно делящихся излучателей с периодом полураспада  $\sim 100$  дней.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований  
Дубна, 1972

Flerov G.N., Karamian S.A., Penionshkevich Yu.E.,  
Tretiakova S.P., Shelaev I.A. P7-6262

Some Experiments on Studying the Interaction  
of Accelerated Xe Ions with Nuclei

See the Summary on the reverse side of the title-page.

Communications of the Joint Institute for Nuclear Research.  
Dubna, 1972