

5170/2-79



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

17/12-79

Г-379

P7 - 12839

Э.Герлик, А.М.Калинин, Р.Калпакчиева, Ю.Ц.Оганесян,
Ю.Э.Пенионжкевич, В.И.Вакатов, Т.С.Саламатина

ИЗУЧЕНИЕ ВЫЛЕТА α -ЧАСТИЦ
В РЕАКЦИИ $^{22}\text{Ne} + ^{197}\text{Au}$

1979

P7 - 12839

Э.Герлик, А.М.Калинин, Р.Калпакчиева, Ю.Ц.Оганесян,
Ю.Э.Пенионжкевич, В.И.Вакатов, Т.С.Саламатина

ИЗУЧЕНИЕ ВЫЛЕТА α -ЧАСТИЦ
В РЕАКЦИИ $^{22}\text{Ne} + ^{197}\text{Au}$

Направлено в ЯФ

Герлик Э. и др.

P7 - 12839

Изучение вылета α -частиц в реакции $^{22}\text{Ne} + ^{197}\text{Au}$

Приводятся экспериментальные результаты по измерению энергетических спектров, сечения образования и угловых распределений α -частиц в совпадении с осколками деления, образующимися в реакции $^{197}\text{Au} + ^{22}\text{Ne}$ /178 МэВ/. Показано, что в этой реакции образуются α -частицы, энергетический спектр которых сильно отличается от спектра испарительных α -частиц при больших энергиях, и угловое распределение имеет сильную направленность вперед. Из полученных данных следует, что более половины α -частиц связаны с осколками деления остаточного ядра.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1979

Gierlik E. et al.

P7 - 12839

Investigation of Alpha-Particle Emission
in the $^{22}\text{Ne} - ^{197}\text{Au}$ Reaction

Experimental data on measuring energy spectra, production cross sections and particle angular distributions in coincidence with fission fragments produced in the $^{197}\text{Au} - ^{22}\text{Ne}$ (178 MeV) reaction are presented. It is shown that in this reaction alpha-particles are produced whose energy spectrum at high energies differs strongly from that of evaporation α -particles, and angular distribution is strongly forward peaked. It follows from the data obtained that more than a half of α -particles are due to residual nucleus fission fragments.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

Как следует из ряда работ ^{1,2/}, взаимодействие двух сложных ядер может сопровождаться вылетом большого числа α -частиц. Экспериментальное исследование спектров α -частиц, образующихся в реакциях с тяжелыми ионами, показало, что наблюдается значительное увеличение выхода высокоэнергичных частиц по сравнению с тем, что ожидается из расчетов по испарительной модели распада составного ядра ^{3/}, причем угловое распределение α -частиц имеет сильную направленность вперед. Измерения сечений образования высокоэнергичных α -частиц показали, что они в некоторых случаях могут достигать величины половины полного сечения реакции, а это ставит под сомнение предположение о независимости от других каналов реакции канала с вылетом α -частицы. Интерпретация процесса, данная в работах ^{1,2,4/}, предполагающая развал налетающей частицы в поле ядра мишени, не дает удовлетворительного согласия с экспериментом, даже в случае, когда налетающей частицей является углерод ^{4,5/}. Из последних экспериментов следует, что образование α -частиц связано с входным каналом реакции. В работе ^{6/} сделана попытка показать, что высокоэнергичные частицы связаны с угловым моментом налетающего иона, который лежит в диапазоне, соответствующем реакциям передачи. Однако измерение совпадений α -частиц с продуктами реакций передачи ^{7,8/} объясняют лишь 10-20% сечения их образования. В работе ^{9/} по изучению вылета α -частиц в процессе взаимодействия ядер ^{11}B с ^{12}C и ^{58}Ni , показано, что вылет α -частицы происходит на первом этапе реакции до установления статистического равновесия в оставшихся ядрах. Кроме того, из экспериментальных данных, полученных в работе ^{10/}, следует, что существует большая вероятность образования составного ядра после вылета α -частицы.

В связи с этим, на наш взгляд, было бы интересно изучить связь каналов с вылетом α -частицы и делением оставшегося тяжелого составного ядра.

С этой целью нами был проведен эксперимент по измерению совпадений α -частиц, вылетающих под передними углами, с двумя коррелированными осколками деления тяжелого ядра.

В настоящей работе представлены результаты измерений совпадений α -частиц с осколками деления в реакции $^{22}\text{Ne} \cdot ^{197}\text{Au}$ при энергии ионов 178 МэВ.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕТОДИКА

Эксперименты проводились на выведенном пучке циклотрона тяжелых ионов Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ. Для измерения совпадений α -частиц с осколками деления остаточного ядра применялась методика, аналогичная описанной в работе ¹¹. В совпадении с двумя осколочными детекторами включался детектор α -частиц /см. рис. 1/. Энергии осколков измерялись двумя поверхностно-барьерными детекторами с щелевыми диафрагмами размерами $2 \times 9 \text{ мм}^2$ и $18 \times 2 \text{ мм}^2$. Расстояние между детекторами и мишенью составляло 70 мм. Такая геометрия обеспечивала регистрацию вторым детектором всех осколков, являющихся дополнениями к осколкам, регистрируемым первым детектором с асимметрией $0,4: A_{f1} A_{f2} : 2,5$. Калибровка осколочных детекторов проводилась с помощью упруго рассеянных ядер методом, описанным в работе ¹¹. Энергетическое разрешение детекторов для осколков деления было не хуже 5%, а точность определения энергии в двухмерных спектрах составляла ± 3 МэВ. Энергии α -частиц измерялись двумя разными детекторами в зависимости от угла измерения. Под углом 0° по отношению к пучку располагался кольцевой детектор, позволяющий регистрировать α -частицы в угловом диапазоне $3^\circ - 6^\circ$. Телесный угол этого детектора составлял $3 \cdot 10^{-3}$ ср. Спектры α -частиц под другими углами измерялись с помощью дрейфового детектора толщиной 2 мм. Телесный угол детектора составлял $2,1 \cdot 10^{-3}$ ср.

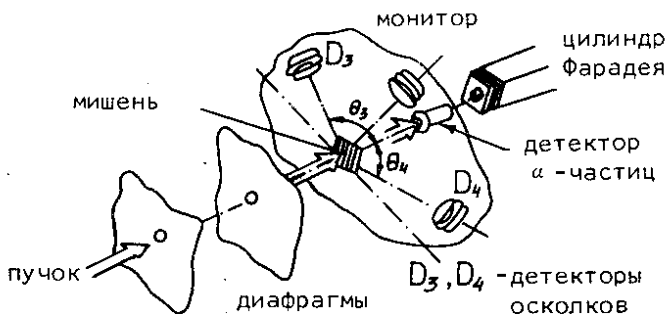


Рис. 1. Схема опытов по изучению совпадений α -частиц с двумя осколками деления.

ний /БОС/. Быстрая часть схемы состояла из временного конвертера /ВАП/ и одноканального анализатора /ОАн/. Медленная часть схемы представляла логический вентиль /И/, на входы которого приходили сигналы "Время преобразования" с аналого-цифрового преобразователя /АЦП/ и с одноканального анализатора быстрой части. Разрешающее время совпадений составляло 200 нс.

В α -тракте использовалась быстрая схема совпадений. Она фиксировала факт совпадения α -частицы с осколками и управляла линейными воротами на входе АЦП.

Быстро-медленная схема совпадений разрешала прохождение импульсов спектрометрических усилителей к аналого-цифровым преобразователям /АЦП/ в тракте осколков и в тракте α -частиц. Блок управления регистрацией /БУР/ выдавал сигнал, разрешающий регистрацию кодов в случае двойных (f_1, f_2) и тройных (α, f_1, f_2) совпадений в периферийной памяти.

Полученная информация обрабатывалась на ЭВМ "Минск-32" с помощью программы, описанной ранее в работе ¹¹, с учетом третьего канала реакции с вылетом α -частицы.

В эксперименте кинематически выбирались скоррелированные осколки деления составного ядра, оставшегося после вылета α -частицы. Углы вылета осколков рассчитывались с учетом кинематики реакции ¹¹. В нашем случае горизонтальный угол раствора осколочного детектора составлял 18°, что позволяло регистрировать осколки в широком диапазоне масс при энергии α -частиц от 20 до 120 МэВ. Одновременное измерение двойных /осколок-осколок/ и тройных /осколок-осколок-частица/ совпадений исключало ошибки в определении сечений тройных совпадений и упрощало задачу калибровки. Анализ экспериментальных результатов в процессе обработки давал возможность производить сортировку событий, а также выделять случаи совпадений α -частиц с другими продуктами реакций.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 3 представлен двухмерный спектр $\Delta E \cdot E$ легких продуктов, образующихся в реакции $^{197}\text{Au} + ^{22}\text{Ne}$.

измеренный с помощью описанного выше телескопа под углом 30°. Из анализа спектра можно сделать вывод о том, что в данной реакции с наибольшей вероятностью образуются α -частицы, выход которых существенно выше выхода других частиц, образующихся в таких реакциях. Из анализа спектра также следует, что максимумы в энергетических спектрах более легких частиц /протоны, дейтоны, тритоны/ находятся при энергии 12 МэВ, что существенно меньше энергии, соответствующей максимуму энергетического распределения α -частиц /35 МэВ/.

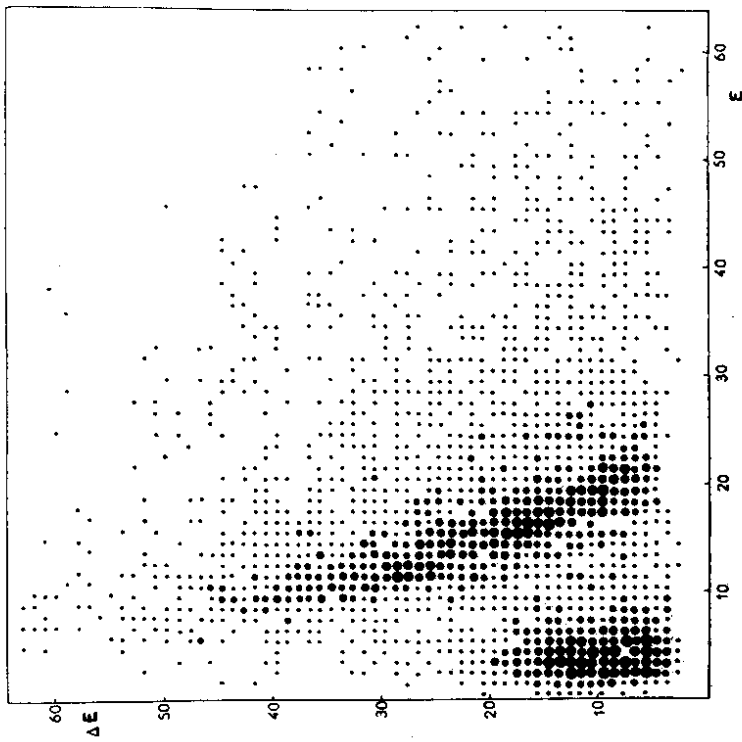


Рис. 3. Двухмерный $\Delta E \times E$ спектр легких продуктов, образующихся в реакции $^{197}\text{Au} + ^{22}\text{Ne}$ под углом 30° к направлению пучка при энергии ионов ^{22}Ne 178 МэВ. По осям отложены номера каналов.

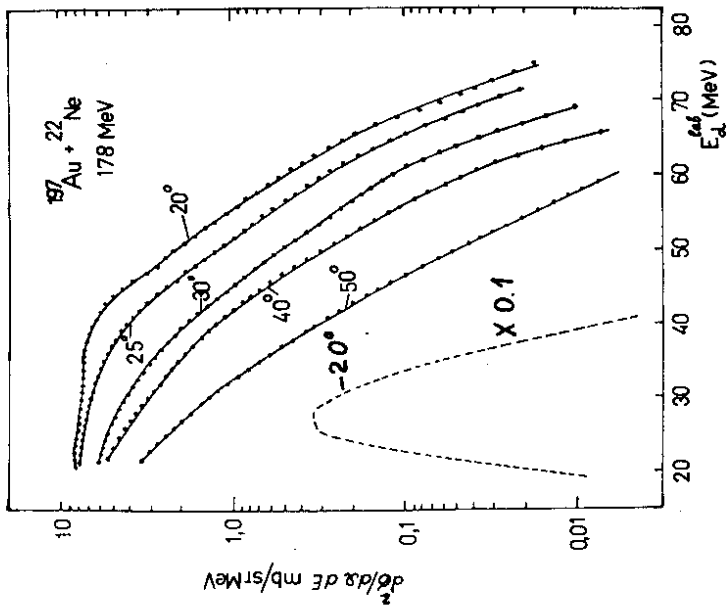


Рис. 4. Энергетические спектры α -частиц, измеренные под разными углами /точки/. Пунктирной кривой представлен расчетный спектр испарительных α -частиц.

На рис. 4 показаны энергетические спектры α -частиц, измеренные под разными углами. На этом же рисунке приведен расчетный спектр испарительных α -частиц в лабораторной системе координат. Расчет выполнен по программе Groggi³ с учетом только первой ступени испарительного каскада в предположении об испарении α -частицы из составного ядра ^{219}Ac , имеющего энергию возбуждения 109 МэВ. Экспериментальные спектры по форме существенно отличаются от расчетного. Как видно из рисунка, экспериментальные спектры α -частиц под малыми углами более жестки по сравнению с испарительными, и достигают в нашем случае энергии 80 МэВ. Это подтверждает ранее известный факт о значительном увеличении выхода α -частиц в передних углах в реакциях с тяжелыми ионами по сравнению с выходом испарительных α -частиц.

На рис. 5 показан спектр α -частиц в совпадении с двумя осколками деления, образующимися в реакции $^{22}\text{Ne} + ^{197}\text{Au}$ / $E_L = 178$ МэВ, $\theta_\alpha = 20^\circ$ /. Спектр кинетических энергий осколков деления ядра ^{215}Fr , образующегося после вылета α -частицы /в совпадении с α -частицей/, представлен на рис. 6. Для сравнения здесь же дается измеренный нами спектр кинетических энергий осколков двойного деления составного ядра Ac, образующегося в реакции $^{22}\text{Ne} + ^{197}\text{Au}$. Оба спектра по форме также не различаются, что и можно было ожидать для деления ядер с достаточно высокими энергиями возбуждения. Полученное в результате обработки кинетической энергии массовое распределение осколков деления ^{215}Fr имеет форму гауссиана с максимумом, соответствующим $(A_c - 4)/2 = 107$ и полушириной 30 а.е.м., что также соответствует результатам,

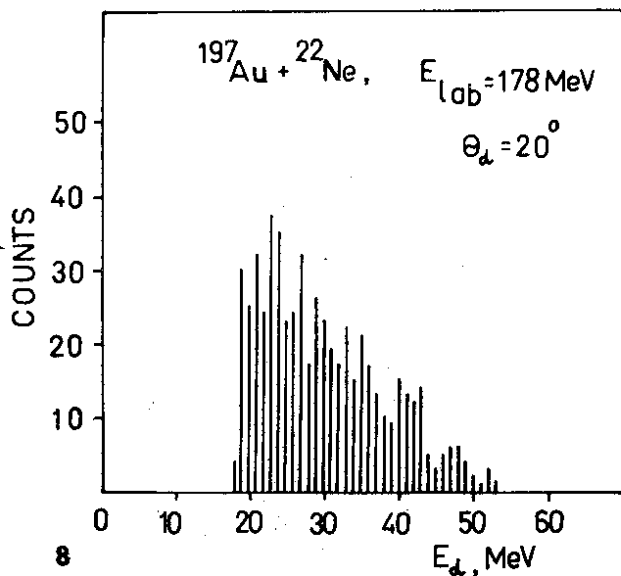


Рис. 5. Спектр α -частиц в совпадении с двумя осколками деления.

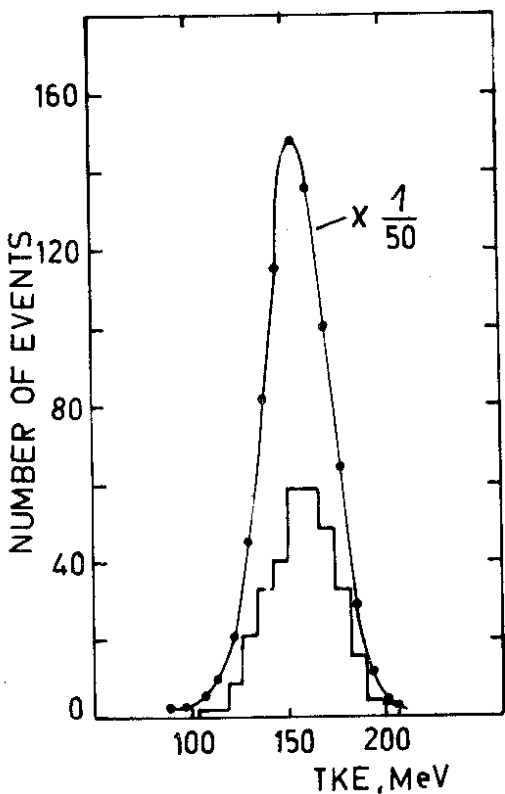


Рис. 6. Спектры полной кинетической энергии осколков деления остаточного ядра ^{215}Fr в совпадении с α -частицами /гистограмма/ и осколков двойного деления составного ядра ^{219}Ac /сплошная кривая/.

полученным для деления составных ядер ^{137}I . На рис. 7 представлено угловое распределение дифференциальной множественности $\frac{dM}{d\Omega}$ α -частиц /нижняя кривая/; на этом же рисунке показано угловое распределение α -частиц с энергией $E_\alpha = 25$ МэВ. Множественность $\frac{dM}{d\Omega}$ определяется зависимостью

$$\frac{dM}{d\Omega} = \frac{N_c}{N_f \Delta\Omega_\alpha},$$

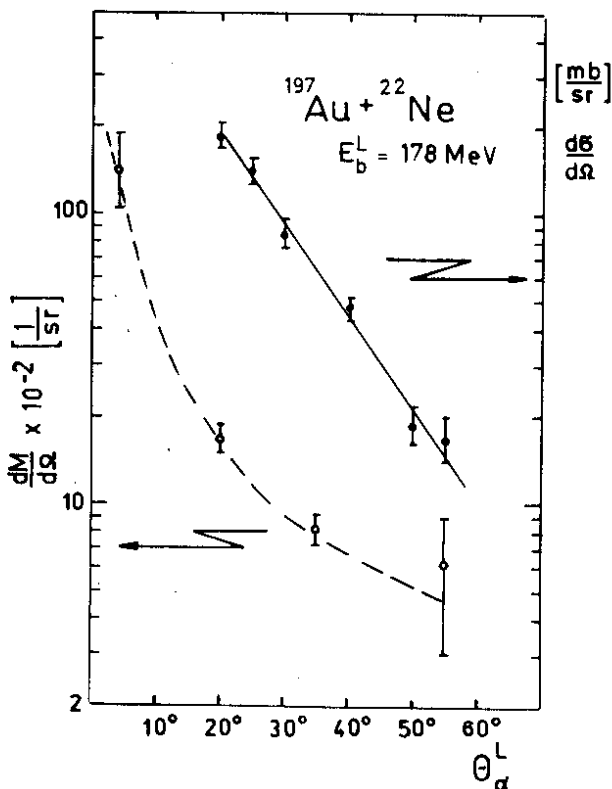


Рис. 7. Угловое распределение дифференциальной множественности, $dM/d\Omega$, α -частиц /нижняя кривая/ и α -частиц, $d\sigma/d\Omega$, с энергией $E_\alpha^{\text{лаб}} > 25$ МэВ /верхняя кривая/.

где: N_c - число тройных совпадений (α, f_1, f_2) , N_f - число двойных совпадений (f_1, f_2) , $\Delta\Omega_\alpha$ - телесный угол α -детектора.

Величина $dM/d\Omega$ представляет собой отношение сечения тройных событий (α, f_1, f_2) $\frac{\partial^2 \sigma}{\partial \Omega_\alpha \partial \Omega_f}(\theta_\alpha, \theta_f)$ к сечению деления $d\sigma/d\Omega_f(\theta_f)$; в этом случае θ_α - угол положения α -детектора, θ_f - угол регистрации осколков деления.

Сечение образования α -частиц, в совпадении с осколками деления $(d\sigma/d\Omega_\alpha)$, можно определить на основании вышеска-

занного, путем интегрирования дифференциальной множественности, умноженной на дифференциальное сечение деления

$$\frac{d\sigma}{d\Omega_\alpha} = 2\pi \int_0^\pi \left(\frac{dM}{d\Omega} \right)_{\text{см}} \frac{d\sigma}{d\Omega_f}(\theta_f) \sin\theta_f d\theta_f. \quad /1/$$

Это интегрирование справедливо в предположении о независимости вылета α -частиц от направления оси деления.

Считая, что при энергии ионов ^{22}Ne $E = 178$ МэВ, сечение деления достигает $\sim 30\%$ от полного сечения реакции, а также предполагая, что продукты деления имеют в системе центра инерции угловое распределение пропорционально

$\frac{1}{\sin\theta_f}$, можно определить, с помощью выражения /1/, что для угла $\theta_\alpha = 4^\circ$, около 100% α -частиц, а для угла $\theta_\alpha = 20^\circ$ - около 50% - связано с осколками деления остаточного ядра.

Таким образом, на основании полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. В реакции $^{197}\text{Au} + ^{22}\text{Ne}$ с наибольшей вероятностью образуются α -частицы, выход которых существенно выше выхода других частиц.

2. Энергетический спектр наблюдаемых α -частиц существенно отличается от спектра испарительных α -частиц в области больших энергий, где он достигает в данном случае значения 80 МэВ.

3. Более 50% наблюдаемых α -частиц совпадает с осколками деления остаточного ядра.

4. Угловое распределение α -частиц имеет резкую направленность вперед.

5. Большие энергии α -частиц по сравнению с ожидаемыми по испарительной модели, их направленность вперед, уменьшение множественности α -частиц с ростом угла свидетельствуют о быстром механизме образования α -частиц, совпадающих с осколками деления.

В заключение авторы выражают признательность Г.Н.Флерову за постоянный интерес к работе и ценные советы в процессе ее выполнения. Мы благодарны также В.И.Бунакову, В.Д.Тоневу и Б.И.Пустыльнику за полезные обсуждения, В.Ф.Кушнируку и Ю.П.Харитонову - за изготовление полупроводниковых детекторов, Л.П.Челнокову - за помощь в создании электронной аппаратуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Britt H.C., Quinton A.R. Phys.Rev., 1961, 124, p.877.
2. Капусцик А. и др. ЯФ, 1967, т.6, вып.6, с.1142.
3. Grover J.R., Gilat J.Phys.Rev.,1967,157, p.802,814,823.
4. Lukjanov V.K., Petkov I.Z.Nucl.Phys., 1963, 49, p.529.
5. Siwek-Wilczynska K. et al. Proc. Int. Workshop on Gross Properties of Nuclei and Nuclear Excitations VII, Hirschegg, Austria, Jan. 15-27, 1979; Phys.Rev.Lett., 1979, 42, p.1599.
6. Inamura T. et al. Phys.Lett., 1977, 68B, p.51.
7. Но Н. et al. Z.Physik., 1977, 283, p.235.
8. Gamp A. et al. Phys.Lett., 1978, 74B, p.215.
9. Bhowmik R.K. et al. Phys.Lett., 1978, 80B, p.41.
10. Zolnowski D.R. et al. Phys.Rev.Lett., 1978, 41, p.92.
11. Зодан Х. и др. ОИЯИ, Р7-10671, Дубна, 1977.
12. Northcliffe L.C., Schilling R.F. Nucl.Data, 1970, A7, p. 233.
13. Oganessian Yu., Penionzhkevich Yu. Journ. de Phys., 1970, 31 (259).
14. Sikkeland T. Phys.Rev., 1964, 135, B669.

Рукопись поступила в издательский отдел
5 октября 1979 года.