

индекс 3624



ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЕФИ-689(4)-84

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ИНФОРМАЦИИ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПО АТОМНОЙ НАУКЕ И ТЕХНИКЕ

Г.А.ВАРТАЩЕТАН, Е.О.ГРИГОРЯН, Н.А.ДЕМЕХИНА

ИМПУЛЬСНЫЕ СВОЙСТВА ПРОДУКТОВ ФОТОРАСЩЕПЛЕНИЯ М

ЕРЕВАН-1984

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЕФИ-689(4)-84

Г.А.ВАРТАПЕТЯН, Е.О.ГРИГОРЯН, Н.А.ДЕМЕХИНА

ИМПУЛЬСНЫЕ СВОЙСТВА ПРОДУКТОВ ФОТОРАСЩЕПЛЕНИЯ МЕДИ

Ереван 1984

Ереванский Физический
Институт
Зал преприатов

Введение

Изучение расщепления сложных ядер частицами высоких энергий предполагает всестороннее исследование этого процесса с применением различных методик.

К числу наиболее доступных и достаточно информативных способов исследования относятся измерения распределений ядер отдачи с помощью улавливающих фольг. Такая методика широко применяется в экспериментах по изучению расщепления ядер протонами и ускоренными ионами в широкой области энергий [1-7].

Анализ данных, полученных в измерениях такого типа, позволяет изучить механизм взаимодействия падающих частиц с ядрами, процесс передачи энергии и возбуждения ядра на отдельных стадиях реакции, оценить применимость различных модельных представлений и т.д. В области фотоядерных реакций указанная методика использовалась в экспериментах по изучению распределения осколков деления [8-10].

Целью настоящей работы является исследование характеристик ядер, образующихся при взаимодействии с медной мишенью фотонов

высоких энергий, включая как продукты реакций типа (γ, n) , $(\gamma, 2n)$, так и остаточные ядра, образовавшиеся в процессе глубокого расщепления. Для захвата ядер, покидающих в процессе реакции мишени, использовались расположенные спереди (F) и сзади (B) майларовые пленки. Для облучения использовалась стопка, содержащая пятьдесят слоев медной фольги (толщиной 13,395 мг/см²), прослоенных майларовыми пленками (толщиной ~ 7 мг/см²); для учета фона вставлялись промежуточные майларовые пленки. Облучение проводилось в вакуумной камере на коллимированном пучке Ереванского синхротрона при $E_{\gamma}^{\max} = 4,5$ ГэВ.

Результаты измерений

В экспериментах с использованием улавливающих фольг измеряется активность исследуемого изотопа в самой мишени N_T и в фольгах, расположенных спереди и сзади мишени (соответственно N_F и N_B). Результаты, представленные в табл. I, включают данные об относительном количестве ядер отдачи, вылетающих из мишени вперед $F = \frac{N_F}{N_F + N_B + N_T}$, назад $B = \frac{N_B}{N_F + N_B + N_T}$ и отношение F/B . При известной толщине мишени W (мг/см²) произведения FW и BW определяют эффективные пробеги остаточных ядер соответственно вперед и назад. Комбинация этих величин $2W(F+B)$ пропорциональна среднему эффективному пробегу ядер в материале мишени [1, 2, 5-7]. Эти характеристики обычно используют при анализе выходов ядер отдачи из толстой мишени [II]. Исследования кинематических свойств продуктов в адрон-ядерных расщеплениях [2, 6, 7] показали, что наблюдается преимущественное направление вылета вперед, и эта тенден-

ция проявляется сильнее в реакциях, сопровождающихся вылетом малого числа нуклонов, с ростом количества вылетающих частиц анизотропия уменьшается и увеличиваются значения средних пробегов остаточных ядер в материале мишени [II].

В табл. I представлены результаты обработки экспериментальных данных, полученных в настоящей работе, из которых следует, что продукты фоторасщепления также преимущественно летят вперед, хотя величина F/B намного меньше, чем в адрон-ядерных взаимодействиях [2, 6, 7]. Из данных таблицы видно также, что величина F/B , характеризующая анизотропию распределения остаточных ядер, зависит от типа реакции и массового числа образующегося ядра. Более подробное рассмотрение этой зависимости проводится ниже.

^{64}Cu образуется в результате прямой реакции $^{65}\text{Cu}(\gamma n)^{64}\text{Cu}$. Функция возбуждения этой реакции характеризуется резко выраженным максимумом в районе гигантского резонанса ($E_{\text{рез}} \sim 20$ МэВ). Снятие возбуждения путем испускания одного нуклона носит чисто статистический характер, что, очевидно, обуславливает практически изотропное распределение продуктов реакции. Малая величина пробега связана с низким возбуждением ядра, характеризующим эту реакцию. В аналогичных реакциях под действием адронов величина F/B намного больше, что указывает на совершенно иной механизм передачи энергии и возбуждения ядра [12].

В выход изотопа ^{61}Cu наибольший вклад вносит реакция $(\gamma 2n)$ на ядре ^{63}Cu , так как реакция $(\gamma 4n)$ на другом изотопическом состоянии ядра мишени ^{65}Cu протекает с существенно меньшим выходом [13]. Максимум сечения этой реакции приходится на

область низких энергий, но не захватывает район гигантского резонанса. Изучение механизма поглощения фотонов на ядрах показывает, что в этой области энергии возбуждение ядра обусловлено, в основном, рассеянием фотонов на нуклонных ассоциациях и отдельных нуклонах ядра. Возможно, указанный механизм передачи энергии может объяснить наблюдаемую анизотропию в распределении остаточных ядер реакции.

Группа ядер ^{52}Mn , $^{44\text{m.g.}}\text{Sc}$, ^{24}Na представляет продукты глубокого расщепления. Как видно из данных табл. I, величина отношения F/B для этих ядер остается в пределах ~ 2 , а эффективные пробеги растут по мере увеличения числа нуклонов, покидающих исходное ядро в процессе реакции.

Обсуждение экспериментальных результатов

Свойства ядер отдачи могут быть рассчитаны в рамках каскадно-испарительной модели методом Монте-Карло. Сравнение с экспериментальными данными проводилось для реакции образования изотопов калия и натрия из меди при энергии протонов 29 ГэВ [1]. Авторы показали, что удовлетворительное согласие достигается для средних значений эффективных пробегов ядер отдачи, однако эффективные пробеги вперед превышали результаты измерений, а пробеги назад в эксперименте оказались больше расчетных. Указанное различие, по мнению авторов, могло быть следствием как несостоятельности самой модели, так и результатом участия двухчастичных процессов, в частности, при образовании изотопов натрия.

Анализ импульсных характеристик ядер отдачи часто проводится в рамках векторной модели [2,4,5,10,14,15], которая также

предполагает две стадии реакции и позволяет оценить параметры, характеризующие ядро на каждой ступени взаимодействия. Согласно указанной модели, после каскадного процесса остается промежуточное ядро, обладающее скоростью \vec{U} ; в процессе снятия возбуждения остаточное ядро получает дополнительную скорость \vec{V} в системе возбужденного ядра, конечная скорость ядра-остатка определяется векторной суммой этих величин. При выводе уравнений для обработки экспериментальных данных вводятся некоторые дополнительные предположения, упрощающие анализ:

А. Для соотношения пробег - скорость используется известное эмпирическое соотношение $R = kV^N$ (k и N - постоянные, приводимые в таблицах).

Б. Значения U и V принимаются единственными и совпадающими по величине со средними значениями в распределении Гаусса, которое удовлетворительно описывает экспериментальные данные по импульсному и угловому распределению ядер отдачи в тонких мишенях и тонких поглотителях [4,15] *).

В. Угловое распределение вектора V предполагается изотропным **). [14].

Уравнения, которые обычно используются для обработки экспериментальных данных, были предложены Сугерманом [1] и развиты

*) При измерении ядер отдачи, вылетающих вперед и назад относительно направления падающих частиц, из двух составляющих скорости послекаскадного ядра (U_{\parallel} , U_{\perp}) рассматривается только продольная компонента, так как поперечная составляющая при анализе экспериментов такого типа не участвует [14].

***) По данным работы [14] учет углового распределения в виде функции $\alpha + \beta \cos^2 \theta$ или $\alpha + \beta \sin^2 \theta$ приводит к незначительной поправке в окончательных результатах.

впоследствии авторами других работ [2,4,15] :

$$F = \frac{R}{4W} \left\{ 1 + \frac{2}{3} \eta (N+2) + \eta^2 \frac{(N+1)^2}{4} \right\},$$

$$B = \frac{R}{4W} \left\{ 1 - \frac{2}{3} \eta (N+2) + \eta^2 \frac{(N+1)^2}{4} \right\},$$

где величина $\eta = \frac{v}{V}$, R - пробег ядра-остатка в материале мишени.

Подробные расчеты проводились нами в случае реакции образования ^{24}Na из меди, так как эта реакция исследована достаточно полно в адрон-ядерных взаимодействиях и опубликованные данные могут быть использованы для сравнения [1,2,5,7,16]. Значение N принималось равным 1,5 [1]. Из результатов, приведенных в табл.2, видно, что пробеги R , скорость V , а, следовательно, и кинетические энергии ядер-отдачи ^{24}Na хорошо согласуются с данными, полученными в работах [2,6,7]. В рамках двухступенчатой модели эти характеристики определяются испарительной стадией, и приведенные данные позволяют утверждать, что на этом этапе реакции нет зависимости от сорта и энергии налетающей частицы. Величины η и соответственно $v(\beta)$ авторы работ [5,6,16] связывают со свойствами послекаскадного ядра, образовавшегося на первой быстрой стадии реакции. Из данных табл.2 видно, что эти характеристики существенно различаются в реакциях, вызванных фотонами, протонами, α -частицами и тяжелыми ионами. Следовательно, эта стадия реакции протекает по-разному под действием частиц разного сорта.

Различие в развитии фотоядерного и нуклонного каскадного процесса может быть обусловлено многими факторами: различием

в величине свободного пробега налетающей частицы и, следовательно, в точке, где разыгрывается первичное взаимодействие, кинематическими характеристиками образующихся продуктов; существенное различие состоит и в том, что доминирующим процессом в фотопоглощении при энергиях, превышающих порог мезонообразования, является мезонный механизм, в то время как в адрон-ядерных взаимодействиях этот процесс проявляется при более высоких энергиях и не является доминирующим. Из данных табл.2 видно, что характеристики послекаскадных ядер становятся схожими при очень высоких энергиях адронов, намного превышающих максимальную энергию тормозного спектра.

Таким образом, результаты проведенного исследования показали:

1. Распределение продуктов фоторасщепления носит более изотропный характер, чем в адрон-ядерных реакциях; при этом сохраняется общая тенденция преимущественного вылета вперед.
2. Сильно отличаются механизмы образования ядер-остатков в простых реакциях.
3. При рассмотрении реакций расщепления в рамках двухступенчатой модели необходимо отметить независимость испарительного процесса от сорта и энергии первичных частиц и существенное различие в свойствах послекаскадных ядер.

В заключение авторы выражают благодарность Авдалян Г.А. за помощь в измерениях и обработке экспериментальных данных, а также коллективу ускорителя за обеспечение необходимых параметров пучка.

Таблица 1

Ядра отдачи	F (%)	B (%)	F/B	η	FW $\left(\frac{\text{мг}}{\text{см}^2}\right)$	BW $\left(\frac{\text{мг}}{\text{см}^2}\right)$
^{64}Cu	1,3 \pm 0,6	0,9 \pm 0,23	1,4 \pm 0,8	0,07 \pm 0,012	0,178	0,12
^{61}Cu	0,3 \pm 0,05	0,09 \pm 0,01	3,3 \pm 0,8	0,23 \pm 0,04	0,04	0,012
^{52}Mn	1,8 \pm 0,2	0,9 \pm 0,2	2,0 \pm 0,12	0,15 \pm 0,013	0,24	0,12
^{44}Sc	4 \pm 0,6	1,75 \pm 0,2	2,3 \pm 0,4	0,16 \pm 0,036	0,53	0,23
$^{44\text{m}}\text{Sc}$	3,4 \pm 0,2	1,7 \pm 0,08	2,0 \pm 0,16	0,14 \pm 0,016	0,45	0,27
^{24}Na	6,6 \pm 0,3	3,6 \pm 0,15	1,9 \pm 0,67	0,16 \pm 0,02	0,9	0,48

01

Таблица 2

Тип падающих частиц, энер- гия (ГэВ)	R $\left(\frac{\text{мг}}{\text{см}^2}\right)$	η	$V \left(\frac{\text{МэВ}}{\text{а.м.е.}}\right)^{1/2}$	E (МэВ)	$v \left(\frac{\text{МэВ}}{\text{а.м.е.}}\right)^{1/2}$	Ссылки
γ - кванты 4,5	2,3 \pm 0,1	0,16 \pm 0,02	1,05 \pm 0,05	13,8 \pm 0,6	0,14 \pm 0,02	наст. раб.
Протоны 0,7	2,6	0,25	1,05	13,8	0,26	[2]
3	2,6	0,22	1,0	12,6	0,22	[2]
2,6	2,7	0,15	0,95	11,3	0,15	[16]
α - частицы 0,86	2,99	0,42	1,1	14,4	0,46	[2]
Ионы ^{12}C 28	2,77	0,19	0,96	11,5	0,2	[16]

11

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sugarman N., Campos M., Wielzog K. Recoil Studies of High-Energy Reactions in Bismuth. Phys.Rev., 1956, vol.101, p.388.
2. Crespo V.P., Alexander J.M., Hyde E.K. Ejection of Large Fragments in High-Energy Nuclear Reactions, Phys.Rev. 1963, vol.131, p.1765.
3. Cumming J.B., Katcoff S., Porile N.T. et al. Differential Range Study of Products Formed by 2.9 GeV Proton Irradiation of Silver Phys. Rev.B, 1964, vol.134, p.1262.
4. Winsberg L. The Analysis of Thick-Target Thick-Catcher Nuclear Recoil Experiments. NIM 1978, vol.150, p.465.
5. Cumming J.B., Haustein P.E., Hseuh H.C. Momentum Transfer in the Fragmentation of Cu by Relativistic Heavy Ions and Protons Phys.Rev.C, 1981, vol.24, p.2162.
6. Lund T., Molzahn D., Bergessen B. et al. Momentum Transfer and Product Kinetic Energies in the Interaction of Silver with 86 MeV/A ^{12}C . Phys.Lett., 1982, vol.116, p.325.
7. Cole G.D., Porile N.T. Recoil Properties of Fragments Emitted in the Interaction of Complex Nuclei with Relativistic ^{12}C Ions and Protons. Phys.Rev.C, 1982, vol.25, p.244.
8. Areskong M., Schroder B., Lindgren K. et al. Photofission in Gold at Intermediate Energy. Nucl.Phys.A. 1974, vol.226, p.93.
9. Andersson G., Blomqvist I., Forkman B. et al. Photon-Induced Nuclear Reactions above 1 GeV (I). Nucl.Phys.A, 1972,

- vol.197, p.44.
10. Kroon I., Forkman B. Photon-Induced Nuclear Reactions above 1 GeV(III) Fission in Gold and Lead. Nucl.Phys. A., 1972, vol.197, p.81.
 11. Денисов Ф.П., Мехедов В.Н. Ядерные реакции при высоких энергиях. М.: Атомиздат, 1972.
 12. Si-Chang Fung, Turkevich A. Momentum Transfer in Nuclear Excitation by High Energy Particles Phys.Rev. 1954, vol.95, p.177.
 13. Berman A.I., Brown K.L. Absolute Cross Section Versus Energy of $^{65}\text{Cu}(\gamma n)$ and $^{65}\text{Cu}(\gamma 2n)$ Reactions. Phys.Rev. 1954, vol.96, p.83.
 14. Перфилов Н.А., Ложкин О.В., Остроумов В.И. Ядерные реакции под действием частиц высоких энергий. М.-Л.: Изд. АН СССР, 1962.
 15. Winsberg L. Recoil Studies of Nuclear Reactions Induced by High-Energy Particles. I. Production of ^{149}Tb Phys.Rev.B, 1964, vol.135, p.1105.
 16. Cumming J.C., Haustein P.E., Hseuh H.C. Momentum Transfer in the Reactions of 25-GeV ^{12}C and 28-GeV ^1H with Cu Phys. Rev.C, 1978, vol.18, p.1372.

Рукопись поступила 16 августа 1983 г.

Редактор Л.П.Мукаян
Тех.редактор А.С.Абрамян

Заказ 467 ВФ-06133 Тираж 299

Препринт БИИ Формат издания 60x84/16

Подписано к печати 7/II-84 1,0 уч.-изд.л. Ц. 15 к.

Издано Отделом научно-технической информации
Ереванского физического института, Ереван 36, Маркаряна 2