

4-626
ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

5/х = 70



P6-5248

Л.Н. Никитюк, В.Н. Покровский, В.Н. Рыбаков

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

ИЗУЧЕНИЕ ФУНКЦИИ ВОЗБУЖДЕНИЯ РЕАКЦИИ
 $^{59}\text{Co} (p, p \pi^+) ^{59}\text{Fe}$
РАДИОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

1970

Интерес к реакции $(p, p\pi^+)$ обусловлен тем, что она позволяет получать информацию об одном из каналов образования π^+ - мезона на сложном ядре, который осуществляется при условии передачи малого импульса ядру. Появление теоретического расчёта процесса, выполненного Эриксоном с сотрудниками ^{/1/}, стимулировало дальнейшее развитие как теории (см., например, ^{/2,3/}), так и эксперимента ^{/4,5/}.

В литературе имеются данные о функции возбуждения реакции $(p, p\pi^+)$ в широком интервале энергии протонов на ядрах меди ^{/5-7/}, алюминия ^{/8,9/}, индия ^{/10-12/}, причём обнаруживается неплохое согласие теории с экспериментом. Тем не менее представляется желательным дальнейшее накопление экспериментального материала (и, в первую очередь, расширение круга изучаемых ядер) для более детальной проверки или уточнения теоретических представлений.

В связи с этим мы предприняли изучение реакции $(p, p\pi^+)$ на ядре ⁵⁹Co в доступном для нас интервале энергии протонов: 120-660 Мэв. Использование кобальта в качестве мишени имеет то преимущество, что он моноизотопен, и в выделяемой фракции железа присутствует лишь один радиоактивный изотоп - ⁵⁹Fe .

Постановка эксперимента

Для облучения использовались образцы кобальта высокой степени чистоты, спектральный анализ которых показал наличие примесей более тяжелых элементов: никеля - $10^{-3}\%$, меди - $5 \cdot 10^{-4}\%$, свинца $1,5 \cdot 10^{-4}\%$, цинка - $5 \cdot 10^{-4}\%$. Указанная степень чистоты мишени позволяла пренебречь образованием ^{59}Fe в результате реакций расщепления и деления изотопов тяжелых элементов.

Мишени изготавливались в виде пластинок $\approx 7 \times 9 \text{ мм}^2$, обычно толщиной 400 и более $\text{мг}/\text{см}^2$, которые заворачивались в три слоя алюминиевой фольги толщиной 4 $\text{мг}/\text{см}^2$ (средняя из них - монитор) и защитную алюминиевую фольгу - 23 $\text{мг}/\text{см}^2$. Суммарная толщина составляла 70 $\text{мг}/\text{см}^2$.

Облучение мишеней проводилось на внутреннем пучке протонов синхроциклотрона Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ и длилось обычно 1,5 часа. Для мониторинга пучка протонов, прошедших через мишень, использовалась реакция $^{27}\text{Al}(p, 3p n)^{24}\text{Na}$, сечения которой приведены в работе /13/.

После облучения кобальт растворялся в 2-3 мл концентрированной HNO_3 , содержащей 10 мг Fe и удерживающие носители. Добавлялось 20 - 30 мл 8N HCl и железо (+3) экстрагировалось диизопропиловым эфиром. Эфирный слой трижды промывался 8N HCl, насыщенной эфиром. Затем железо реэкстрагировалось водой. Раствор нагревался для удаления эфира, после чего осаждалась гидроксид железа с помощью NH_4OH . Осадок центрифугировался, промывался дистиллированной водой, а затем растворялся в минимальном объеме концентрированной HCl. Раствор пропусклся через колонку ($d = 1 \text{ см}$, $h = 10 \text{ см}$), наполненную анионитом Дауэкс 1 x 8 в Cl^- -форме. Ионы Fe^{+3} полностью поглощались смолой. Возможные примеси других радиоактивных элементов удалялись промыванием колонки 4N HCl, после чего фрак-

ция железа вымывалась 2N HCl. Осаждалась гидроокись железа и приготавливался образец для измерений путем нанесения слоя гидроокиси на диск из фильтровальной бумаги. Образец высушивался при 110°C, охлаждался и заклеивался клейкой лентой. Химический выход определялся после измерений весовым методом и составлял около 90%.

Измерение радиоактивности образцов ^{59}Fe и ^{24}Na проводилось на сцинтилляционном γ -спектрометре с кристаллом NaI(Tl) размером 70 x 70 мм² и многоканальным анализатором. Типичный γ -спектр образца ^{59}Fe представлен на рис. 1. Отсутствие в спектре посторонних γ -линий свидетельствовало о радиохимической чистоте препарата.

Результаты эксперимента

Для определения величин сечения образования ^{59}Fe использовались линии $E_\gamma = 1292$ кэв (45% на распад) и $E_\gamma = 1369$ кэв (100% на распад) для ядер ^{59}Fe и ^{24}Na соответственно /14/. Результаты определений представлены в табл. 1. Погрешности, указанные в таблице, являются среднеквадратическими ошибками среднеарифметических значений. В ошибки не входят возможные систематические погрешности, связанные с неточностями принятых схем распада, сечений мониторной реакции и значений эффективности кристалла. Последние составляют 3 - 5%.

В наших опытах найденные сечения образования ^{59}Fe являются суммой вкладов двух процессов: реакции $(p, p\pi^+)$ и вторичных реакций, наиболее вероятной из которых, по-видимому, является реакция (n, p) .

При энергии протонов 120 Мэв найденное $\sigma_{^{59}\text{Fe}}$ является сечением образования ^{59}Fe только по вторичным реакциям, поскольку энергия частиц недостаточна для рождения π -мезона.

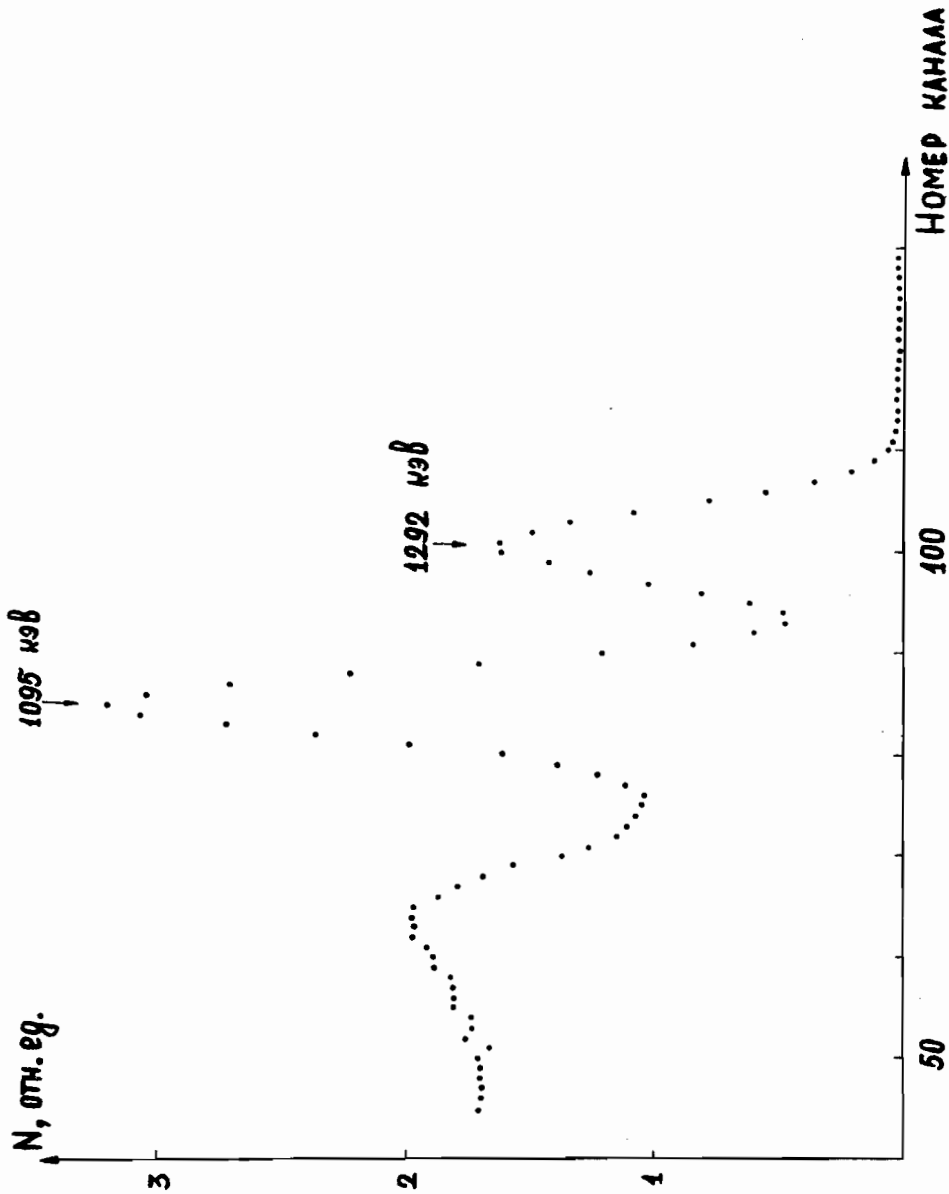


Рис. 1. Типичный γ -спектр фракции железа (жесткая область).

Таблица 1

E_p , Мэв	$\sigma_{^{59}\text{Fe}}$, мкб ^{x/}	Сечение реакции $^{59}\text{Co}(\rho, p \pi^+) ^{59}\text{Fe}$, мкб
120	102 ± 5	0 ± 5
200	167 ± 4	20 ± 10
250	155 ± 19	-24 ± 21
300	235 ± 27	39 ± 30
400	287 ± 16	69 ± 21
500	381 ± 15	156 ± 22
600	395 ± 2	170 ± 16
660		177 ± 17

^{x/} Мишени имели толщину 400 и более мг/см².

Чтобы оценить вклад от конкурирующих процессов при $E_p = 660$ Мэв, при этой энергии были проделаны опыты по облучению фольг кобальта различной толщины в тех же условиях, что и ранее. Результаты приведены на рис. 2. Из рисунка видно, что при толщинах кобальта до ≈ 400 мг/см² наблюдается заметный рост $\sigma_{^{59}\text{Fe}}$ с увеличением толщины мишени, в то время как при толщинах материала мишени более 400 мг/см² сечения образования ^{59}Fe практически не зависят от толщины.

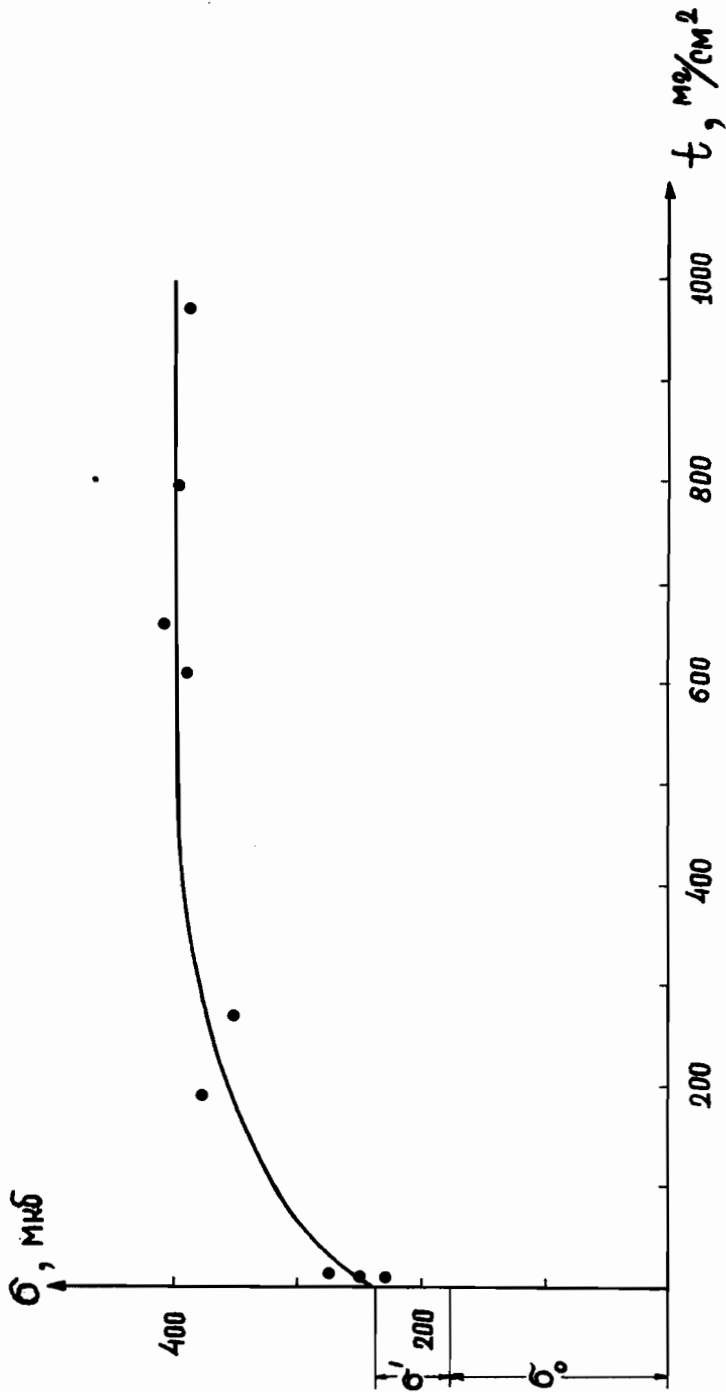


Рис. 2. Зависимость $\sigma_{0.9Fe}$ от толщины кобальта при $E_D = 660$ МэВ.

Первый участок кривой в согласии с работой^{/4/} хорошо описывается уравнением вида:

$$\sigma_{59 \text{ Fe}} = \sigma_0 + \sigma' + A t - B t \ln t,$$

где $\sigma_{59 \text{ Fe}}$ - суммарное наблюдаемое сечение образования $^{59} \text{Fe}$; σ_0 - сечение образования $^{59} \text{Fe}$ по реакции $(p, p \pi^+)$; σ' - сечение образования $^{59} \text{Fe}$ по вторичным процессам, обусловленным наличием алюминиевых мониторов; A и B - постоянные величины, определяемые из экспериментальной кривой; t - толщина кобальта в $\text{мг}/\text{см}^2$.

Экстраполяция к нулевой толщине мишени дает суммарную величину $\sigma_0 + \sigma'$, которая оказалась равной 236 мкб. Величина σ' определялась в двух сериях опытов, которые производились при $E_p = 660$ Мэв с постоянной толщиной кобальта и различными толщинами алюминиевого монитора. Она найдена равной 59 мкб. Следовательно, сечение образования $^{59} \text{Fe}$ по реакции $(p, p \pi^+)$ при $E_p = 660$ Мэв составляет 177 мкб, в то время как вклад вторичных реакций для толстых мишеней соответствует 220 мкб. Отметим, что по нашей оценке погрешность в определении сечения реакции $(p, p \pi^+)$ при этом составляет 17 мкб.

Таким образом, экспериментально определенный вклад вторичных процессов в наших условиях опыта составляет 102 ± 5 мкб (см. табл. 1) и 220 ± 20 мкб при энергии протонов 120 и 660 Мэв, соответственно. Столь заметный рост этого вклада в зависимости от E_p ранее в опытах с алюминием нами не наблюдался^{/8/}. Чтобы понять это различие и вместе с тем получить представление о ходе зависимости вклада вторичных процессов от энергии протонов, мы поступили следующим образом. Предполагалось, что главный вклад во вторичные процессы дает реакция (n, p) и учитывалось, что определяющее значение при осуществлении этой реакции играют нейтроны с энергиями 9-15 Мэв^{/15/}.

Принимая для оценки $\sigma_{n,p}$ постоянным в этом интервале энергий, получаем, что вклад вторичных реакций прямо пропорционален числу таких нейтронов. Для нахождения этого числа использовались расчётные формулы, дающие аналитическое представление спектра вторичных каскадных и испарительных нейтронов, образующихся при бомбардировке алюминия и меди протонами с энергией 100–400 Мэв^{/16/}. Результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

E_p , Мэв	Число вторичных нейтронов, относит. единицы	
	Al	Cu
100	1,0	1,0
200	1,19	1,66
250	-	2,02
300	-	2,21
400	1,23	2,46

Как следует из табл. 2, возрастание сечения вторичных реакций на Al не очень велико и могло остаться незамеченным нами ранее в пределах ошибок эксперимента.

Полагая, что число вторичных нейтронов на кобальте будет изменяться таким же образом как на меди и произведя нормировку (к $E_p = 120$ Мэв), получаем зависимость $\sigma_{n,p} = f(E_p)$, приведенную на рис. 3. Видно, что измеренная нами величина сечения при $E_p = 660$ Мэв согласуется с полученной зависимостью $\sigma_{n,p}$ для интервала 120 – 400 Мэв. Принимая за вклад от вторичных процессов указанные на рисунке сечения реакции (n, p) , находим сечение реакции $(p, p \pi^+)$ (см. табл. 1, столбец 3).

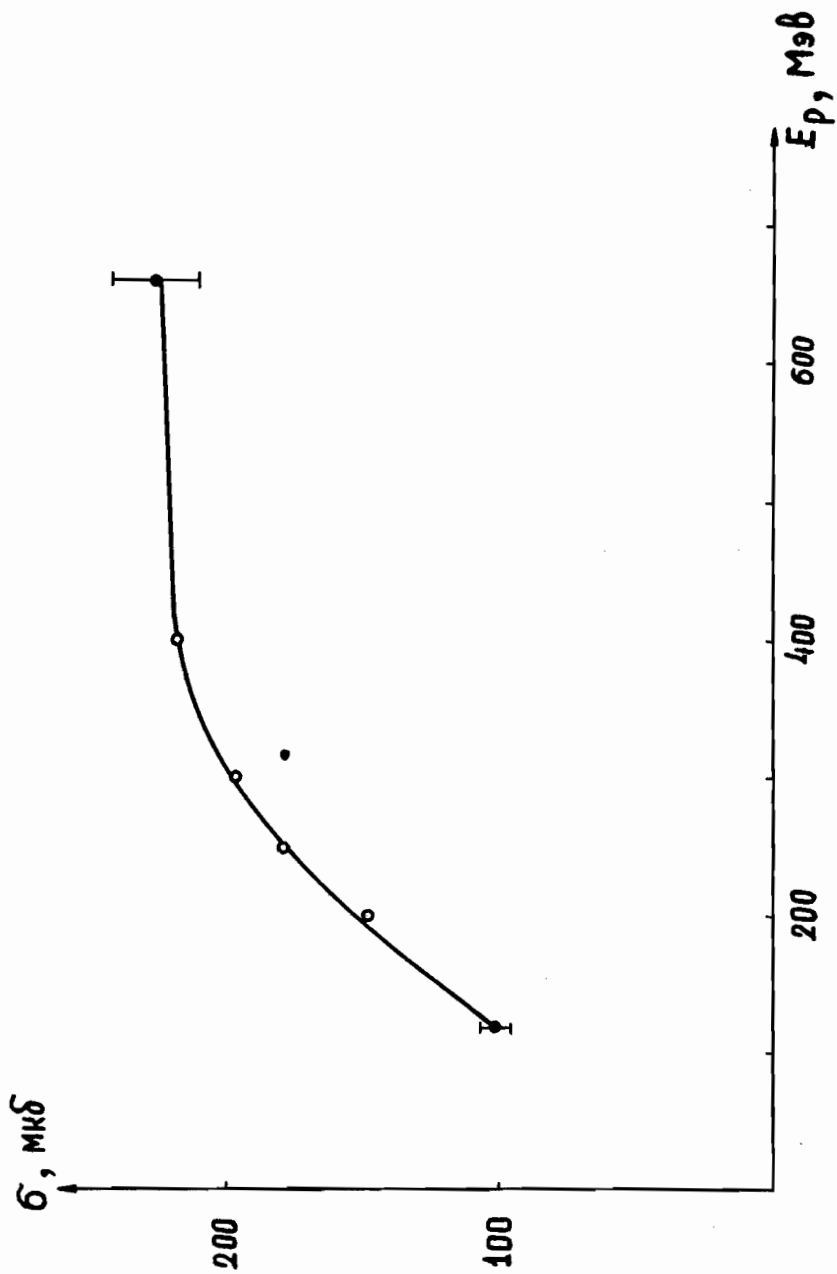


Рис. 3. Зависимость сечения вторичных реакций от энергии протонов • - экспериментальные данные, o - оценка (см. текст).

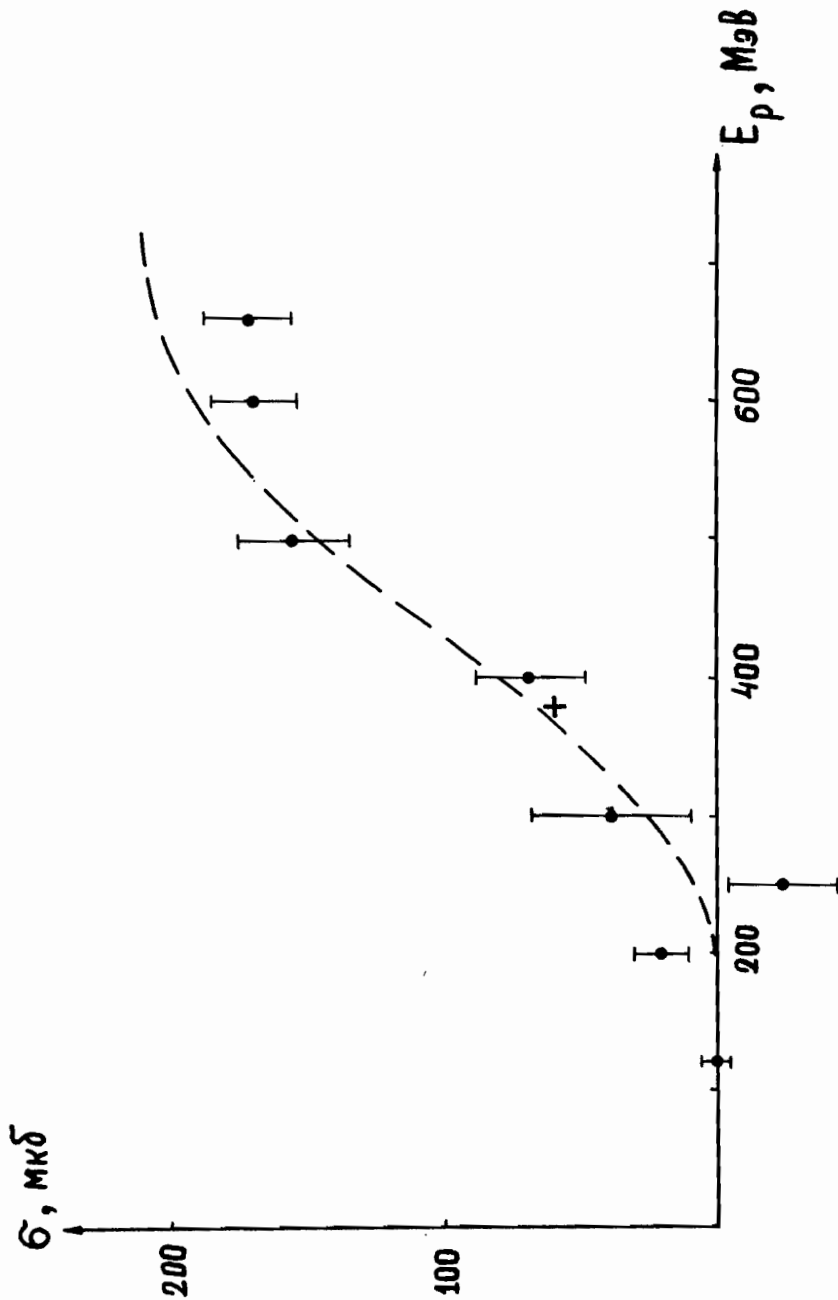


Рис. 4. Функция возбуждения реакции $^{59}\text{Co}(p, p^+)^{59}\text{Fe}$. \bullet - данные настоящей работы; $+$ - результат работы /17/;
 --- - теоретическая кривая/3/.

Полученные результаты приведены на рис. 4. Там же указана величина сечения реакции $^{59}\text{Co}(p, p\pi^+)^{59}\text{Fe}$ при $E_p = 380$ Мэв, определенная в работе /17/. Наблюдается хорошее согласие.

На этом же рисунке пунктиром изображена функция возбуждения реакции $(p, p\pi^+)$ на ^{65}Cu , вычисленная Селлери /3/ с учётом предложенных им усовершенствований схемы расчёта Эриксона. Видно, что измеренная нами функция возбуждения реакции $^{59}\text{Co}(p, p\pi^+)^{59}\text{Fe}$ удовлетворительно согласуется с теоретической кривой.

В заключение авторы благодарят А.И. Акатова и А.К. Качалкина за помощь в работе.

В ы в о д ы

1. Радиохимическим методом измерена функция возбуждения реакции $^{59}\text{Co}(p, p\pi^+)^{59}\text{Fe}$ в интервале энергий протонов от порога до 660 Мэв.

2. Показано, что в случае толстых мишеней вклад вторичных реакций зависит от энергии протонов.

3. Данные удовлетворительно согласуются с теоретическими расчётами Селлери для ^{65}Cu /3/.

Л и т е р а т у р а

1. T. Ericson, F. Selleri, R.T. Van De Walle. Nucl. Phys., 36, N3, 353 (1962).
2. В.С. Барашенков, В.М. Мальцев. Acta Physica Polonica, 22, 173 Suppl. (1962).
3. F. Selleri. Phys. Rev., 164, N 4B, 1475 (1968).
4. G. Rudstam. Nucl. Phys., 56, N 4, 593 (1964).

5. L.P. Remsberg. Phys.Rev., 138, N3B, 572 (1965).
6. Fun Si-Chang, A. Turkevich. Phys.Rev., 95, N 1, 176 (1954).
7. А.К. Лаврухина, И.М. Гречишева, Е.А. Хотин. Атомная энергия, 6, № 2, 145 (1959).
8. М.Я. Кузнецова, В.Н. Покровский, В.Н. Рыбаков. ЖЭТФ 42, вып. 6, 1451 (1962).
9. A.M. Poskanzer, J.B. Cumming, L.P. Remsberg. Phys.Rev., 168, N 4, 1331 (1968).
10. В.Н. Рыбаков, Н.С. Мальцева. Радиохимия, 7, вып. 1, 90 (1965).
11. D.R. Nethaway, L. Winsberg. Phys.Rev., 119, N 4, 1375 (1960).
12. N.T. Porile. Phys.Rev., 128, N4, 1916 (1962).
13. J.B. Cumming. Ann. Rev. Nucl.Sci., 13, 261 (1963).
14. C.M. Lederer, J.M. Hollander, J. Perlman. Table of Isotopes. New York, 1967.
15. M.D. Goldberg, S.F. Mughabghab, B.A. Magurno, V.M. May. Preprint BNL 325, Suppl. N2, vol. IIA, February 1966.
16. R.G. Alsmiller, jr., M. Leimdorfer, J. Barish. Preprint ORNL-4046, April 1967.
17. S. Kaufman, S. Hower. Bull.Am.Phys.Soc., ser. II, 7, N9, 623, (1962).

Рукопись поступила в издательский отдел

13 июля 1970 года.