



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

Н.С. Мальцева, В.Н. Рыбаков

P-1464

ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИИ ($p, p\pi^+$) НА ^{118}In
ЖЭТФ, 1964, т.46, в.5,
стр. 1911-1912.

Дубна 1963

Н.С. Мальцева, В.Н. Рыбаков

P-1464

2178/2 чр
ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИИ ($p, p\pi^+$) НА In^{115}

Направлено в ЖЭТФ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Дубна 1963

Настоящая работа является продолжением цикла радиохимических исследований этого типа реакции на других ядрах^{1,2/}. Изучение этого процесса на In^{115} удобно благодаря тому, что индий почти моноизотопен (в природном индии кроме In^{115} содержится еще 4,3% In^{113}), его можно получить очень чистым по отношению к содержанию опасных для нас более тяжелых элементов и продукты данной реакции можно наблюдать сравнительно легко. Возможность наблюдения конечных продуктов, находящихся в основном (Cd^{115}) и изомерном (Cd^{115m}) состояниях, дает дополнительную информацию о механизме процесса, связанного с передачей момента количества движения.

В литературе известны сведения о сечениях ($p, p\pi^+$) реакции на In^{115} в области энергий протонов в несколько Гэв^{3,4/}; известны также теоретические исследования механизма этого процесса на различных ядрах^{5,6/}, и нам кажется особенно актуальным изучение этой реакции в области сравнительно небольших энергий протонов: от порога до 880 Мэв, т.е. в области, наиболее важной для проверки справедливости теории.

Постановка эксперимента

Идеальным опытом для изучения реакции ($p, p\pi^+$) был бы опыт с облучением очень тонкой индиевой фольги, что дало бы возможность свести к минимуму вклад от вторичной реакции (n, p). Однако трудности надлежащего выбора интенсивности пучка протонов (опасность расплавить индиевую фольгу), а также трудности измерения малых активностей выделяемой фракции кадмия в этом случае заставили нас пойти по второму пути. Мы облучали толстые мишени, а вклад конкурирующей вторичной реакции (n, p) оценивали при энергии протонов 130 и 200 Мэв. В качестве мишени для облучений использовался металлический индий высокой степени чистоты^{x)}, запаянный в кварцевую ампулу с внутренним диаметром - 3 мм, высотой - 30 мм и толщиной стенок - 0,6 мм. В такой ампуле находилось около 1 г индия. В каждом облучении применялись 2-3 ампулы, которые закреплялись в специальном держателе. Для мониторинга пучка протонов каждая из ампул заворачивалась в алюминиевую фольгу толщиной 25 мкм. Облучение мишеней проводилось на внутреннем пучке протонов синхроциклотрона Лаборатории ядерных проблем и длилось обычно 0,5-1 час. Изменение энергии протонов достигалось постановкой мишени на различные радиусы орбиты ускоряемых частиц.

^{x)} Спектральный анализ показал наличие следующих загрязнений: Си менее $2 \times 10^{-5}\%$, Ni - $4 \times 10^{-5}\%$, Pb - менее $2 \times 10^{-5}\%$, Fe - $5 \times 10^{-5}\%$, Sn менее $10^{-4}\%$, Ag - менее $10^{-4}\%$, Pв - $2 \times 10^{-4}\%$, Cd - менее $10^{-4}\%$.

Для того, чтобы избавиться от посторонних сравнительно короткоживущих изотопов, которые могут присутствовать в выделяемой фракции и снизить уровень радиационной нагрузки, мишень после облучения "остывала" в течение 24 ч, после чего подвергалась химической обработке. Индий из каждой ампулы растворялся в 10 мл конц. HCl вносился носитель кадмия (10-15 мг) и удерживающие носители (следы As, Cu, Ca, Sn, Fe, V, Pd и др.). Осаждалась гидроокись индия аммиаком (1:1) и выпавший осадок удалялся фильтрованием через стеклянный фильтр № 4. В фильтрате осаждался сульфид кадмия с помощью H₂S. Выпавший осадок центрифугировался, промывался и растворялся в минимальном объеме конц. HCl. Далее проводилось хроматографическое выделение на анионите Дауэкс 1x8 путем использования специфичности поведения ионов кадмия^{7,8,9/}. Окончательным этапом выделения являлось осаждение фосфата CdNH₄PO₄ · H₂O^{10/}. Осадок центрифугировался, промывался водой и переносился на заранее взвешенную фильтровальную бумагу, промывался спиртом, сушился при 383°K и взвешивался. Химический выход составлял обычно 40-60%. Время выделения 2-3 ч.

Образцом для измерений активности фракции кадмия служил диск из фосфата кадмия диаметром 1 см на фильтровальной бумаге, завернутый в кальку. Измерения производились на стандартном торцевом счетчике МСТ-17, помещенном в свинцовую защиту, в течение 10-12 месяцев, со статистической ошибкой отдельного измерения не более 2%. При этом наблюдались следующие периоды полураспада: 6-8 ч, 56±2 ч^{x)}, 44,6±1,8 дня^{x)} и компонента с периодом полураспада более года. Типичная кривая спада активности и ее разложение приведены на рис. 1. Кроме этого определялась максимальная энергия β-излучения по поглощению в алюминии для компонент 55 ч и 44 дня, которая оказалась равной соответственно 1,16±0,1 и 1,4±0,2 Мэв. Сравнимые полученные результаты с табличными данными^{10/}, можно утверждать, что в выделенной фракции кадмия присутствуют следующие изотопы: Cd¹⁰⁷, Cd¹¹⁵, Cd^{115m}, по-видимому, Cd^{113m}. Радиоактивность Na²⁴, выделенного из алюминиевой мониторинговой фольги, измерялась в аналогичных условиях. В этом случае наблюдалась главная компонента с периодом полураспада 15-15,5 ч.

Величины сечений образования Cd¹¹⁵ и Cd^{115m} определялись по следующей формуле:

$$\sigma_{Cd} = \frac{A'_{Cd} \cdot A_{In} \cdot P_{Al} (1 - e^{-\lambda_2 t})}{A'_{Na^{24}} \cdot A_{Al} \cdot \eta \cdot P_{In} (1 - e^{-\lambda_1 t})} \times \sigma_{Na^{24}}$$

где σ_{Cd} - сечение образования соответствующего изотопа кадмия в см²; A'_{Cd} - активность изотопа кадмия к моменту конца облучения; $A'_{Na^{24}}$ то же для Na²⁴; A_{In} и A_{Al} - атомные веса индия и алюминия, соответственно; η - химический выход кадмия из мишени In; P_{Al} - вес алюминия в граммах, взятого для измерения активности Na²⁴; P_{In} - вес индия в ампуле в граммах; λ - постоянная распада соответствующего изо-

x) Указанная погрешность - средняя ошибка отдельного измерения.

топа кадмия (1/сек); λ_2 - то же для Na²⁴ (1/сек); t - время облучения в сек; $\sigma_{Na^{24}}$ - поперечное сечение образования Na²⁴ по реакции $Al^{27}(p, \alpha n) Na^{24}$ в см².

Величины сечений для Na²⁴ в зависимости от энергии протонов брались из обзора Брюнина^{11/}.

Так как индий не моноизотопен, вносилась соответствующая поправка, учитывающая содержание In¹¹⁵ в природной смеси. В связи с тем, что облучения индия производились в ампулах, были проделаны контрольные опыты по проверке правильности мониторингования. С этой целью внутрь кварцевых ампул вместо индия помещался алюминий и после облучения сравнивалась удельная активность Na²⁴ во внутреннем и внешнем мониторах. При этом оказалось, что удельная активность внутреннего монитора при $E_p = 130$ Мэв на 24,6±9,4%^{x)}, а при $E_p = 660$ Мэв на 24,8±8,4%^{x)} меньше внешнего. Поэтому при определении сечений при всех энергиях мы вводили поправку, равную 25%, которая учитывает систематическое увеличение активности внешнего монитора, принимаемого нами за истинное значение. Результаты измерений сечений образования Cd¹¹⁵ и Cd^{115m} в зависимости от энергии протонов представлены в таблице 1. Приведенные погрешности - средние ошибки отдельных измерений. В трех случаях проводилось разложение кривой спада активности на электронной вычислительной машине по методу наименьших квадратов^{xx)} (данные в скобках). При этом заранее задавались значения постоянных распада компонент согласно^{10/} и количество определяемых компонент. В приведенных случаях χ^2 было минимальным, что свидетельствует о надежности разложения. Совпадение результатов разложения на электронной вычислительной машине с нашими, может говорить о правильности разложения при ручной обработке.

Из данных таблицы 1 видно, что сечения образования как Cd^{115m}, так и Cd¹¹⁵ увеличиваются с ростом энергии протонов, примерно в 2,5 раза от 130 до 660 Мэв. Поскольку при энергии протонов 130 Мэв рождение π⁺-мезонов происходит не может, а сечения образования Cd^{115m} и Cd¹¹⁵ при $E_p = 130$ и 200 Мэв в пределах ошибки измерения совпадают, мы считаем, что эти величины сечений образования обоих изотопов кадмия можно отнести за счет осуществления конкурирующей вторичной реакции (n, p). Это становится более понятным, если учесть, что мишени для облучений были толстыми. Предполагая, что вклад от (n, p) реакции не будет зависеть от энергии протонов, мы можем получить сведения о (p, pπ⁺) реакции, если вычтем из найденных значений величины сечений Cd^{115m} и Cd¹¹⁵ при $E_p = 200$ Мэв (колонка 6 и 7). Следовательно, мы можем экспериментально определить отношение сечений Cd^{115m} и Cd¹¹⁵ в двух реакциях (n, p) при $E_p = 130$ и 200 Мэв и (p, pπ⁺) при более высоких энергиях. Эти сведения приведены в колонке 9 таблицы 1.

x) Указанная погрешность - средняя ошибка отдельного измерения.

xx) Авторы благодарят Е.А. Логинову и Н. Ширикову за помощь в проведении вычислений.

Т а б л и ц а 1

Экспериментальные данные о сечениях реакции $(p, p\pi^+)$ на In^{115} .

Энергия протонов, Мэв	σ в 10^{-27} см ²		Среднее значение		Сечение реакции $(p, p\pi^+)$ в 10^{-27} см ²		Суммарное сечение $(p, p\pi^+)$ реакции 10^{-27} см ²	$\sigma_{Cd^{115m}}$	$\sigma_{Cd^{115}}$
	Cd^{115m}	Cd^{115}	Cd^{115m}	Cd^{115}	Cd^{115m}	Cd^{115}			
130	0,054 (0,065± 0,003)	0,031 (0,024± 0,0005)	0,065± 0,012	0,031					2,1
	0,077 (0,068± 0,015)	0,031 (0,028± 0,002)							
200	0,074	0,032	0,068± 0,004	0,029± 0,002					2,35
	0,066	0,030							
	0,064	0,026							
300	0,140	0,060	0,113± 0,018	0,046± 0,009	0,045± 0,022	0,017± 0,011	0,062± 0,033		2,65
	0,093	0,039							
	0,106	0,039							
	(0,14± 0,02)	(0,047± 0,004)							
400	0,176	0,064	0,139± 0,037	0,055± 0,009	0,071± 0,041	0,026± 0,011	0,097± 0,052		2,73
	0,102	0,046							
500	0,130	0,053	0,142± 0,027	0,065± 0,013	0,074± 0,031	0,036± 0,015	0,110± 0,046		2,05
	0,110	0,053							
	0,175	0,080							
	0,175	0,076							
660	0,180	0,090	0,161± 0,016	0,078± 0,012	0,093± 0,020	0,049± 0,014	0,142± 0,034		1,9
	0,165	0,080							
	0,137	0,065							

Обсуждение результатов

С целью сравнения данных в таблице 2 приведены результаты изучения реакции $(p, p\pi^+)$ на In^{115} , полученные другими авторами. Видно, что сечение образования Cd^{115m} и Cd^{115} , а также их отношение для толстых мишеней остаются примерно такими же в области нескольких Гэв. В двух случаях (для мишени 37 мг/см^2 при $E_p = 1 \text{ Гэв}$ и для $E_p = 30 \text{ Гэв}$) наблюдается увеличение этого отношения.

По-видимому, это можно объяснить экспериментальными трудностями наблюдения малой активности Cd^{115} в этих случаях.

Интересно сравнить результаты, полученные нами для реакции $(p, p\pi^+)$ на In^{115} с данными о такой же реакции на других ядрах в одинаковом интервале энергий протонов (130-880 Мэв). Для этого на рис. 2 приведены такие сведения на ядрах $Al^{27/2}$, $Cu^{65/12,13}$, $Co^{59/14}$, In^{115} (настоящая работа), деленные на число протонов ядра-мишени. Видно, что наблюдается систематическое уменьшение роста сечений в зависимости от заряда. Это может быть обусловлено различным поглощением конечных продуктов наблюдаемой реакции в ядре-мишени.

Т а б л и ц а 2

Экспериментальные сечения реакции $In^{115}(p, p\pi^+)Cd^{115m,115}$ в области нескольких Гэв

Энергия протонов Гэв	$\sigma_{Cd^{115m}}$	$\sigma_{Cd^{115}}$	$\frac{\sigma_{Cd^{115m}}}{\sigma_{Cd^{115}}}$	Толщина мишени мг/см^2	Литература
	в 10^{-27} см^2	в 10^{-27} см^2			
1,0	0,13	0,03	4,33	37	/3/
2,0	0,145±0,001	0,06±0,01	2,4	97	/3/
4,1	0,15±0,02	0,066±0,001	2,28	97	/3/
	0,06	0,05	1,2	26	
6,2	0,147±0,006	0,071±0,004	2,07	97	/3/
	0,24	0,13	1,85	476	
2,9	0,13 ^{x)}	0,048 ^{x)}	2,7		/4/
30	0,10 ^{x)}	0,023 ^{x)}	4,35		/4/

x) Среднее значение данное автором /4/

В настоящее время есть возможность сопоставить экспериментальные результаты с теоретическим расчетом, выполненным Эриксоном и др. /5/, получившим сведения о реакции $(p, p\pi^+)$ из элементарных нуклон-нуклонных и пирч-нуклонных взаимодействий с помощью импульсного приближения. Для сравнения необходимо экспери-

ментальные данные (в 10^{-30} см^2) умножить на фактор $\frac{E}{AB^2}$, где E - коэффициент, учитывающий поглощение конечных продуктов реакции в ядре-мишени; A - массовое число; B - энергия связи нейтрона в ядре.

На рис. 3 представлены теоретическая кривая и все известные экспериментальные результаты для индия. В этом случае фактор E взят равным 15, а энергия связи нейтрона в ядре, согласно /15/, равняется 8,5 Мэв. Сравнение показывает, что экспериментальные данные и теоретический расчет в пределах коэффициента 2-3 совпадают друг с другом, однако согласие могло быть лучшим, если бы была известна зависимость фактора E от энергии протонов.

Авторы благодарят В.Н. Мехедова за интерес к работе и советы, В.А. Халкина, Л.Н. Петрова, А.А. Анциферова, В.К. Исупова за помощь в проведении исследования, В.М. Мальцева за полезную дискуссию.

Л и т е р а т у р а

1. М.Я. Кузнецова, Мин Нам Бук, В.Н. Рыбаков, В.А. Халкин. Радиохимия № 6, 755 (1961).
2. М.Я. Кузнецова, В.Н. Покровский, В.Н. Рыбаков. ЖЭТФ, 42, вып. 6, 1451 (1962).
3. D.R. Nethaway, L. Winsberg, Phys. Rev. 119, No. 4, 1375 (1960).
4. N.T. Porile, Phys. Rev. 128, No. 4, 1916 (1962).
5. T. Ericson, F. Selleri and R.T. Van De Walle, Nuclear Phys. 36, N3 353 (1962).
6. В.С. Барашенков, В.М. Мальцев. Acta Physica Polonica XXII, 173 (1962). Suppl.
7. К.А. Краус, Ф. Нельсон. Доклады иностранных ученых на Международной конференции по мирному использованию атомной энергии. Женева. 1955, химия ядерного горючего, стр. 353. ГОС НТИ хим.лит. Москва, 1956.
8. James R. Devoe and W. Wayne Meinke, Analyt. Chem 31, No 8, 1428 (1959)
9. В.Р. Bayhurst and J.W. Barnes, LA - 1721, 141 (1955).
10. D. Strominger, J.M. Hollander and G.T. Seaborg, Reviews of Modern Physics 30, No. 2, Part 2 (1958).
11. E. Bruninx, High Energy Nuclear Reaction Cross Section, CERN, 1961, 61-1.
12. Fung Si - chang, A. Turkevich, Phys. Rev. 95, No. 1, 175 (1954)
13. А.К. Лаврухина, И.М. Гречищева, Б.А. Хотин. Атомная энергия, 6, № 2, 145 (1959).
14. S. Kaufman, Ch. O. Hower, Bull. Am. Phys. Soc. Series II, V. 7, No. 9, 623 (1962).
15. L.A. Konig, I.R.E. Mattauch, A.H. Wapstra. Nucl. Phys., 31, Np. 1, 18 (1962).

Рукопись поступила в издательский отдел
20 ноября 1963 г.

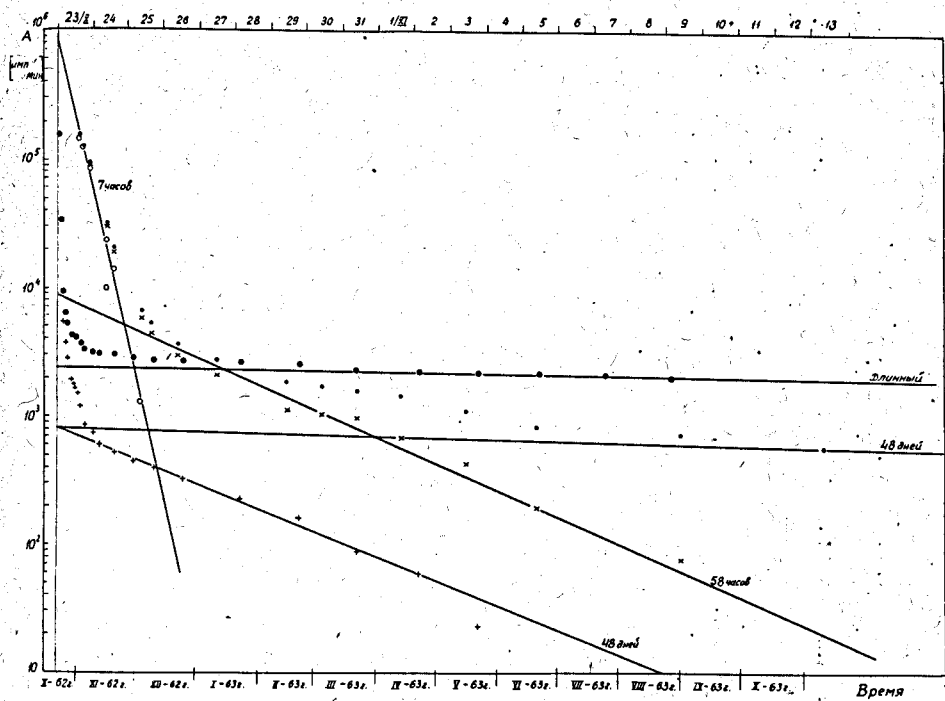


Рис. 1. Типичная кривая спада активности фракции кадмия.

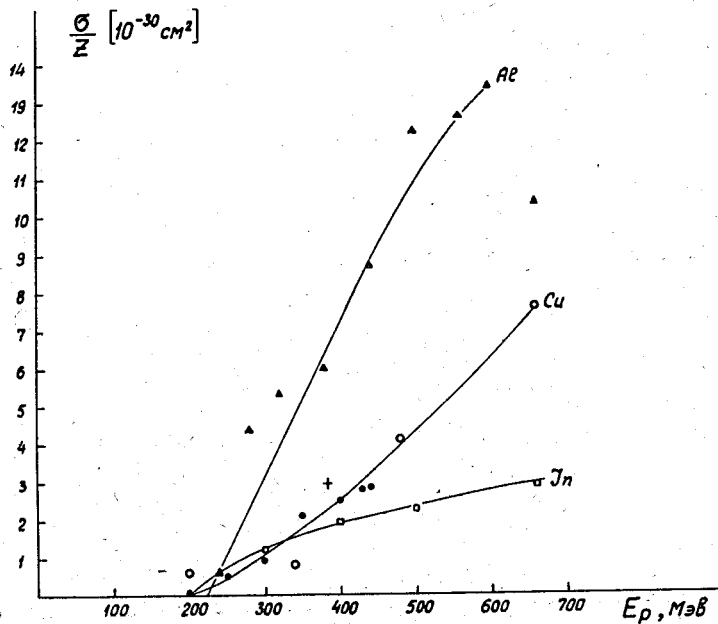


Рис. 2. Экспериментальные данные сечений реакции ($p, p\pi^+$) на различных ядрах.

- ▲ - данные работы /2/
- - данные работы /12/
- - данные работы /13/
- - результаты настоящей работы;
- + - данные работы /14/

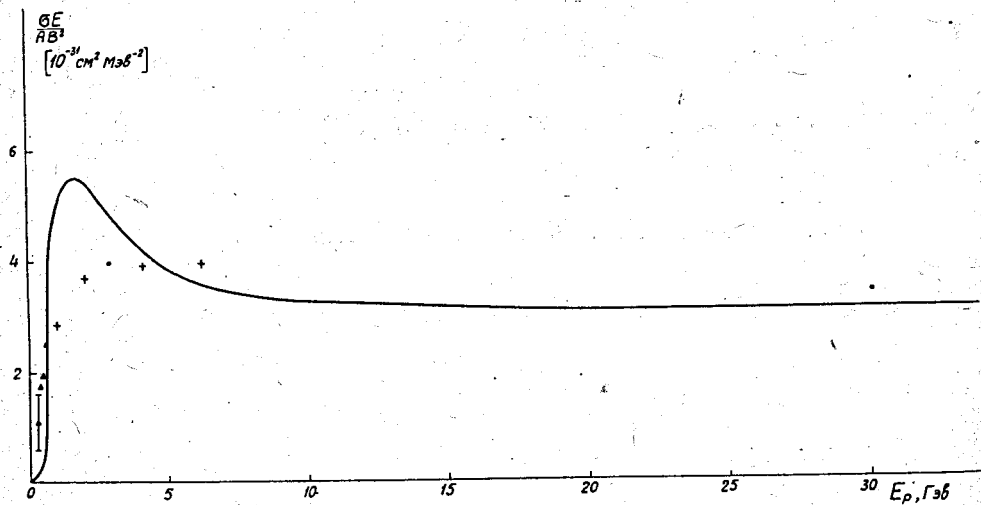


Рис. 3. Сравнение экспериментальные значения сечения реакции ($p, p\pi^+$) на In^{115} с теоретическим расчетом.

- ▲ - данные настоящей работы;
- + - данные работы /3/;
- - данные работы /4/