

Л-712

7/150

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна



P7 - 3630

Э.Ложински, И.И.Чубуркова

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ
КОРОТКОЖИВУЩИХ ЯДЕРНЫХ
СОСТАВНЫХ СИСТЕМ

АБСТРАКТЫ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ

1967.

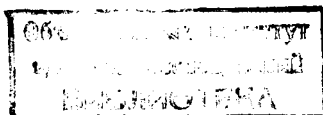
P7 - 3630

Э.Ложински,* И.И.Чубуркова

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ
КОРОТКОЖИВУЩИХ ЯДЕРНЫХ
СОСТАВНЫХ СИСТЕМ

Направлено в ЯФ

* Институт ядерной физики, Краков, Польша.



5583/2 чр.

В в е д е н и е

Первые попытки обнаружить молекулярные эффекты во взаимодействии сложных ядер относятся к 1960 году^{/1/}. В этой работе основой для молекулярной интерпретации служили (главным образом) энергетические резонансы в рассеянии ионов ^{12}C на мишени ^{12}C . Однако последующие исследования и дискуссии^{/2-10/} показали, что в экспериментах типа $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C}$ отражаются не свойства составных систем [$^{12}\text{C}, ^{12}\text{C}$], [$^{12}\text{C}, ^{16}\text{O}$], а скорее всего свойства составных ядер ^{24}Mg , ^{28}Si и т.п.

В работах^{/11,12/} и позже в^{/13/} при изучении угловых распределений получены некоторые результаты, которые интерпретируются как распад ядерной составной системы молекулярного типа. (Время жизни системы [$^{197}\text{Au}, ^{22}\text{Ne}$] порядка 10^{-21} сек^{/12/}).

Указание на то, что с числом переданных частиц уменьшается максимум Резерфорда в угловых распределениях (реакции срыва ($p + 3\alpha$), $^{197}\text{Au} (^{22}\text{Ne}, ^{18}\text{F}) ^{201}\text{Hg}$ ^{/12/}) впоследствии оказалось очень полезным в исследованиях. Этот эффект отмечался также в работе^{/14/}. Исчезновение максимума Резерфорда позволяет предполагать, что при передаче ~ 10 частиц вклад прямой реакции почти полностью исчезает, т.е. возможно изучение в чистом виде распада составной системы взаимодействующих ядер.

Опираясь на теоретические предпосылки, касающиеся обмена нуклонов между сложными ядрами, а также имея в виду спектроскопические свойства ядер, для исследований угловых распределений мы выбрали реакции подхвата налетающим ядром ($3p + 4n$), $^{197}\text{Au} (^{40}\text{Ar}, ^{47}\text{Sc}) ^{190}\text{Os}$ и срыва ($6p + 6n$) $^{197}\text{Au} (^{40}\text{Ar}, ^{28}\text{Mg}) ^{209}\text{At}$. Эти реакции являлись основными в эксперименте. Кроме того делались попытки определить сечения ряда других реакций в целях проверки общих теоретических предположений, касающихся взаимодействия

между сложными ядрами, в том числе и статистического подхода к распаду составных систем.

Экспериментальная часть

Для идентификации и определения сечений образования продуктов реакций ядер пучка был применен метод гамма-спектроскопии. Постановка эксперимента аналогична описанной в работах /11-12/, поэтому нет необходимости приводить здесь подробностей методики. Однако в этой работе введены некоторые изменения, а именно: в опытах для интервала углов $0-90^\circ$ применена двойная коллимация пучка ионов ^{40}Ar и в зависимости от угла вылета конечных продуктов реакции использованы защитные фольги разной толщины. (Толщина защитной золотой фольги менялась скачками через каждые 45° и составляла от $\approx 4,5$ мк для интервала углов $0-45^\circ$ до $\approx 1,0$ мк для интервала $135-180^\circ$). Защитные фольги служили для отделения продуктов реакции с массой примерно < 60 от осколков деления и других тяжелых продуктов реакции образования составного ядра. Дополнительно применено также химическое выделение скандия и группы магния (Ca, Mg, ...). Химическое выделение указанных элементов являлось необходимым, так как ожидаемый выход таких конечных продуктов, как ^{48}Se , ^{44}Se весьма мал по сравнению с выходом ^{41}Ar , ^{48}K и других ядер, образующихся в результате реакций передачи малого числа частиц. Кроме того, таким образом значительно понижается фон активностей, возникающий в интервале сборника из-за вторичных реакций. Отрицательная сторона применения химии — это добавочное увеличение погрешностей ($\approx 10\%$).

Облучения были выполнены на внутреннем пучке циклотрона У-300 ОИЯИ. Мишенью служила золотая фольга толщиной $\approx 3,5$ мг/см², а в качестве сборника использовались золотые фольги толщиной 15 мк и 10 мк. Угловые размеры отдельных участков сборной фольги в зависимости от значения выхода реакций составляли в лабораторной системе координат $7,5$ или 15° . После облучений (ток ≈ 1 мка, продолжительность 5-10 часов) отдельные участки сборной фольги были подвергнуты химической обработке.

Химическое выделение Se и Mg + Ca + Be в общих чертах проводилось следующим образом: золотая фольга, служившая сборником продуктов реакций передачи, растворялась в смеси азотной и соляной кислот. Предварительно вно-

силось определенное количество носителей Sc и Mg или Ca. В растворе золото восстанавливалось до металла нитратом натрия и после нейтрализации раствора определялось центрифугированием совместно с гидроксидом скандия. При этом частично терялся бериллий.

Таблица 1.

Конечный продукт	Тип распада	T _{1/2}	E _γ [Кэв]	f _b [%]
⁴⁷ Ca	β ⁻	4,5 d	1310,160 ^{x)}	75,73 ^{x)}
⁴³ Sc	β ⁺	3,85 h	375	22
⁴⁴ Sc	β ⁺ , e.c.	3,92 h	1160	100
^{44m} Sc	I.T., e.c.	2,44 d	270	70
⁴⁶ Sc	β ⁻	84 d	890,1120	100,100
⁴⁷ Sc	β ⁻	3,45 d	180	73
⁴⁸ Sc	β ⁻	1,8 d	985,1315	100,100
⁵² Mn	β ⁺	5,72 d	1430	100
⁵⁶ Mn	β ⁻	2,6 h	855	100
²⁸ Mg	β ⁻	20,9 h	31,5, 400,1780 ^{x)}	90,30,100 ^{x)}
²⁴ Na	β ⁻	15,1 h	1370	100
⁷ Be	e.c.	53,5 d	480	10

x) гамма-переходы дочернего продукта.

Из фильтрата производилось выделение Ca в виде карбоната совместно с Mg, или магнезия в виде MgNH₄PO₄·6H₂O совместно с Ca и Be.

Скандий отделялся от восстановленного золота в HCl и выделялся в виде ScF₃ действием фторсиликата натрия (Na₂SiF₆). В осадке скандия могли присутствовать иттрий и редкоземельные элементы (из вторичных реакций в материале сборника).

Выход продуктов определялся весовым методом и составлял 70-90%.

В таблице 1 приведены периоды полураспада энергии гамма-излучения и коэффициенты ветвления f_b соответствующих гамма-переходов конечных продуктов, которыми пользовались для определения сечений данной реакции. Следует подчеркнуть, что измерения спада интенсивности характерных гамма-линий со временем проводились для каждого участка сборной фольги. Число отсче-

тов в фотопике гамма-линий данного конечного продукта для момента окончания облучения находилось из графиков временного спада активности данной линии путем экстраполяции. Полное сечение данной реакции определялось путем суммирования сечений для отдельных участков в интервалах углов $0-90^\circ$ и $90-180^\circ$ и добавочными измерениями гамма-активности суммы всех участков сборной фольги в интервалах $0-90^\circ$ и $90-180^\circ$. При этом в измерениях "интегральной" гамма-активности и при определении этим путем полных сечений принимались во внимание все достаточно интенсивные гамма-переходы данного конечного продукта реакции. Расчет сечений по числу отсчетов в фотопике аналогичен расчету работы $^{12/}$.

На рис.1 и 2 представлены угловые распределения реакций: подхвата $(3p+4n)$, $^{197}\text{Au} (^{40}\text{Ar}, ^{47}\text{Sc}) ^{190}\text{Os}$ и срыва $(-6p-6n)$, $^{197}\text{Au} (^{40}\text{Ar}, ^{28}\text{Mg}) ^{209}\text{At}$, соответственно. Конечными продуктами реакций (ядер пучка) являются ^{47}Sc и ^{28}Mg . Угол вылета ^{47}Sc и ^{28}Mg дан в системе центра масс. Соответствующие усредненные по толщине мишени энергии ионов ^{40}Ar равны ≈ 155 , 170 и 195 Мэв в системе центра масс. Точность определения энергии ≈ 5 Мэв. Сплошные кривые (на рис.1,2) являются экспериментальными кривыми наилучшего согласия. Пунктирная кривая (кривая 3) является теоретической кривой $C \cdot (\sin \phi)^{-1}$. На рисунках показаны типичные для всех экспериментальных точек стандартные ошибки измерения $d\sigma/d\Omega$. Они не содержат ошибок определения химического выхода данного конечного продукта реакции (величина $\approx 10\%$). Стрелкой на рис.1 и 2 указано ожидаемое приближенное положение максимума Резерфорда для энергии 195 Мэв соответствующих реакций $(3p+4n)$ и $(-6p-6n)$.

Для иллюстрации того, что все рассматриваемые в этой работе много-нуклонные реакции передачи имеют приблизительно одинаковую форму угловых распределений, на рис.3 показаны распределения для реакций подхвата $(3p+1n)$, $^{197}\text{Au} (^{40}\text{Ar}, ^{44}\text{Sc}) ^{193}\text{Os}$ (треугольники) и $(3p+5n)$, $^{197}\text{Au} (^{40}\text{Ar}, ^{48}\text{Sc}) ^{189}\text{Os}$ (круглые точки) при энергии 155 Мэв и 195 Мэв соответственно. Точки со стрелкой, направленной вниз, обозначают возможный верхний предел значения сечения $d\sigma/d\Omega$. Пунктирная кривая (кривая 2, рис.3), как и на рис.1,2, является по форме кривой $(\sin \phi)^{-1}$, т.е. угловое распределение реакции подхвата $(3p+5n)$ при энергии 155 Мэв тоже может приближенно описываться кривой, пропорциональной $(\sin \phi)^{-1}$. Для реакции подхвата $(3p)$ и $(3p+1n)$

эту зависимость проверить не удалось. Кривая 4 на рис.3 представляет лишь верхний предел распределения, но не дает его значения.

Таблица 2

Энергия (с.п.и.)		155 МэВ	170 МэВ	195 МэВ
Реакция		σ_T [mb]	σ_T [mb]	σ_T [mb]
(2p + 5n)	⁴⁷ Ca	≈ 0,015	-	0,55
(3p)	⁴⁸ Sc	< 0,0015	≤ 0,002	≤ 0,003
(3p + 1n)	⁴⁴ Sc	< 0,003	< 0,004	≈ 0,006
(3p + 1n)	⁴⁴ Sc	< 0,002	≤ 0,004	≈ 0,007
(3p + 3n)	⁴⁶ Sc	≤ 0,03	-	0,3
(3p + 4n)	⁴⁷ Sc	0,025	0,1	0,6
(3p + 5n)	⁴⁶ Sc	≈ 0,03	0,2	0,85
(7p + 5n)	⁸² Mn	< 0,003	-	≤ 0,01
(7p + 9n)	⁵⁶ Mn	≤ 0,01	-	± 0,3
(-6p-6n)	²⁸ Mg	0,007	0,06	0,25
(-7p-9n)	²⁴ Na	≤ 0,003	-	≈ 0,04
(-14p-19n)	⁷ Be	-	-	≥ 0,2

Результаты измерений полных сечений соответствующих реакций даны в таблице 2. В столбце "Реакция" указан также конечный продукт ядер пучка, по количеству которого находился выход реакции. При определении сечений реакций (+7p+9n) химическое выделение ⁵⁶Mn и ²⁴Na не применялось. Идентификация и определение выхода конечных продуктов в этом случае проводились только по характерным гамма-линиям и полупериоду распада элемента.

Ошибки приведенных в таблице 2 полных сечений, как и верхних пределов сечений, как правило, не должны превосходить 30%. Менее точные данные с ошибкой, возможно, больше 30%, обозначены знаком приближения ≈.

Интерпретация результатов этого эксперимента в рамках модели составной системы молекулярного типа будет опубликована Э.Ложинским в отдельной статье. Здесь кажется целесообразным подчеркнуть, что как асимметрия угловых распределений так и значения полных сечений, приведенных в таблице 2 многонуклонных передач, согласуются с ожиданием модели, в которой обмен нуклонами между ядрами системы является хаотическим (с запретами), а

распад системы вызван термическим блужданием энергии молекулярных степеней свободы системы.

Авторы считают своим приятным долгом выразить благодарность директору ИЯФ в Кракове проф. Г.Неводничанскому и директору ЛЯР ОИЯИ проф. Г.Н.Флерову за способствующий делу интерес к этой работе. Авторы также глубоко благодарны Б.А.Гвоздеву за консультации и разработку метода быстрого химического выделения скандия, группе эксплуатации циклотрона МЗИ за проведение облучений. Особую благодарность авторы выражают З.Д.Покровской за большую работу при проведении измерений и обработку результатов эксперимента.

Л и т е р а т у р а

1. E. Almqvist, D.A. Bromley, and J.A. Kuehner. Phys.Rev. 123, 878 (1961); Phys.Rev.Lett. 4, 312 (1960).
2. E. Vogt and H. McManus. Phys.Rev.Lett. 4, 518 (1960).
3. R.H. Davis. Phys.Rev.Lett. 4, 521 (1960).
4. N.O. Lassen. Physics Letters 1, 65 (1962).
5. E. Almqvist, Direct intraction and nuclear reaction mechanism, Proc.Padua.Conf. (1962) ed. by B. Clemental and C. Willi (Gordon and Breach, New York 1963).
6. Reaction between complex nuclei, Proc. Asilomar Conf. (1963) ed. by A. Giorso, R.M. Diamond and H.E. Conzett (Univ. of California Press, Berkeley and Los Angeles 1963).
7. J. Borggreen, B. Elbek, R.B. Leachmann, M.C. Olesen and O.R. Poulsen, p. 201 of ref. 6.
8. E. Almqvist, J.A. Kuehner, E. Vogt, D. McPherson and J.D. Prentice. p.207 of ref. 6.
9. M.L. Halbert, F.E. Durhan, C.D. Moak and A. Zucker. Nucl. 47, 353 (1963).
10. J.O. Rasmussen. p. 441 of ref. 6 (Conference Summary).
11. Э.Ложински. Препринт ОИЯИ, P2-1488, Дубна (1963).
12. E. Lozynski. Nucl.Phys. 64, 321 (1965).
13. R.M. Gaedke and K.S. Toth. Nucl. Phys. 83, 353 (1966).
14. R. Kaufman and R. Wolfgang. Phys.Rev. 121, 192 (1961).

Рукопись поступила в издательский отдел
15 декабря 1967 года.

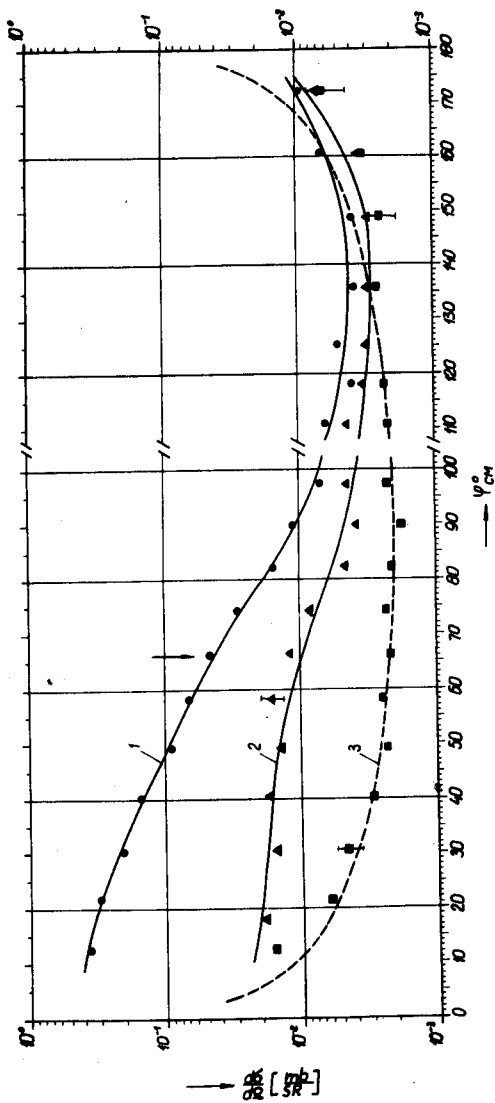


Рис.1. Дифференциальные сечения $d\sigma/d\Omega$ реакции подхвата ($3p + 4n$), $^{197}\text{Au}(^{40}\text{Ar})$, $^{41}\text{Sc}(^{180}\text{Ov})$ в системе центра масс. Толщина мишени = 3,5 мг/см.
 Энергии ионов ^{40}A равны: 1. ● = 195 Мэв, 2. ▲ = 175 Мэв, 3. ■ = 155 Мэв. (Система центра масс). Кривая 3. = $(\sin \phi)^{-1}$.

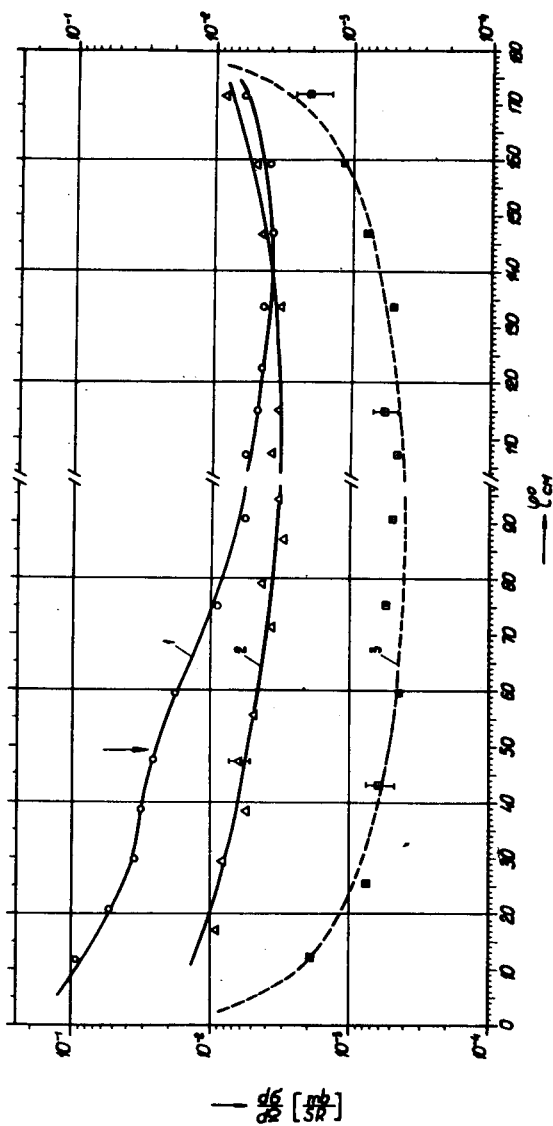


Рис.2. Дифференциальные сечения $d\sigma/d\Omega$ реакции срыва ($6p + 6n$), ^{197}Au (^{40}Ar , ^{40}Ar) в системе центра масс. Толщина мишени $\approx 3,5 \text{ мг/см}^2$. Энергии ионов ^{40}Ar равны: 1. \circ $\approx 195 \text{ Мэв}$. 2. Δ $\approx 175 \text{ Мэв}$, 3. \square $\approx 155 \text{ Мэв}$. (Система центра масс). Кривая 3. $\approx (\sin \phi)^{-1}$

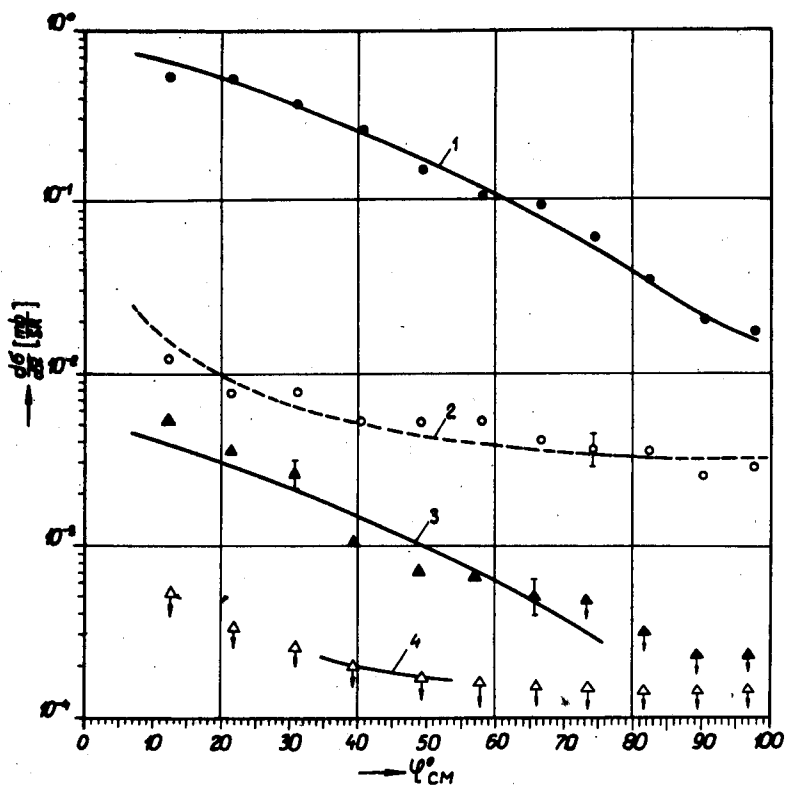


Рис.3. Дифференциальные сечения $d\sigma/d\Omega$ реакции подхвата ($3p + 5n$) ^{197}Au (^{40}Ar , ^{48}Se) ^{189}Os (кривые 1 и 2) и реакции подхвата ($3p + 1n$), ^{197}Au (^{40}Ar , ^{44}mSe) ^{193}Os (кривые 3 и 4) в системе центра масс. Энергии ионов ^{40}Ar равны: 1. \bullet и 3. \blacktriangle = 195 Мэв, 2. \circ и 4. \triangle = 155 Мэв (сист. ц.м.). Кривая 2. $\sim (\sin \phi)^{-1}$. Точки со стрелкой вниз - верхний предел сечения.