

1040



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

С.М. Поляканов, Ван Туя-сен, Х. Кекк, В.Л. Михеев, Ю.Ц. Оганесян,
А.А. Плева, Б.В. Фефилов

P-1070

**ОБРАЗОВАНИЕ ЯДЕР
С АНОМАЛЬНЫМ ПЕРИОДОМ
СПОНТАННОГО ДЕЛЕНИЯ В РЕАКЦИЯХ
С ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ**

Дубна 1962 год

С.М. Поликанов, Ван Тун-сен, Х. Кекк, В.Л. Михеев, Ю.Ц. Оганесян,
А.А. Плева, Б.В. Фефилов

P-1070

ОБРАЗОВАНИЕ ЯДЕР
С АНОМАЛЬНЫМ ПЕРИОДОМ
СПОНТАННОГО ДЕЛЕНИЯ В РЕАКЦИЯХ
С ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ

Дубна 1962 год

А н н о т а ц и я

Исследуются реакции взаимодействия тяжелых ионов / Ne , O , B / с ядрами урана, приводящие к образованию спонтанно-делящегося изотопа с аномально малым периодом полураспада. Получены кривые выхода спонтанно-делящегося изотопа в различных реакциях и измерен период полураспада. Делается предположение, что в случае ионов Ne и O имеют место реакции передачи и что атомный номер неизвестного изотопа $z \leq 97$.

В в е д е н и е

В работе^{/1/} сообщалось об обнаружении спонтанного деления с аномально коротким периодом. Осколки спонтанного деления наблюдались при облучении U^{238} ионами Ne^{22} и O^{16} . Вероятность спонтанного деления полученных ядер оказалась увеличенной не менее, чем в 10^9 раз по сравнению с вероятностью спонтанного деления из невозбужденного состояния ядер изотопов, которые могут получаться при взаимодействии ионов O^{16} и Ne^{22} с ядрами U^{238} . Для выяснения столь резкого увеличения вероятности спонтанного деления нужно идентифицировать получающийся в этих реакциях изотоп, определить характеристики возбужденного состояния его ядер, выяснить механизм реакции, приводящей к их образованию. Представляет интерес также вопрос о том, является обнаруженное явление единичным или широко распространенным, то-есть, не существует ли большого количества изотопов различных изотопов с различными периодами спонтанного деления?

В настоящей работе проводились измерения периодов полураспада и кривых выхода спонтанно-делящихся ядер, образующихся при облучении U^{238} ионами O^{16} , Ne^{20} и Ne^{22} , а также опыты по облучению U^{238} ионами D^{11} , U^{235} ионами O^{16} и Th^{232} ионами Ne^{22} .

Методика и результаты измерений

Опыты проводились на внутреннем пучке 300 см. циклотрона ОИЯИ, ускоряющего тяжелые ионы. Для регистрации осколков спонтанного деления применялась аппаратура, описанная в^{/1/}.

Продукты реакций взаимодействия тяжелых ионов с ядрами мишени за счет значительного импульса, получаемого ими от налетающих ионов, выбивались из тонкой мишени и попадали на сборник, вращающийся со скоростью 840 об/мин. Сборник представлял собой кольцо из алюминиевой фольги, укрепленное на диске из нержавеющей стали. Продукты ядерных реакций, попавшие на сборник, переносились им сначала к одной, а затем к другой ионизационным камерам, регистрирующим осколки спонтанного деления. Вместо ионизационных камер для регистрации осколков спонтанного деления могли применяться фотопластинки^{/2/}, позволявшие получить 10 точек на кривой распада спонтанно-делящегося изотопа. Дополнительно в аппаратуру было введено устройство, позволявшее с помощью кремниевого поверхностно-барьерного детектора^{/3/} вести непрерывный контроль за энергией ионов, не нарушая измерения эффекта.

На рис. 1 приведены кривые выхода спонтанно-делящихся ядер, полученные при облучении U^{238} ионами O^{16} , Ne^{20} и Ne^{22} . В этих опытах точность определения энергии ионов составляла 2%, а энергетический разброс пучка - несколько процентов. Кривые выхода для облучений ионами O^{16} и Ne^{22} несколько отличаются от аналогич-

ных кривых, приведенных ранее^{/1/}. Различие связано с тем, что в предыдущей работе точного измерения и непрерывного контроля энергии не производилось.

Опыты по облучению U^{238} ионами O^{16} с различной энергией показали, что сечение реакции, приводящей к образованию спонтанно-делящегося изотопа, в данном случае по крайней мере на порядок меньше, чем при облучении ионами O^{16} мишени U^{238} .

В опытах по облучению Th^{232} ионами Ne^{22} , когда образуется то же самое составное ядро, что и в случае реакции $U^{238} + O^{16}$, было показано, что сечение интересующей нас реакции примерно на 2 порядка меньше, чем при облучении U^{238} ионами O^{16} .

Облучение U^{238} ионами B^{11} показало, что и в этом случае спонтанно-делящийся изотоп образуется, причем выход соответствующей реакции в несколько раз больше, чем например, при облучении U^{238} ионами O^{16} .

Для случая $U^{238} + O^{16}$ изучалась кривая распада спонтанно-делящихся ядер при энергии ионов 102 Мэв. Она была получена в опытах с фотопластинками В.П. Перелыгиным. В пределах статистических ошибок здесь можно говорить лишь об одном периоде полураспада. Расчеты по методу наименьших квадратов дают для него значение 14 ± 1 мсек.

Предполагая, что имеется лишь один период полураспада, можно делать оценки периода по соотношению отсчетов на двух камерах. Полученные таким образом данные для различных облучений собраны в таблице 1. Приведенные ошибки в значениях периодов полураспада учитывают только статистические средне-квадратичные ошибки в числах зарегистрированных импульсов.

Обсуждение результатов

Приведенные на рис. 1 кривые выхода спонтанно-делящихся ядер в реакциях $U^{238} + O^{16}$, $U^{238} + Ne^{20}$, $U^{238} + Ne^{22}$ имеют однотипную форму кривых с максимумом. Оценки поперечных сечений образования спонтанно-делящихся ядер для максимумов кривых выхода реакций $U^{238} + Ne^{22}$ и $U^{238} + O^{16}$ дают $\sim 2 \cdot 10^{-32}$ см², а для реакции $U^{238} + Ne^{20}$ $\sim 4 \cdot 10^{-32}$ см². Тот факт, что спонтанно-делящийся изотоп получается в реакции $U^{238} + B^{11}$, приводит к заключению, что его атомный номер $z \leq 97$. Дальнейшие опыты по облучению изотопов U и Pu ионами B , Be и He должны дать окончательный ответ на вопрос о заряде и массовом числе спонтанно-делящегося изотопа. Относительно механизма реакции, ведущей к образованию ядер с необычными свойствами, можно сказать, что в случае реакций $U + O$ и $U + Ne$ интересующий нас изотоп, по-видимому, не является продуктом распада составного ядра. Этот вывод следует из сравнения результатов облучений $U^{238} + O^{16}$ и $Th^{232} + Ne^{22}$. При полном слиянии взаимодействующих ядер в обоих случаях образуется составное ядро Fm^{284} . При этом выходы какого-либо определенного продукта распада составного ядра не могут существенно различаться. Так, показано^{/4/}, что при испарении четырех нейтронов из того же составного ядра Fm^{284} выход Fm^{280} в реакции $U^{238} + O^{16}$ лишь в 4 раза больше, чем в реакции $Th^{232} + Ne^{22}$. В то же время в нашем случае выход реакции

$U^{238} + O^{16}$ приблизительно на 2 порядка превышает выход реакции $Th^{232} + Ne^{22}$.

По-видимому, имеет место не полное слияние, а передача части нуклонов налетающего ядра ядру-мишени. В пользу этого предположения свидетельствует и то обстоятельство, что от вида налетающей частицы выход зависит слабо / O^{16} , Ne^{20} , Ne^{22} /, тогда как с изменением ядра-мишени эффект резко меняется / Th^{232} , U^{235} , U^{238} /. Сделанный вывод подтверждается также тем, что для образования ядра с $z < 97$ путем реакции испарения нуклонов из составного ядра требуется вылет настолько большого числа нуклонов, что этот процесс энергетически невозможен.

В случае ионов O и Ne вероятной представляется реакция передачи ядру U^{238} двух α -частиц с возможным последующим испусканием нейтронов, ведущая к образованию изотопов кюрия. В связи с этим следует отметить, что наблюдается определенная корреляция между энергией связи двух α -частиц в налетающем ионе и сечением соответствующей реакции. Для O^{16} и Ne^{22} энергия связи двух α -частиц равна соответственно 14.4 и 15.9 Мэв, а в случае Ne^{20} - 10,8 Мэв. Сообразно с этим изменяется выход реакций: в первых двух случаях выходы близки, а при переходе к Ne^{20} выход возрастает приблизительно в 2 раза.

В случае реакции $U^{238} + B^{11}$ к образованию изотопов Cm может привести реакция полного слияния с последующим испарением протона и нескольких нейтронов. При этом могут получиться изотопы $Cm^{243} - Cm^{246}$.

Продукты реакции передачи могут иметь свое характерное угловое распределение. Изучение угловых распределений даст дополнительные сведения о механизме реакции и величине передаваемого углового момента, который может играть существенную роль в образовании изотопа с аномальным периодом спонтанного деления.

Следует отметить, что угловое распределение продуктов реакций передачи может несколько изменяться с изменением энергии ионов. Кривые выхода, приведенные на рис. 1, получены с мишенью, укрепленной в охлаждаемой водой кассете, в которой для выхода продуктов ядерных реакций служили отверстия диаметром 2 мм и глубиной 1,5 мм. Поэтому частично спад кривых выхода при увеличении энергии ионов может быть связан с наличием коллимации для ядер отдачи, обусловленной конструкцией кассеты.

Полученные в опытах по облучению U^{238} ионами B^{11} , O^{16} и Ne^{22} периоды полураспада спонтанно-делящихся ядер в пределах средне-квадратичных ошибок совпадают /таблица 1/. Несколько меньшая величина периода полураспада в случае реакции $U^{238} + Ne^{20}$, возможно, свидетельствует о некоторой примеси более короткоживущего излучателя, однако, данных недостаточно для того, чтобы делать на этот счет определенные выводы. Дальнейшие опыты, в которых будет проводиться тщательное изучение кривых распада, дадут окончательный ответ на вопрос, один или несколько изомеров образуется в наших опытах.

В работе /1/ высказывалось предположение, что наблюдаемый эффект связан со спонтанным делением из изомерного состояния. Настоящие эксперименты дают дополнительные аргументы в пользу этого предположения. Действительно, при облучении U^{238} ионами B^{11} образуются известные изотопы элементов с $z < 97$. Все они

имеют времена жизни в основном состоянии значительно большие, чем 0,015 сек, причем периоды спонтанного деления этих изотопов $T_{1/2} \geq 10^7$ лет.

Из этого следует, что спонтанное деление полученных в наших опытах ядер облегчено более, чем в 10^{16} раз. Вывод об аномальном увеличении вероятности спонтанного деления не изменится даже в том случае, если время жизни полученных в наших опытах ядер определяется α -распадом или еще каким-либо видом распада. Хотя данные о реакциях передачи нуклонов из налетающего иона ядру-мишени совершенно недостаточны, можно полагать^{/5/}, что сечение этих реакций не превышает 10^{-26} см². Таким образом даже при учете других возможных ветвей распада спонтанное деление получающихся в наших опытах ядер облегчено не менее, чем в $\sim 10^{10}$ раз. Исследования других ветвей распада даст точное значение увеличения степени вероятности спонтанного деления.

В заключение авторы считают своим приятным долгом поблагодарить член-корреспондента АН СССР Г.Н. Флерова, руководившего данной работой, за многочисленные ценные предложения, советы и замечания как в ходе подготовки и проведения работы, так и при обсуждении ее результатов. Мы также благодарны научному сотруднику А.С. Пасюку, оказавшему существенную помощь в проведении экспериментов.

Л и т е р а т у р а

1. С.М. Поликанов, В.А. Друин, В.А. Карнауков, В.Л. Михеев, А.А. Плева, Н.К. Скобелев, В.Г. Субботин, Г.М. Тер-Акопян, В.А. Фомичев. ЖЭТФ, 42, 1464 /1962/.
2. В.П. Перелыгин, С.П. Алмазова, Б.А. Гвоздев, Ю.Т. Чубурков. ЖЭТФ, 42, 1472 /1962/.
3. В.В. Бредель, В.Л. Михеев, С.М. Поликанов. ПТЭ, № 6, 44 /1961/.
4. Е.Д. Донец, В.А. Карнауков, Г. Кумпф, Б.А. Гвоздев, Ю.Т. Чубурков. Препринт ОИЯИ Р-896.
5. A. Ghiorso, T. Sikkeland, Rep. p/2440 on Second United Nations Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy Geneva, 1958.

Рукопись поступила в издательский
отдел 14 августа 1962 года.

Т а б л и ц а 1

Р е а к ц и я	$U^{238} + B^{11}$	$U^{238} + O^{16}$	$U^{238} + Ne^{20}$	$U^{238} + Ne^{22}$
Число импульсов на 1-й камере	82	130	289	89
Число импульсов на 2-й камере	20	28	30	16
Вычисленное значение $T_{1/2}$ /в мсек/	$15,6 \pm 2,8$	$14,3 \pm 1,9$	$9,7 \pm 0,8$	$12,9 \pm 2,1$

Примечание к таблице:

Приведенные значения периодов полураспада, определенные по отношению эффектов всего на двух камерах, на самом деле могут быть некими средними значениями для нескольких изомеров с различными периодами полураспада.

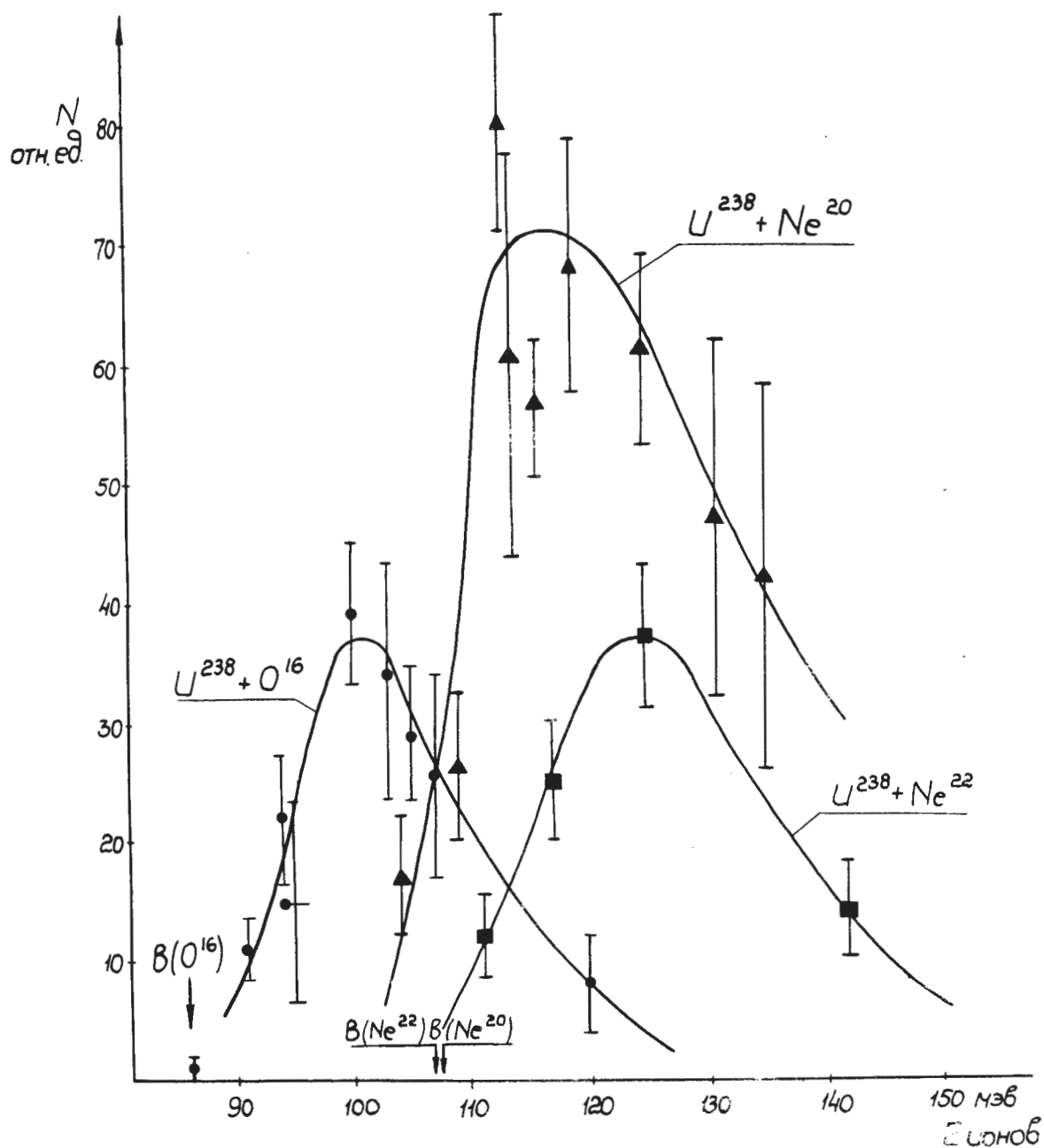


Рис. 1