



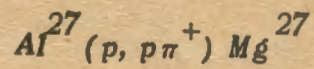
ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

М.Я. Кузнецова, В.Н. Покровский, В.Н. Рыбаков

P-879

ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИИ

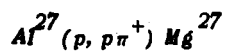


Дубна 1962 год

М.Я. Кузнецова, В.Н. Покровский, В.Н. Рыбаков

P-879

ИЗУЧЕНИЕ РЕАКЦИИ



Направлено в ЖЭТФ

1338/4 чр.

СИБИРСКИЙ ЦЕНТР

При изучении ядерных реакций, происходящих под действием протонов высоких энергий, в последнее время большое внимание уделяется так называемым "простым" ядерным реакциям, когда ядро-продукт отличается по заряду и массе от ядра-мишени не более, чем на одну единицу^{/1,2/}.

К реакциям указанного типа относится и реакция $(p, p\pi^+)$. Накопление экспериментальных сведений об этой реакции представляет интерес с двух точек зрения. Во-первых, эта реакция, как и другие простые ядерные реакции, должна быть чувствительна к структуре ядра-мишени^{/1/}. Во-вторых, ожидается, что в механизм этой реакции существенный вклад вносят однонезонные взаимодействия^{/3/}.

Сведения об исследованных к настоящему времени реакциях $(p, p\pi^+)$ на различных ядрах приведены в таблице 1. Заметим, что все исследования этой реакции выполнены радиохимическим методом.

Целью настоящей работы являлось изучение функции возбуждения реакции $Al^{27}(p, p\pi^+)Mg^{27}$ в интервале энергий протонов от 130 до 660 Мэв. Выбор алюминия в качестве мишени был обусловлен прежде всего тем, что изучение функции возбуждения реакции $(p, p\pi^+)$ в области легких ядер до сих пор не проводилось. Существенно отметить также возможность получения мишеней высокой степени чистоты и удобство наблюдения продукта реакции. Последнее связано как с моноизотопностью алюминия, так и с тем, что в выделяемой фракции магния присутствует лишь изотоп Mg^{27} .

Т а б л и ц а 1
Сечения реакции $(p, p\pi^+)$

Мишень	Энергия протонов, Мэв	σ мб	Ссылка
Al^{27}	5700	$0,1 \pm 01$	4
Si^{65}	от 100 до 440	0,08 (при 440 Мэв)	5
	от 120 до 660	0,2 (при 660 Мэв)	6
	5700	0,22	7
In^{115}	от 2000 до 6200	$0,21^x)$	8
J^{127}	от 120 до 660	$0,3^{xx}$ (при 660 Мэв)	9
	от 720 до 6200	3^{xx}	10

x) Возможно завышение ~ 25%

xx) Только верхний предел.

Постановка эксперимента

Для облучения использовались образцы алюминия, спектральный анализ которых показал наличие более тяжелых примесей: железа - не более 0,0018%, кремния - не более 0,0016%, меди - не более 0,001%. Указанная степень чистоты мишеней позволяла пренебречь образованием Mg^{27} в результате реакций расщепления изотопов тяжелых загрязнений.

Мишень изготавливалась в виде пластинки размером 7x12 мм и толщиной 0,4 мм. В одном облучении использовались три пластинки, укрепленные на держателе таким образом, что пучок протонов проходил последовательно через все пластинки вдоль стороны 7 мм. Каждая пластинка, во избежание загрязнений завернутая в спектрально-чистую алюминиевую фольгу толщиной $\sim 10 \mu$, использовалась для определения сечения образования Mg^{27} .

Облучение мишеней проводилось на внутреннем пучке протонов синхротрона ОИЯИ и длилось обычно около 15 минут. Изменение энергии протонов достигалось постановкой мишени на различные радиусы орбиты ускоряемых частиц.

После облучения мишени растворялись в 100 мл горячей 20% $NaOH$. Раствор разбавлялся водой до 5% по $NaOH$ и фильтровался через стеклянный фильтр типа "Sin fr S-3," покрытый фильтровальной бумагой. Образовавшийся при облучении магний практически полностью сорбировался бумагой и фильтром^{/11,12/}. Они промывались 20 мл 5% $NaOH$ и затем водой до отрицательной реакции на ионы гидроксила. Магний смывался 7 мл 1N HCl в стеклянную пробирку диаметром 18 мм. В этом виде препарат магния передавался на измерения. Время выделения составляло 10-15 мин. Химический выход магния, определенный с Mg^{27} в качестве индикатора, оказался равным $93,8 \pm 3,6\%$ ^{x)} (по 8 определениям).

Для мониторинга использовалась реакция $Al^{27}(p, 3pn) Na^{24}$, сечения которой брались из обзора^{/13/}. Применялась методика внутреннего мониторинга, т.е. для измерения активности Na^{24} брался раствор $NaOH$, оставшийся после выделения Mg^{27} . Для сохранения геометрии измерений использовалась алиquotная часть раствора $NaOH$ (7 мл).

x) Указанная погрешность является средней ошибкой отдельного измерения.

Активности препаратов Mg^{27} и Na^{24} измерялись на сцинтилляционном γ -спектрометре с кристаллом $NaJ(Tl)$ размером 40x40 мм и многоканальным анализатором АМА-ЗС^{/14/}. Во фракции магния было установлено наличие только изотопа Mg^{27} , идентифицированного как по периоду полураспада (9,5 мин), так и по энергиям γ -линий (835 и 1015 Кэв) в полном согласии с табличными данными^{/15/}.

Определение сечения образования Mg^{27} производилось по формуле:

$$\sigma_{Mg} = \frac{S_{835} \cdot \epsilon_{1370} \cdot \eta_{1370} \cdot p \cdot (1 - e^{-\lambda_{Na} \cdot t})}{S_{1370} \cdot \epsilon_{835} \cdot \eta_{835} \cdot m \cdot (1 - e^{-\lambda_{Mg} \cdot t})} \sigma_{Na}$$

где S_{835} - число импульсов в фотопике линии $E_{\gamma} = 835$ Кэв Mg^{27} (на конец облучения); S_{1370} - то же для линии $E_{\gamma} = 1370$ Кэв Na^{24} ; $\frac{\epsilon_{1370}}{\epsilon_{835}}$ - отношение фотоэффективностей кристалла для указанных γ -линий; η - абсолютные интенсивности γ -линий, известные из схем распада^{/15/}: $\eta_{1370} = 100\%$, $\eta_{835} = 70\%$; m - химический выход Mg^{27} ; p - доля Na^{24} , взятая для измерений; λ_{Mg} и λ_{Na} - постоянные распада Mg^{27} и Na^{24} ; t - длительность облучения; σ - сечение реакции $Al^{27}(p, \alpha n) Na^{24}$.

Отношение фотоэффективностей $\frac{\epsilon_{1370}}{\epsilon_{835}}$ было взято из данных градуировки кристалла для квазиточечных источников. Это допустимо, так как относительное изменение фотоэффективности кристалла с энергией γ -лучей слабо зависит от расстояния источника до кристалла^{/16/}. Проверка относительной фотоэффективности для наших условий с помощью известных относительных интенсивностей γ -линий Mg^{27} показала совпадение с градуировкой для квази-точечных источников в пределах 4%.

Результаты опытов

Результаты определения сечения образования Mg^{27} из Al^{27} представлены в таблице 2, в которой для справок даны также сечения реакции $Al^{27}(p, \alpha n) Na^{24}$ по^{/13/}. Приведенные в таблице погрешности - средние ошибки отдельных измерений. В ошибки не входят возможные систематические погрешности, связанные с неточностями принятых схем распада и значений эффективности кристалла, а также ошибки во взятых значениях сечения мониторинг реакции.

Т а б л и ц а 2
Сечения образования Mg^{27} из Al^{27}

Энергия протонов, Мэв	130	200	240	280	320
σ_{Na} , мб	9,9	9,1	9,7	10,5	11,3
σ_{Mg} мб	$0,086 \pm 0,004$	$0,081 \pm 0,040$	$0,094 \pm 0,003$	$0,143 \pm 0,007$	$0,155 \pm 0,012$
	380	440	500	560	600
	11,4	11,2	11,1	11,0	11,0
	$0,164 \pm 0,016$	$0,200 \pm 0,014$	$0,244 \pm 0,008$	$0,250 \pm 0,010$	$0,280 \pm 0,008$
					$0,220 \pm 0,010$

Поскольку при $E_p = 130$ Мэв рождение мезонов происходить не может, ясно, что некоторая доля Mg^{27} получается по вторичным реакциям. Наиболее вероятной вторичной реакцией, приводящей к образованию Mg^{27} , является реакция $Al^{27}(n, p)Mg^{27}$, идущая на вторичных нейтронах.

Для того, чтобы оценить вклад от вторичных реакций, были проделаны опыты по облучению фольг алюминия различной толщины, поставленных перпендикулярно пучку. Опыты были проведены при энергиях протонов 130 и 660 Мэв. Результаты представлены на рис. 1. Из рис. 1 отчетливо видно, что при $E_p = 660$ Мэв действительно происходит образование Mg^{27} по реакции $Al^{27}(p, p\pi^+)Mg^{27}$, тогда как при $E_p = 130$ Мэв образование Mg^{27} целиком обусловлено вторичными реакциями.

Для сравнения вклада от вторичных реакций при этих энергиях протонов из данных при $E_p = 660$ Мэв вычтена величина $\frac{\sigma_{Mg}}{\sigma_{Na^+}} = 2,15$ относительных единиц, соответствующая постоянному вкладу реакции $(p, p\pi^+)$, и полученные значения также нанесены на рис. 1. Видно, что вклад от вторичных реакций в пределах ошибок измерений не зависит от энергии протонов. На этом основании из данных таблицы 2 можно получить сведения о сечении реакции $(p, p\pi^+)$, вычитая из них постоянный вклад от вторичных реакций, равный σ_{Mg} при $E_p = 130$ Мэв. Полученные результаты приведены на рис. 2.

Обсуждение результатов

Порог реакции $(p, p\pi^+)$ на Al расположен в районе 200 Мэв. Это значение согласуется с предположением^{/17/} о том, что рождение π^- -мезонов происходит при столкновении падающих протонов с отдельными нуклонами ядра-мишени, а сдвиг порога по сравнению со свободными нуклон-нуклонными соударениями обусловлен внутриядерным движением нуклонов.

При энергии протонов выше 200 Мэв сечение реакции довольно быстро возрастает и в интервале 250-450 Мэв увеличивается примерно в 6 раз. Функция возбуждения реакции $Cu^{65}(p, p\pi^+)Ni^{65}$ в указанном интервале имеет такой же наклон^{/5/}. Заметим также, что сечение реакции $p+p \rightarrow p+n+\pi^+$ ^{/18,19/} возрастает более круто. Это, по-видимому, свидетельствует о том, что с ростом энергии падающих протонов все большая часть нейтронов, образующихся вместе с π^- -мезонами, приобретает энергию, большую энергии связи, и покидает ядро.

При $E_p \sim 500$ Мэв функция возбуждения выходит на плато. Сравнение со значением сечения образования Mg^{27} из Al^{27} (табл.1) при 5,7 Бэв показывает, что постоянство сохраняется вплоть до этой энергии. Такое поведение сечений характерно для реакций под действием частиц высоких энергий и неоднократно отмечалось в литературе^{/2,8,10/}.

При энергии протонов 860 Мэв сечение реакции $Al^{27}(p, p\pi^+)Mg^{27}$ составляет 2×10^{-4} от полного сечения взаимодействия протонов с ядром Al^{27} ^{/20/}, что не противоречит грубой теоретической оценке^{/3/}, равной $\sim 10^{-3}$.

Авторы благодарят И.Стронского, принимавшего участие в начальной стадии работы, Н.С. Мальцеву - за помощь в проведении химических операций, В.А. Халкина, предоставившего образцы спектрально-чистого алюминия и Л.И. Лапидуса - за полезную дискуссию.

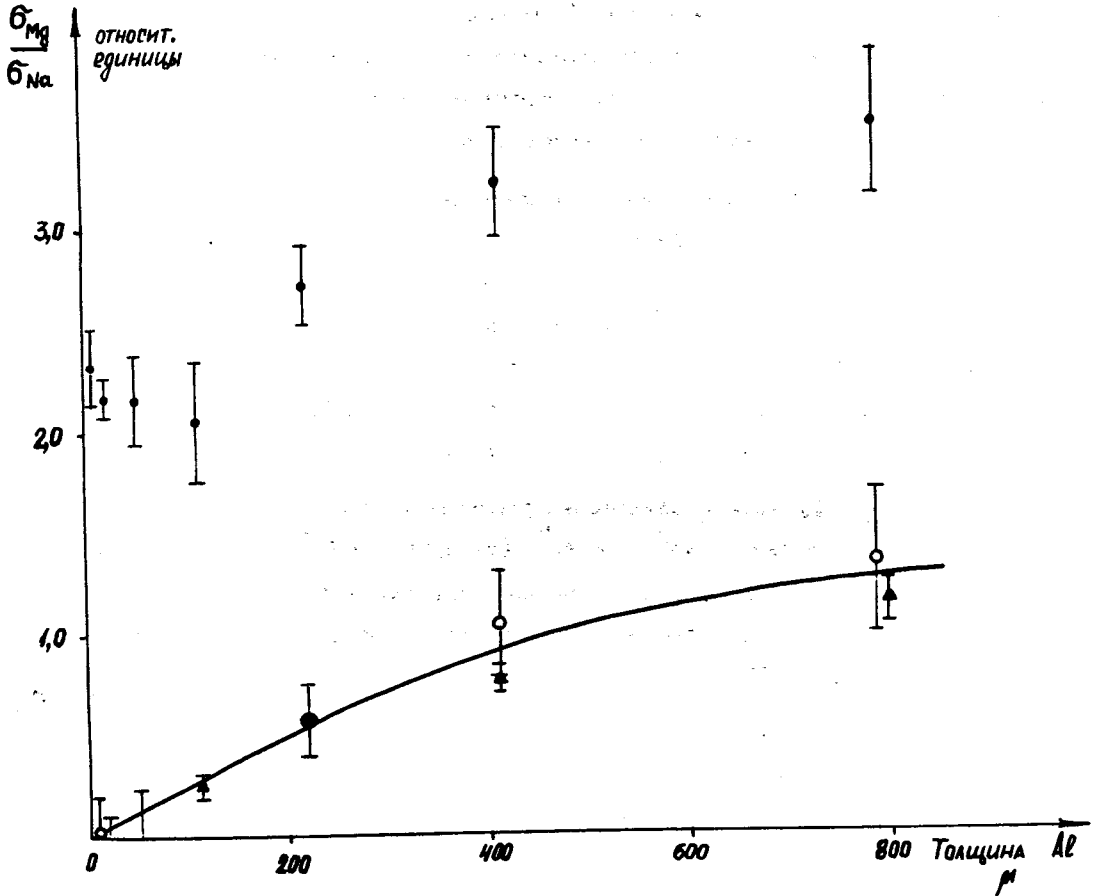


Рис. 1. Зависимость $\frac{\sigma_{Mg}}{\sigma_{Na}}$ от толщины облучаемой мишени алюминия.
 ● - при $E_p = 680$ Мэв; ▲ - при $E_p = 130$ Мэв; ○ - вклад вторичной реакции при $E_p = 680$ Мэв.

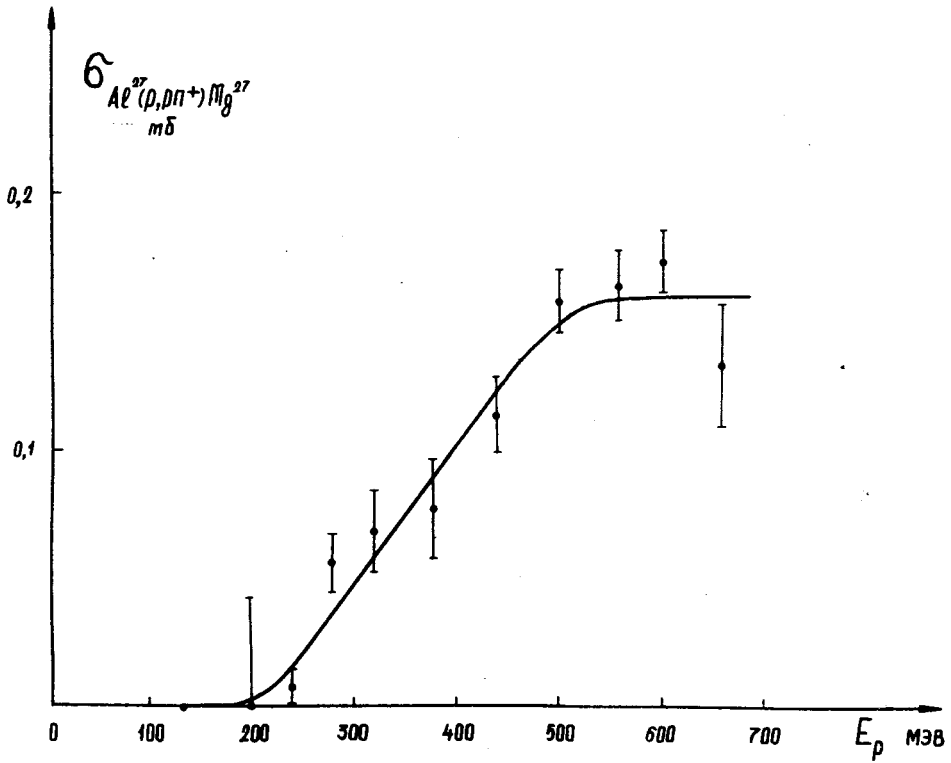


Рис. 2. Функция возбуждения реакции $Al^{27}(p, p\pi^+)Mg^{27}$.

Л и т е р а т у р а

1. Benioff P.A., Phys. Rev. 119, 324 (1960).
2. P.P. Strohal, A.A. Caretto. Phys. Rev. 121, 1815 (1961).
3. И.М. Граменицкий, М.И. Подгорецкий, О.А. Хрусталеv "Замечания к вопросу об одномезонных взаимодействиях", препринт ОИЯИ, Р-699, 1961.
4. P.A. Benioff. Phys. Rev. 119, 316 (1960).
5. Si-Chang-Fung, A. Turkevich. Phys. Rev. 95, 176 (1954).
6. А.К. Лаврухина, И.М. Гречищева, Б.А. Хотин. Атомная энергия, 8, 145 (1959).
7. D.W. Bar (не опубликовано, цитируется по /10/).
8. D.R. Nethaway, L. Winsberg. Phys. Rev. 119, 1375 (1960).
9. М.Я. Кузнецова, Мин Нам Бук, В.Н. Рыбаков, В.А. Халкин. "Образование Te^{127} из I^{127} под действием протонов высокой энергии", препринт ОИЯИ Р-624 (1960).
10. I.M. Landenbauer, Winsberg. Phys. Rev. 119, 1368 (1960).
11. Raymond, Bowers, Garrison, Hamilton, J. Chew. Phys. 18, 1119 (1950).
12. J. Hudis, Inorg. and Nucl. Chem. 4, No. 5-6, 237 (1957).
13. E. Bruninx. ' High Energy Nuclear Reaction Cross Section ' CERN, 1961.
14. В.О. Вяземский, Ю.М. Казаринов, В.В. Трифонов. Известия ЛЭТИ им. Ульянова (Ленина), вып. 38, 1959.
15. D. Strominger, J.M. Hollander, G.T. Seaborg. Rev. Mod. Phys. 30, 586 (1958).
16. N.H. Lazar, IRE Transact. Nucl. Sci. NS-5, No. 3, 138 (1958).
17. R.E. Marshak, ' Meson Physics ' , N Y. 1952.
18. Б.С. Неганов, О.В. Савченко. ЖЭТФ, 32, № 6, 1265 (1957).
19. T.H. Fields, I.G. Fox, I.A. Kane, R.A. Stalwood, R.B. Sutton. Phys. Rev. 109, 1713 (1958).
20. В.И. Москалев, Б.В. Гавриловский. ДАН СССР, 110, № 6, 972 (1958).

Рукопись поступила в издательский отдел
2 января 1962 года.