

СЕЧЕНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ НЕЙТРОНОДЕФИЦИТНЫХ ИЗОТОПОВ At В РЕАКЦИИ $^{181}\text{Ta} + ^{26}\text{Mg}$

А.Н.Андреев, Д.Д.Богданов, А.В.Еремин, А.П.Кабаченко,
О.Н.Малышев*, Ю.А.Музычка, Б.И.Пустыльник,
Г.М.Тер-Акопьян, В.И.Чепигин

Проведены эксперименты по измерению сечений (xn)-каналов в реакции $^{181}\text{Ta} + ^{26}\text{Mg}$. Получены данные о значениях сечений с испарением нейтронов в области энергий возбуждения составного ядра от 53 до 92 МэВ. Проведено сравнение экспериментальных результатов с модельными расчетами, выполненными на основе статистической модели ядра по модифицированной программе ALICE. Получено хорошее согласие расчета с экспериментом.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Cross Sections of the Production of the Neutron-Deficient Isotopes of At in the Complete-Fusion Reaction $^{181}\text{Ta} + ^{26}\text{Mg}$

A.N.Andreyev et al.

Experiments have been carried out to measure the (xn)-channel cross sections in the reaction $^{181}\text{Ta} + ^{26}\text{Mg}$. Data on the cross sections of the $4n\div 7n$ channels have been obtained for the compound nucleus excitation energies ranging from 53 to 92 MeV. The results obtained are compared with the model calculations using modified program ALICE. It is shown that the calculated results agree fairly well with experimental ones.

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

Интерес к изучению сечений образования продуктов полного слияния с $85 \leq z \leq 95$ в реакциях с тяжелыми ионами обусловлен тем, что эта область является переходной по отношению к такому важному фактору как делимость ядра. В этой области ядер происходит уменьшение жидкокапельного барьера деления от $\cong 10$ МэВ

*Институт ядерных исследований АН СССР, Москва

для нейтронодефицитных изотопов Po-At до $\cong 2,5$ МэВ для нейтронодефицитных изотопов Pu-Am. Именно с этим обстоятельством обычно связывают резкое уменьшение сечений (χn)-реакций: от десятков миллибарн для Po-At до долей микробарна для U-Pu¹⁻³.

Хорошим объектом для исследования поведения сечений (χn)-реакций в зависимости от степени нейтронного дефицита в этой области ядер являются изотопы At. Так как жидкокапельный барьер деления для этих ядер еще достаточно высок, то можно рассчитывать, что его уменьшение с уменьшением массового числа не скажется сильно на сечениях исследуемых реакций. Накопление экспериментальных данных по абсолютным сечениям реакций представляет интерес как для банка ядерных данных, так и для уточнения теоретических моделей ядерных реакций в данной области.

Экспериментальная методика

Работа проводилась на циклотроне У-400 ЛЯР ОИЯИ. В экспериментах использовался выведенный пучок ^{26}Mg с энергиями 136 и 164 МэВ. Интенсивность пучков на физической мишени диаметром 12 мм составляла $(3\div 6) \cdot 10^{11}$ част./с, энергетический разброс $1,0\div 1,5$ %. Блок-схема эксперимента приведена на рис.1. Изменение энергии бомбардирующих ионов с шагом $3\div 6$ МэВ проводилось с помощью алюминиевых и титановых поглотителей. Энергия пучка после прохождения поглотителей контролировалась по энергии ионов, рассеянных на тонкой (200 мкг/см^2) золотой фольге на угол 30° . Измерения проводились поверхностно-барьерным полупроводниковым детектором (ППД). В качестве мишени

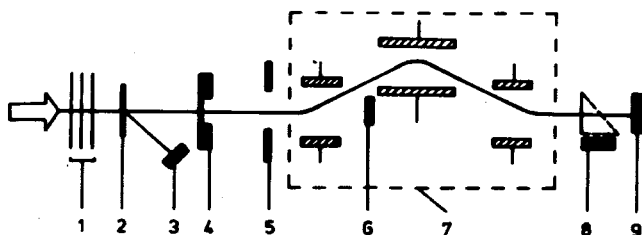


Рис.1. Блок-схема экспериментальной установки. 1 — поглотители, 2 — Au-рассеиватель, 3 — детектор для измерения энергии ионов пучка, 4 — мишень, 5 — входная диафрагма, 6 — цилиндр Фарадея, 7 — сепаратор, 8 — времяпролетные детекторы, 9 — полупроводниковый детектор.

использовалась прокатанная фольга из тантала толщиной $0,8 \text{ мг/см}^2$. Толщина мишени определялась взвешиванием. Состав и однородность по площади контролировались методом рентгенофлюоресцентного анализа. Точность в определении толщины рабочей мишени была не хуже 10%.

Отделение продуктов реакций полного слияния от пучка и продуктов реакций передач осуществлялось с помощью кинематического сепаратора ВАСИЛИСА^{4,5}, в котором происходит разделение продуктов реакций по электрической жесткости.

Детектирующая система состояла из двух времяпролетных детекторов на основе микроканальных пластин и полупроводникового детектора, изготовленного методом ионной имплантации. Детектор был разделен на восемь независимых полос. За счет охлаждения детектора энергетическое разрешение каждой полосы было не хуже 25 кэВ. Электронная аппаратура позволяла получить для каждого детектора данные об энергиях и времени пролета ядер отдачи, времени их прихода в детектор, энергии и времени α -распада нуклидов, "вбитых" в детектор.

Измерения эффективности сепаратора проводились непосредственно в каждом эксперименте. Для этого после рабочей мишени устанавливался алюминиевый сборник с толщиной $\cong 1,8 \text{ мг/см}^2$, который после 10-15-минутного облучения переносился за время $\cong 30 \text{ с}$ без нарушения вакуума к полупроводниковому детектору, расположенному в мишениной камере на расстоянии $\cong 20 \text{ см}$ от мишени. В промежуток времени $\cong 15 \text{ мин}$ проводилось измерение распада для "вбитой" в сборник активности. Аналогичное измерение проводилось для активности, "вбитой" в детектирующее устройство после сепаратора. Сравнение данных для сборника и детектирующего устройства позволяло определить эффективность сепарации с точностью $\pm 25\%$ по активностям с периодом полураспада $\geq 1 \text{ мин}$.

Результаты экспериментов

Идентификация наблюдаемых в эксперименте нуклидов проводилась по энергиям α -переходов и периоду полураспада для долгоживущих активностей. Энергии α -переходов для изотопов At в этой области масс хорошо известны, и поэтому излучатели идентифицируются сравнительно просто. Значения α -вилок, необходимые для вычисления сечений, брались из¹⁶. Полученные значения сечений приведены в таблице. При расчетах энергии

Таблица. Функции возбуждения для (xn)-каналов, полученные в реакции $^{181}\text{Ta} + ^{26}\text{Mg}$

E* МэВ	Сечение, мб			
	4n	5n	6n	7n
53,0	10	2		
56,0	14	15		
60,0	7	28		
62,0	7	39	1	
68,0	2	37	6	
69,0	1,6	25	10	
73,0	0,7	13	20	1
80,0		0,7	11	7,5
87,0			3	12
92,0			1	8

возбуждения составного ядра энергия пучка считалась равной энергии пучка на выходе из мишени. Потери в мишени учитывались по таблицам¹⁷. Для расчета величины Q реакции использовались таблицы масс¹⁸. Статистическая ошибка

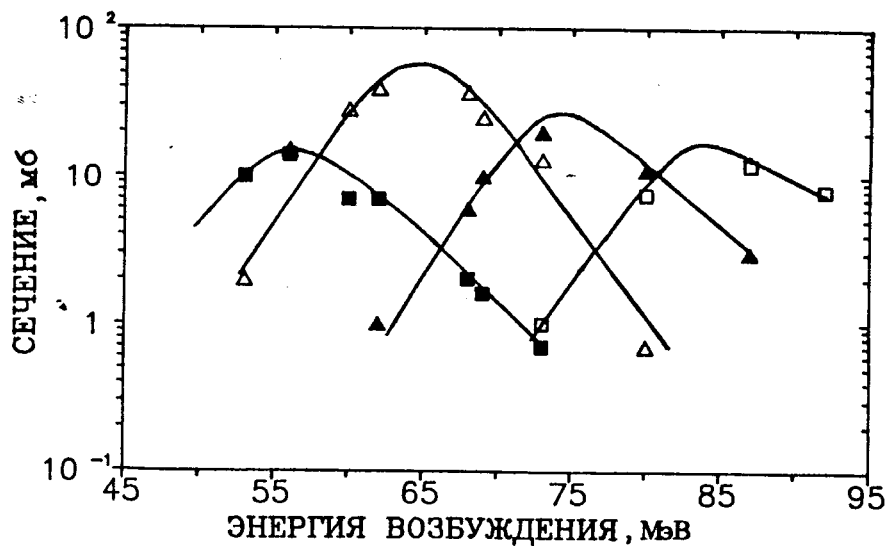


Рис.2. Функции возбуждения для (xn)-каналов реакции $^{181}\text{Ta} + ^{26}\text{Mg}$.
 ■, △, ▲, □ — 4, 5, 6, 7n реакции соответственно.

для большинства результатов не превышает 5%, и точность полученных значений сечений определяется точностью измерения эффективности сепарации, толщины и однородности мишени, тока пучка. Контроль, проведенный по воспроизводимости результатов в отдельных измерениях, показал, что экспериментальная точность составляет $\pm 20\%$ для зависимости относительного выхода нуклида с изменением энергии пучка и $\pm 40\%$ для значений абсолютных сечений. На рис.2 показан вид функций возбуждения для отдельных (xn)-каналов в реакции $^{181}\text{Ta} + ^{26}\text{Mg}$. Полученные в эксперименте значения сечений также приведены в таблице.

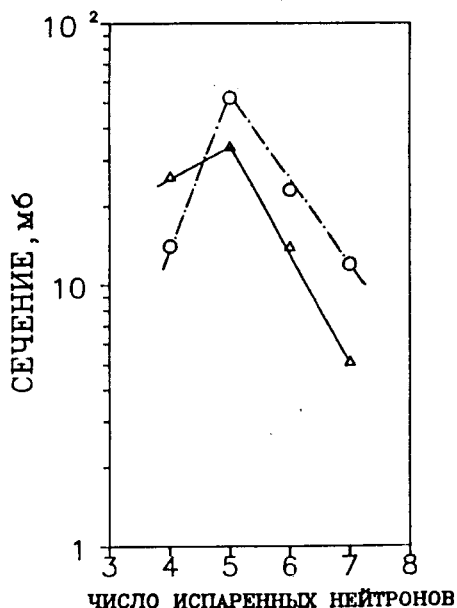
Обсуждение результатов

Анализ полученных экспериментальных данных о сечениях (xn)-каналов реакции был выполнен на основе статистического рассмотрения процесса девозбуждения образующихся составных ядер. Расчет проводился с помощью модифицированной программы ALICE^{9/} аналогично методике, описанной в работе^{10/}. В работе^{10/} выполнены расчеты и экспериментально измерены сечения (xn)- и (p, xn)-каналов реакций полного слияния $^{181}\text{Ta} + ^{24}\text{Mg}$ и $^{165}\text{Ho} + ^{40}\text{Ar}$. Полагалось, что барьер деления, величину которого нужно вычитать из энергии возбуждения ядра в седловой точке, определяется формулой

$$V_f(l) = C \cdot V_f^{\text{cps}}(l) + \Delta V_f(Z, A),$$

где $V_f^{\text{cps}}(l)$ — барьер деления в модели вращающейся заряженной капли^{11/}; C — свободный параметр; $\Delta V_f(Z, A)$ — оболочечная поправка к барьеру деления составного ядра,

Рис.3. Сравнение экспериментальных (○) и расчетных (Δ) значений поперечных сечений в (xn)-канале для реакции $^{181}\text{Ta} + ^{26}\text{Mg}$. При расчетах бралось $C = 0,9$.



равная разности экспериментального и жидкокапельного значений масс ядра. Проводились расчеты и в предположении, что $\Delta V_f = 0$. В работе^{/10/} было показано, что удовлетворительное согласие экспериментальных данных с расчетными получается при $C = 0,9$ и $\Delta V_f = 0$, что соответствует уменьшению барьера деления на 1 МэВ. Использование этих параметров для расчета (хп)-каналов реакции $^{181}\text{Ta} + ^{26}\text{Mg}$ также дает хорошее согласие с результатами эксперимента.

На рис.3 кружками отмечены экспериментальные значения сечений (хп)-каналов в максимумах соответствующих функций возбуждения для реакции $^{181}\text{Ta} + ^{26}\text{Mg}$. Расчетные значения обозначены треугольниками.

Заклучение

В реакции $^{181}\text{Ta} + ^{26}\text{Mg}$ в широком диапазоне энергий получены экспериментальные данные по сечениям (хп)-реакций вплоть до $x = 7$. Проведен теоретический расчет с применением статистического подхода. Показано, что используемый метод расчета хорошо описывает сечения испарительных реакции полного слияния в области At-Po.

Литература

1. Sahm C.-C. et al. — Nucl. Phys., 1985, A441, p.316.
2. Андреев А.Н. и др. — Ядерная физика, 1989, т.50, вып.9, с.619.
3. Gaggeler H.W. et al. — GSI-Bericht, 1989, No.29.
4. Yeremin A.V. et al. — NIM, 1989, A274, p.528.
5. Yeremin A.V. et al. — JINR Preprint, E15-90-347, Dubna, 1990.
6. Westmeier W., Merklin A. — Cathalog of Alpha-Particles from Radioactive Decay. Karlsruhe, 1985, No.29-1.
7. Northcliff R.L., Shilling R.F. — Nucl. Data Tables, 1970, A7, p.233.
8. Zeldes N. et al. — Mat. Fis. Scr. Dan. Vid. Selsk 3, 1967, No.5.
9. Музычка Ю.А., Пустыльник Б.И. — Препринт ОИЯИ, ДЗ-83-644, Дубна, 1983.
10. Andreev A.N. et al. — JINR Preprint, E7-89-809, Dubna, 1989.
11. Cohen S., Plasil F., Swiatecki W. — Ann. Phys., 1974, No.82, p.557.

Рукопись поступила 30 августа 1990 года.