

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P15-85-600

Ю.П.Гангрский, Х.Г.Христов, В.М.Васько

ЭМИССИЯ ЯДЕР ^{24}Ne В РЕАКЦИЯХ
С γ -КВАНТАМИ НИЗКИХ ЭНЕРГИЙ

Направлено в журнал "Ядерная физика"

1985

В реакциях с частицами высоких энергий с заметной вероятностью наблюдается эмиссия тяжелых кластеров (ядер, тяжелее, чем α -частица). Кинетическая энергия этих ядер оказывается близкой к высоте кулоновского барьера остаточного ядра $/1/$ (например, при эмиссии ядер ^{24}Na и ^{28}Mg из ^{238}U она составляет 60–70 МэВ). Считалось, что кластеры образуются в результате фрагментации на ядра мишени под действием частиц высоких энергий. Дальнейшие исследования этого явления показали, что может иметь место и испарение кластеров из высоковозбужденных ядер $/2/$ (с энергией возбуждения выше 100 МэВ).

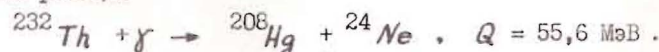
Со значительно меньшей вероятностью эмиссия тяжелых кластеров наблюдается при более низких энергиях возбуждения (например, в реакциях с протонами, α -частицами и ионами ^3He с энергиями 30–40 МэВ $/3-6/$). В этом случае кинетическая энергия кластеров была несколько ниже, чем в реакциях с частицами высоких энергий (например, при эмиссии ^{28}Mg из ^{232}Th или ^{238}U она составляла 40–50 МэВ). В таких реакциях эмиссия тяжелых кластеров рассматривалась как результат сильно асимметричного бинарного или тройного деления. Действительно, выход осколков в районе $A \approx 200$ наблюдался при делении ядер тяжелыми ионами $/7/$, а при делении ряда ядер тепловыми нейтронами была обнаружена эмиссия третьего осколка вплоть до $Z \approx 8$ $/8/$.

Теоретические расчеты показали, что может иметь место и спонтанная эмиссия тяжелых кластеров из основных состояний ядер $/9,10/$. Это явление было обнаружено в последние годы для целого ряда ядер (например, эмиссия ^{14}C из $^{222-224}\text{Ra}$ $/11-13/$, ^{24}Ne из ^{231}Pa $/14/$ и $^{232-233}\text{U}$ $/15,16/$). Вероятность спонтанной эмиссии таких кластеров составляет $10^{-10}-10^{-12}$ от вероятности α -распада и в ядрах легкого урана превосходит вероятность спонтанного деления.

Представляет большой интерес проведение исследований эмиссии тяжелых кластеров из ядер с низкой энергией возбуждения. Это позволило бы более детально судить о механизме данного явления, т.к. явилось бы источником сведений о вероятности формирования кластеров внутри ядра, о величине деформации ядра при испускании кластеров и т.д.

Однако исследования с возбужденными ядрами связаны с дополнительными трудностями, связанными с фоном от бомбардирующих частиц. Большие перспективы в этом направлении открывает использование γ -излучения. На ускорителях электронов можно получать высокую интенсивность тормозного излучения. Большая проникающая способность γ -квантов позволяет использовать толстые мишени. Все это дает возможность достигнуть высокой чувствительности измерений. Целью настоящей работы было определение вероятности испускания тяжелых кластеров и их кинетической энергии при сравнительно низких энергиях

возбуждения (до 30 МэВ) в реакциях с γ -квантами. Для исследования была выбрана реакция



Испускаемый в этой реакции кластер ^{24}Ne переходит в результате β -распада ($T_{1/2} = 3,4$ мин) в удобный для измерения изотоп ^{24}Na ($T_{1/2} = 15$ ч) с характерной γ -линией с энергией 2,756 МэВ. Возможна и эмиссия из возбужденного ядра кластера ^{24}Na , но при этом выделяющаяся энергия меньше на 2,5 МэВ, поэтому такая реакция представляется менее вероятной.

Измерения проводились на микротроне с 22 орбитами Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ и микротроне с 28 орбитами Ин-та физических проблем АН СССР. Схема эксперимента представлена на рис.1. Слой ^{232}Th толщиной 2,5 мг/см², нанесенный на ленту из лавсана общей площадью 400 см² облучался пучком тормозного излучения микротрона. Непосредственно за слоем ^{232}Th располагался набор пленок из поликарбоната, которые служили сборниками для испускаемых из возбужденных ядер кластеров ^{24}Ne и осколков деления. Обычно использовалось 5–7 сборников толщиной 2,5 мкм и 8 мкм. После окончания облучения на Ge(Li) -детекторе с чувствительным объемом 100 см³ измерялся спектр

γ -излучения каждого из сборников. Один из таких спектров приведен на рис.2. По интенсивности соответствующих γ -линий можно судить о выходах кластеров ^{24}Ne и осколков деления. Низкий выход ^{24}Na требовал особого внимания к проблеме фона. Источником фона являлись реакции под действием γ -квантов и нейтронов на примесях легких элементов ($\text{Na}, \text{Mg}, \text{Al}$) в сборниках (соответственно реакции n, γ ; γ, p ; n, α). Для снижения этого фона отбирались такие сборники из поликарбоната, которые содержали минимальные примеси указанных элементов. Содержание примесей определялось в специальных опытах при облучении сборников нейтронами и γ -квантами. Таким же способом производился и контроль за возможными загрязнениями сборников в процессе эксперимента. В результате этих мер фон ^{24}Na за счет примесей легких элементов не превышал 10% от наблюдаемого выхода γ -излучения.

Ниже представлены отношения выходов изотопа ^{24}Na и осколка деления ^{140}Ba при различных граничных энергиях спектра тормозного излучения:

E_{γ}	$Y(^{24}\text{Na})/Y(^{140}\text{Ba})$
10 МэВ	10^{-7}
21,5 МэВ	$6 \cdot 10^{-7}$
28 МэВ	$3 \cdot 10^{-6}$

Ошибка в определении этих отношений составляла около 50%.



Рис.1. Блок-схема эксперимента.

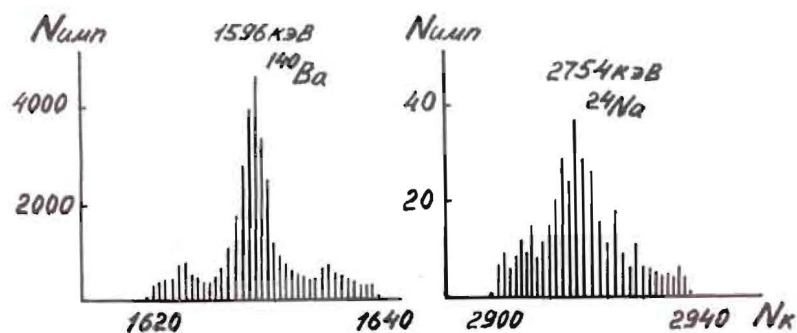


Рис.2. Спектр γ -излучения одного из сборников.

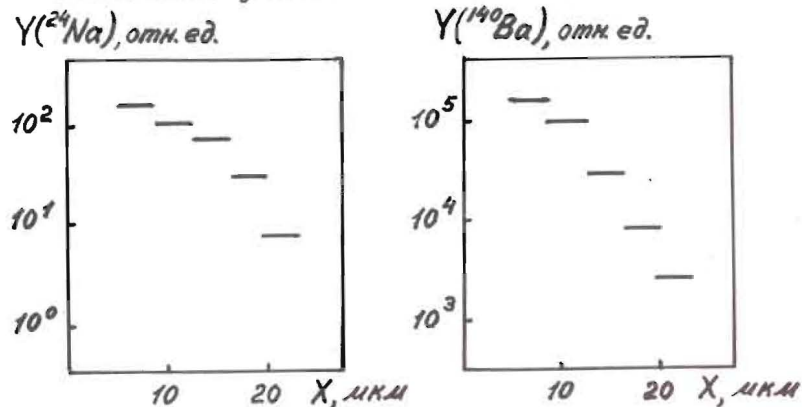


Рис.3. Зависимость интенсивности γ -излучения ядра ²⁴Na : ¹⁴⁰Ba от толщины сборника.

Из представленных отношений и известных выходов осколков и сечения деления ²³²Th при различных энергиях γ -излучения [17,18] можно судить о сечении образования тяжелых кластеров в фотоядерных реакциях. Для ядра ²⁴Ne оно оказывается при энергии γ -излучения в районе 28 МэВ $\sim 10^{-32}$ см². Отсюда следует, что отношение сечения реакции с вылетом кластера ²⁴Ne к сечению деления $\sigma_k/\sigma_f \approx 5 \cdot 10^{-7}$, а к полному сечению реакции $\sigma_k/\sigma_t \approx 5 \cdot 10^{-8}$. Эти отношения того же порядка, что и в реакциях легких заряженных частиц с ядрами Th и U [3-6]. Такие отношения сечений соответствуют парциальному времени жизни по отношению к испусканию тяжелых кластеров из возбужденного ядра 10^{-10} - 10^{-9} с. Эти времена значительно больше, чем для вынужденного деления при тех же энергиях возбуждения (10^{-16} - 10^{-17} с). В то же время для основных состояний ядер легче урана, как уже отмечалось выше, имеет место обратное соотношение. Это означает, что при низких энергиях возбуждения вероятность вылета тяжелых кластеров растет с энергией значительно медленнее, чем вероятность деления ядра.

Распределение активности ²⁴Na по отдельным сборникам (рис.3) позволяет судить о пробеге кластеров. Пробег в поликарбонате ядер ²⁴Na, испускаемых в реакции ²³²Th + γ при E = 28 МэВ, оказался равным $2,5 \pm 0,3$ мг/см². Этот пробег соответствует кинетической энергии кластеров 40 ± 8 МэВ (с учетом потерь энергии в слое тория). Такая энергия существенно меньше ожидаемой (~ 80 МэВ), которая включает энергию реакции (55 МэВ) и вносимую в ядро γ -квантом энергию возбуждения (до 28 МэВ). Доля кластеров с высокой кинетической энергией (≥ 60 МэВ) не превышает 3% от их полного числа.

Таким образом, в результате проведенных измерений показано, что эмиссия тяжелого кластера ²⁴Ne из ядра ²³²Th наблюдается при энергии возбуждения выше 20 МэВ (с вероятностью более 10^{-8}). Однако кинетическая энергия кластеров такова, что они уносят лишь часть энергии возбуждения ядра.

Для объяснения эмиссии кластеров с такой низкой кинетической энергией необходимо предполагать, что ядро в момент разрыва характеризуется большим значением параметра деформации (отношение большой и малой полуосей составляет ~ 3). Другим возможным объяснением является деление ядра на три осколка, как это отмечалось в работах [3-6]. При таком способе деления наиболее легкий осколок может иметь сравнительно низкую кинетическую энергию.

В заключение авторы выражают благодарность Г.Н.Флерову за поддержку работы, А.Сэндулеску, С.Г.Кадменскому, В.И.Фурману и И.Зваре за полезные обсуждения, А.Г.Белову, Б.С.Закирову, В.Н.Самосику за

облучение мишеней на микротронах, Н.К.Скобелеву и А.Янковскому за помощь в измерениях, Ю.С.Короткину и Л.И.Черниковой за изготовление мишеней.

Л и т е р а т у р а

1. Jarund A., Forkman B. - Z.Phys.A., 1977, v.291, p.47.
2. Sobotka L.G. et al. - Phys.Rev.Lett., 1983, v.51, p.2187.
3. Iyer R., Cobble J. - Phys.Rev., 1968, v.172, p.1186.
4. Mac Murde K.W., Cobble J. - Phys.Rev., 1969, v.182, p.1303.
5. Roginski T.C. e.a. - Phys.Rev.C, 1971, v.4, p.1361.
6. Haldorsen I e.a. - JINCh, 1981, v.43, p.2197.
7. Зодан Х. и др. - Краткие сообщения ОИЯИ, 1984, № 4-84, Дубна.
8. Воробьев А.А. и др. - ЭЧАЯ, 1972, т.2, с.941.
9. Сандулеску А. и др. - ЭЧАЯ, 1980, т.II, с.523.
10. Roenaru D. e.a. - JINR, 1981, E4-84-466, Dubna.
11. Rose H.J., Jones J.A. - Nature, 1984, v.307, p.245.
12. Александров Д.В. и др. - Письма в ЖЭТФ, 1984, т.40, с.152.
13. Price P.V. e.a. - Phys.Rev.Lett., 1985, v.54, p.297.
14. Săndulescu A. e.a. - JINR Rapid Communications, 1984, N 5-84.
15. Barwick S.W. e.a. - Phys.Rev.C., 1985, v.31, p.2133.
16. Третьякова С.П. и др. - Краткие сообщения ОИЯИ, 1985, № 7-85, Дубна.
17. Caldwell J.T. e. a. - Phys.Rev.C., 1980, v.20, p.1621.
18. Hogan J.C. e.a. - Phys.Rev.C., 1977, v.16, p.2296.

Рукопись поступила в издательский отдел
6 августа 1985 года.

Гангрский Ю.П., Христов Х.Г., Васко В.М. P15-85-600
Эмиссия ядер ^{24}Ne в реакциях с γ -квантами низких энергий

Измерены сечения фотоядерных реакций с вылетом из возбужденного ядра кластеров ^{24}Ne и пробеги этих кластеров в поликарбонате в диапазоне энергий γ -квантов 18-28 МэВ. Регистрация кластеров производилась по γ -излучению дочернего ядра ^{24}Na . Энергия кластеров оказалась ~ 40 МэВ, а вероятность их вылета из составного ядра при энергии возбуждения 28 МэВ $\sim 5 \cdot 10^{-8}$. Обсуждается механизм наблюдаемого явления.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1985

Перевод О.С.Виноградовой

Gangrsky Yu.P., Khristov Kh.G., Vasko V.M. P15-85-600
Emission of ^{24}Ne Nuclei in Reactions Induced by Low Energy γ -Quanta

The cross sections of photonuclear reactions with ^{24}Ne cluster emission from the excited nucleus and ranges of these clusters in polycarbonate for 18-28 MeV energy range were measured. The cluster detection was performed on ^{24}Na daughter nucleus γ -radiation. Cluster kinetic energy turned out to be ~ 40 MeV, and probability of their emission from the compound nucleus at 28 MeV excitation energy was $\sim 5 \cdot 10^{-8}$. The mechanism of observed phenomenon is discussed.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1985