

5875

Экз. ЧИТ. ЗАЛА

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P3-5875



ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

Ю.П. Попов, В.Г. Семенов, М. Флорек

ОБНАРУЖЕНИЕ РЕАКЦИИ (n, α)
В РЕЗОНАНСАХ ИЗОТОПОВ
ЦИНКА И ГАФНИЯ

1971

P3-5875

Ю.П. Попов, В.Г. Семенов, М. Флорек

ОБНАРУЖЕНИЕ РЕАКЦИИ (n, α)
В РЕЗОНАНСАХ ИЗОТОПОВ
ЦИНКА И ГАФНИЯ

Научно-техническая
библиотека
ОИЯИ

1. Введение

В Лаборатории нейтронной физики с 1965 года проводятся исследования реакции (n, a) в реакционной области энергии нейтронов. До настоящего времени было исследовано около 50 резонансов, принадлежащих различным изотопам в области атомных весов $95 \leq A \leq 149/1,2/$. Результаты поисков и исследований использовались, в частности, для построения a -частичной силовой функции^{/2/}, для анализа поведения которой значительный интерес представляет обнаружение (n, a) реакции в более широкой области атомных весов.

Выбор конкретных ядер в значительной мере определялся требованием относительно большого значения проникаемости кулоновского барьера для a -частицы. С этой точки зрения перспективными ядрами оказались изотопы ^{64}Zn , ^{67}Zn и ^{177}Hf . Ядро ^{177}Hf лежит в области деформированных ядер, для которых еще не наблюдалась реакция (n, a) на медленных нейтронах, в то же время флуктуации полных a -ширин в таких ядрах могут дать сведения о вкладе ротационных типов возбуждений в резонансные состояния ядер^{/3/}. Исследования с изотопами цинка позволяют приблизиться к области ядер, представляющих интерес с точки зрения реакторостроения^{/4/}.

2. Измерение

Поиски реакции (n, a) проводились на пучке нейтронов импульсного реактора ОИЯИ. В качестве детекторов a -частиц использовались газовый сцинтилляционный детектор типа^{/5/} при измерениях с мишенями Zn и многосекционная пропорциональная камера при измерениях с разделенным

изотопом ^{177}Hf . Мишени представляли собой слои ZnO и HfO_2 толщиной соответственно 4,15 и 3,45 мг/см^2 , нанесенные на алюминиевые подложки толщиной 0,5 мм методом, описанным Томиковой/6/. Энергия нейтронов, приводящих к α -распаду, определялась по времени пролета ими базы 100 м. Временное разрешение и также некоторые характеристики мишеней приведены в таблице 1.

Изменение скорости счёта в зависимости от времени пролета нейтронов для естественной смеси изотопов цинка вместе с одной мишенью калибровочного элемента ^{143}Nd показано на верхней кривой рис. 1. Видно увеличение счёта как в области положения резонансов ^{143}Nd (выделены пунктиром), так и в области положения резонансов изотопов цинка ^{64}Zn ($E_0 = 281$ эв) и ^{67}Zn ($E_0 = 1548$ эв). Дополнительное измерение без мишени ^{143}Nd подтвердило, что увеличение счёта в области положения резонанса с $E_0 = 1548$ эв (нижняя кривая рис. 1) обусловлено реакцией $^{67}\text{Zn}(n, \alpha)$. Кроме того лучшие фоновые условия позволили обнаружить увеличение счёта также в области положения резонанса ^{64}Zn с $E_0 = 2637$ эв. В этом дополнительном измерении были использованы только 4 мишени из 7, поэтому статистическая точность оказалась недостаточной для явного выделения резонанса ^{64}Zn с $E_0 = 281$ эв. В то же время прежние измерения/1/ исключают предположение об увеличении счёта в области положения этого резонанса за счёт реакции $^{143}\text{Nd}(n, \alpha)$.

При поиске реакции $^{177}\text{Hf}(n, \alpha)$ временное разрешение было достаточно только для разрешения резонансов ^{177}Hf , энергия которых ниже 10 эв. Результат измерений показан на рис. 2. Для иллюстрации приведена кривая интенсивности захватных γ -лучей, полученная с помощью γ -детектора Моксона-Рейя в аналогичных условиях для тех же мишеней гафния.

В таблице 2 приведены полученные нами значения α -ширин для ^{64}Zn , ^{67}Zn и ^{177}Hf . Обработка результатов производилась методом, описанным в работе/2/.

3. Обсуждение результатов

Прежде чем перейти к обсуждению результатов, обратимся к схемам α -распада ^{65}Zn , ^{68}Zn и ^{178}Hf (вставки на рис. 1 и 2). При захвате s -нейтронов ядрами мишеней образуются состояния составного ядра

Таблица I

Ядро-мишень	E_{α} кэВ	Вид образца	Содержание изотопа %	Вес образца гр.	Площадь образца см ²	Тип детектора	Время измерений час	Временное разрешение мксек/м
⁶⁴ Zn	3,7	ZnO	48,9	26	6300	Газовый сцинтилляционный детектор	I41 с ^{I43} Nd I49 без ^{I43} Nd	0,04
⁶⁷ Zn	4,6	ZnO	4,1	26	6300	То же	То же	0,04
^{I77} Hf	9,7	HfO ₂	84,6	8,35	2400	Много-секционная пропорциональная камера	I82	0,7
^{I43} Nd	9,42	Nd ₂ O ₃	73,2	3,44	484	для калибровки Γ_{α} изотопов цинка		
			73,2	2,0	280	для калибровки Γ_{α} изотопа ^{I77} Hf		

*) Взято из работы /7/

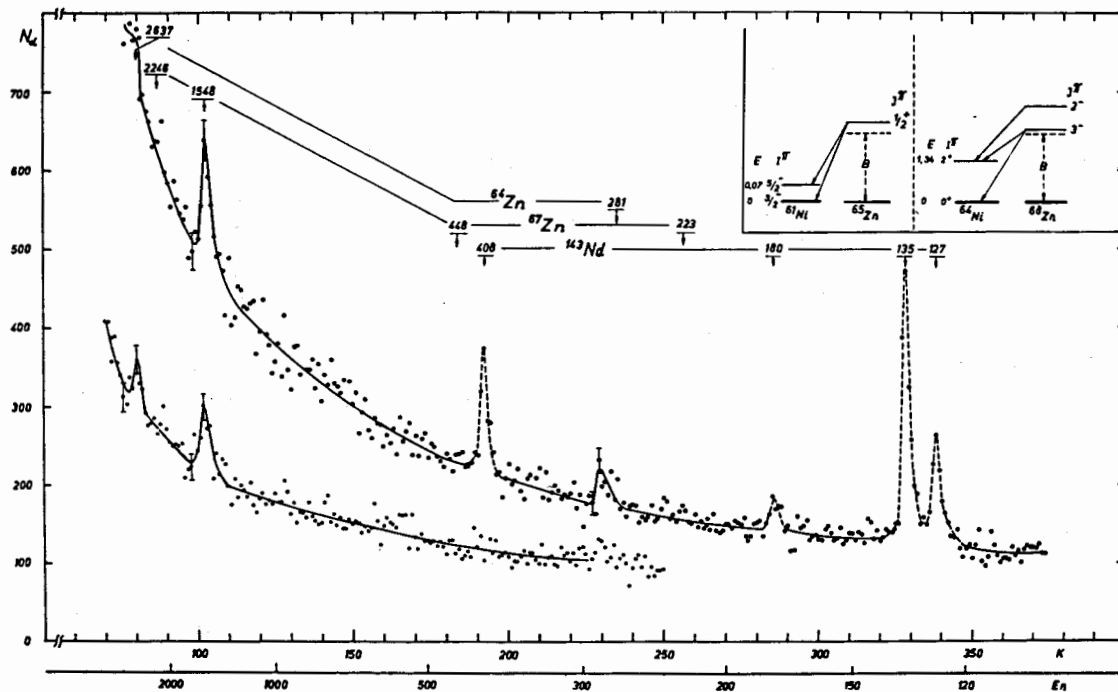


Рис. 1. Зависимость числа отсчетов детектора α -частиц от времени пролета нейтронов в измерениях с естественной смесью изотопов цинка и разделенного изотопа ^{143}Nd (верхняя кривая) и естественной смесью изотопов цинка (нижняя кривая). Стрелками обозначено положение резонансов согласно [8]. Пунктиром выделены резонансы ^{143}Nd . E_n - энергия нейтронов в электронвольтах, B - энергия связи нейтрона в ядре, J^π - спин и четность резонансных состояний составного ядра, I^π - спин и четность состояний дочернего ядра, E - энергия возбужденных состояний в Мэв.

с $J^\pi = 2^-$ или 3^- для ^{68}Zn , 3^- или 4^- для ^{178}Hf и $1/2$ для ^{65}Zn . Из возбужденного состояния ^{68}Zn с $J^\pi = 2^-$ α -распад в основное состояние

^{64}Ni запрещен по четности и возможен на первое возбужденное состояние, которое на 1,34 Мэв выше основного состояния. Соответствующие оценки показывают, что проникаемость кулоновского барьера в этом случае примерно в 200 раз меньше, чем для перехода в основное состояние ^{64}Ni .

Из-за большого относительного изменения энергии α -частиц для перехода в первое возбужденное состояние в наших условиях измерений эффективность регистрации для α -частиц (ϵ_α) с $E_\alpha = 3,26$ Мэв в 4 раза меньше, чем ϵ_α для $E_\alpha = 4,6$ Мэв. Так как экспериментальное значение Γ_α для резонанса с $E_0 = 1548$ эв близко к рассчитанному на основе статистической теории ядра (Γ_α^{cm}), то есть основания приписать этому резонансу спин 3, в противном случае оно было бы в 1000 раз больше Γ_α^{cm} , что, согласно [2,4], крайне маловероятно. Верхнее значение Γ_α для резонанса с $E_0 = 2246$ эв приводится в предположении, что оно определяется переходом в основное состояние, в то время как для резонанса с $E_0 = 223$ эв ($J^\pi = 2^-$) учитывается, что основной вклад должен давать переход в первое возбужденное состояние дочернего ядра.

В случае α -распада составных ядер ^{65}Zn и ^{178}Hf первое возбужденное состояние дочернего ядра расположено очень близко к основному состоянию, поэтому в измеряемых значениях Γ_α должны присутствовать переходы как в основное, так и в низколежащее возбужденные состояния. Поэтому значения α -ширин для ^{178}Hf с $J^\pi = 3^-$ или 4^- должны отличаться очень мало, что и подтверждается результатами измерений. Небольшое число резонансов, для которых была измерена α -ширина, не позволяет сделать заключение относительно закона распределения α -ширин [4]. Зная статистические закономерности, можно ожидать, что распределение α -ширин будет довольно узким, типа хи-квадрат с числом степеней свободы $\nu = 4-5$. Полученные результаты не противоречат этим предположениям.

Из величин α -ширин резонансов была оценена нижняя граница величины теплового сечения (n, α) реакции с учетом ошибок в определении Γ_α . Наше значение σ_α^T для изотопов ^{64}Zn и ^{67}Zn (см. таблицу 2) в несколько раз выше значения, непосредственно измеренного

Таблица 2

Ядро мишень	E_0 (эВ)	J^π	N_α	Γ_α (эВ)	Γ_α^{cm} (эВ)	D (эВ)	σ_α^T (микбарн) жж
^{64}Zn	281	$\frac{1}{2}^+$	186 ± 58	$(0,52 \pm 0,2) \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-4}$	$4,3 \cdot 10^3$	
	2637	$\frac{1}{2}^+$	148 ± 51	$(1,2 \pm 0,5) \cdot 10^{-4}$			> 23
^{67}Zn	223	2^-	50 ± 40	$< 0,8 \cdot 10^{-4}$	$0,15 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^3$	
	448	3^-	34 ± 48	$< 0,3 \cdot 10^{-4}$	$25 \cdot 10^{-4}$	$0,86 \cdot 10^3$	> 40
	1548	3^- ж	600 ± 103	$(7,5 \pm 4,0) \cdot 10^{-4}$			
	2246		94 ± 71	$< 11 \cdot 10^{-4}$			
^{177}Hf	1,098	3^-	556 ± 59	$(3,7 \pm 0,4) \cdot 10^{-9}$	$14,5 \cdot 10^{-9}$	5,3	
	2,38	4^-	196 ± 44	$(1,1 \pm 0,3) \cdot 10^{-9}$		4,1	
	5,89	3^-	84 ± 24	$(4,2 \pm 1,6) \cdot 10^{-9}$		5,3	> 6
	6,57	4^-	70 ± 25	$(1,5 \pm 0,9) \cdot 10^{-9}$	$9 \cdot 10^{-9}$	4,1	
	8,87	4^-	64 ± 28	$(4,2 \pm 2,0) \cdot 10^{-9}$		4,1	

Энергия и спины резонансов взяты из работы /8/. Среднее расстояние между уровнями $D_{на\alpha}$ взято из работы /9/.

В значения Γ_α не включена ошибка за счёт нормировки, которая составляет $\sim 60\%$.

ж) Спин определен из результатов данной работы.

жж) Оценка σ_α^T определялась как вклад исследованных резонансов в тепловую область без учёта возможных интерференционных эффектов.

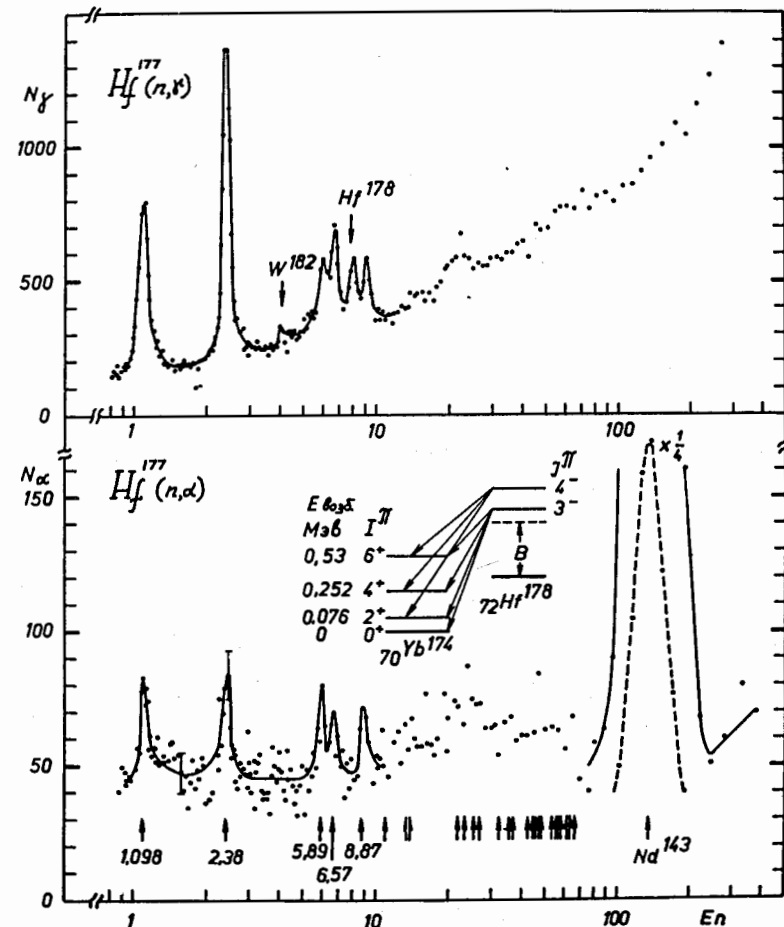


Рис. 2. Зависимость числа отсчетов детектора α -частиц от энергии нейтронов (эВ) в измерениях с разделенными изотопами ^{177}Hf и ^{143}Nd . В верхней части рисунка - аналогичная кривая для реакции $^{177}\text{Hf}(n, \gamma)$.

в работе /10/. В то же время измеренная в работе /10/ величина E_{α} на указанных изотопах значительно превосходит значение, которое можно ожидать из разности масс, участвующих в распаде составного ядра. По-видимому, как это отмечалось в /11/, результаты /10/ ошибочны.

Отметим еще следующие особенности полученных результатов:

1. Исследованные ядра находятся в той области массовых чисел, где расчёты средних α -ширин на основе оптической модели ядра /4/ очень чувствительны к выбору параметров оптического потенциала. Новые данные вместе с более ранними /1,2/ уже довольно четко фиксируют положение максимумов (если они существуют) силовой функции для α -частиц в шкале атомных весов.

2. Обнаружение (n, α) реакций на изотопах цинка важно для оценок радиационных повреждений в конструкционных материалах реакторов за счёт вылетающих α -частиц как в случае наличия в них цинка, так и для более точной экстраполяции сечений реакции (n, α) на такие материалы, применяемые в реакторостроении, как Ti , Cr , Fe , Co и Ni . Такие измерения нужны и для оценок фона при использовании сцинтиллятора ZnS в качестве детектора α -частиц в присутствии нейтронных полей.

3. Величина значений Γ_{α} для деформированного ядра ^{178}Hf представляет интерес для оценки сечений (n, α) реакций на деформированных ядрах, так как предшествующие исследования (n, α) реакций проводились вблизи замкнутых оболочек Z или N , равных 50 или 82. Среднее значение α -ширин для этого ядра оказалось в пять раз меньше рассчитанного по статистической модели. Для однозначных выводов о вкладе ротационных типов возбуждения в резонансные состояния необходимы измерения большего числа резонансов.

В заключение авторы выражают благодарность Г. Глаузиус и Й. Томиковой за изготовление мишеней, С.А. Марушкину за помощь при измерениях, А. Грачевой за помощь при изготовлении радиоаппаратуры, М. Флоревой и Р. Хорват за помощь при обработке результатов.

Л и т е р а т у р а

1. J. Kvitek, Yu. P. Popov. Nucl. Phys., A154, 177 (1970).
2. Ю.П. Попов, М. Флорек. Ядерная физика, 9, вып. 6, 1163 (1969).

3. Ю.П. Попов. Сообщение ОИЯИ ЕЗ-5483 Дубна (1970).
4. Ю.П. Попов, М. Пшитула, Р.Ф. Руми, М. Стэмпиньски, М. Флорек, В.И. Фурман. "Nuclear Data for Reactors" vol. I, 669 (1970) (Vienna).
5. И. Квитек, Ю.П. Попов, К.Г. Родионов, ПТЭ, 2, 90 (1967).
6. Й. Томикова, ПТЭ, 6, 202 (1969).
7. А.Ф. Дадакина. Бюллетень информационного центра по ядерным данным. Атомиздат, 1966, №3, стр. 226.
8. Neutron Cross Section, BNL-325, Suppl. No 2 (1966).
9. U. Fachini, E. Saeta-Menichella. Energia Nucleare 15, 54, 1968.
10. Faraggi, Bernas and Bonned, Compt. rend. 234, 1684 (1952).
11. В.Н. Андреев, Ю.П. Попов. Бюллетень информационного центра по ядерным данным вып. 2, стр. 5, Атомиздат (1965).

Рукопись поступила в издательский отдел

22 июня 1971 года.