

25/4-71

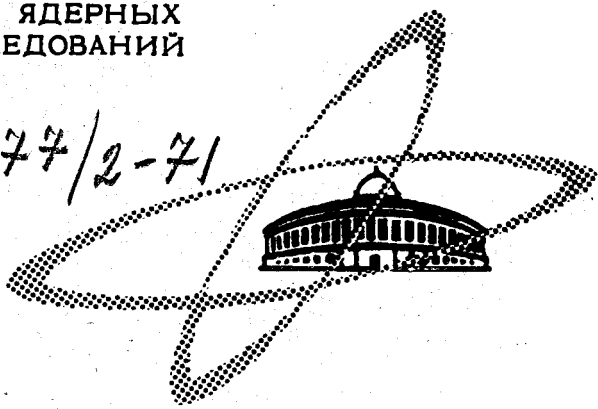
B-654

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна.

3677/2-71

P1 - 6029



ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

И. Войтковска , В.С. Евсеев, Т. Козловски ,
А.А. Николина, В.С. Роганов

УГЛОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НЕЙТРОНОВ
НИЗКИХ ЭНЕРГИЙ ИЗ РЕАКЦИИ
ЯДЕРНОГО МЮ-ЗАХВАТА
В СЕРЕ И КАЛЬЦИИ

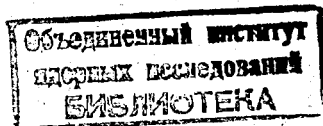
1971

P1 - 6029

И. Войтковска*, В.С. Евсеев, Т. Козловски*,
А.А. Николина, В.С. Роганов

УГЛОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НЕЙТРОНОВ
НИЗКИХ ЭНЕРГИЙ ИЗ РЕАКЦИИ
ЯДЕРНОГО МЮ-ЗАХВАТА
В СЕРЕ И КАЛЬЦИИ

Направлено в ЯФ



Введение

С тех пор, как в 1959-61 г.г. несколькими группами была зарегистрирована значительная асимметрия отрицательного знака в угловом распределении нейтронов из реакции ядерного μ -захвата^{/1-3/} (во всех этих работах нейтроны регистрировались по протонам отдачи в органических сцинтилляторах на заданном энергетическом пороге в области 3-7 Мэв) и тем самым было продемонстрировано несохранение чётности в этой реакции, новых измерений асимметрии в области низких энергий не проводилось. Результаты^{/1-3/}, однако, противоречили данным^{/4/}, где было показано, что коэффициент асимметрии для протонов отдачи с энергией, больше 5,5 Мэв, имеет положительный знак, хотя в пределах экспериментальных погрешностей его можно считать равным нулю.

Дальнейшее исследование энергетической зависимости коэффициента асимметрии также привело к противоречивым, на первый взгляд, результатам. Так, в работах^{/5,6/} был зарегистрирован рост по абсолютной величине (отрицательного по знаку) коэффициента асимметрии с увеличением порога регистрации вплоть до величины, близкой -1. В работе^{/7/}, где непосредственно измерялась асимметрия для различных энергетиче-

ских интервалов в спектре нейтронов, получено значение коэффициента асимметрии, близкое к нулю в диапазоне 10-30 Мэв за исключением возможной области положительной асимметрии в районе 18 Мэв.

Наконец, в работах ^{/8/} была с хорошей статистической точностью зарегистрирована значительная асимметрия положительного знака для протонов отдачи в области ≈ 20 Мэв.

Одним из авторов статьи уже обращалось внимание ^{/9/} на то, что результаты работ ^{/5-8/} на самом деле не противоречат друг другу, если предположить, что зависимость дифференциального коэффициента асимметрии от энергии нейтронов такова: от 10 до 40 Мэв он близок к нулю (с возможной областью положительной асимметрии в районе 18-20 Мэв), а при больших энергиях он становится близким к -1. Тогда результаты измерения интегральных коэффициентов асимметрии на низком пороге могут быть интерпретированы двояким образом. Либо нейтронные детекторы, использованные в работах ^{/1-3/}, на низком пороге регистрируют значительную часть нейтронов высокой энергии и измеряют присущую этим нейтронам большую отрицательную асимметрию (уменьшенную по амплитуде из-за наличия изотропного фона нейтронов низких и средних энергий), либо в дополнение к этому нейтроны низких энергий имеют отрицательную асимметрию.

Используя данные по энергетическим спектрам нейтронов ^{/10/} и энергетические зависимости эффективности слоистого нейтронного детектора (эффективность регистрации растет с ростом энергии нейтрона), использованного в ^{/5/}, можно видеть, что измеряемая на пороге 7 Мэв интегральная асимметрия в этом случае действительно в значительной мере может быть обусловлена асимметрией нейтронов высокой энергии. Грубые оценки энергетической зависимости эффективности детекторов, использованных в ^{/1-3/}, выполненные на основе ^{/11/}, показывают, что вкладом нейтронов высокой энергии можно пренебречь, хотя детальные

расчёты выполнить не представляется возможным ввиду отсутствия достаточной информации о дефекторах. В результате вышесказанного представляется интересным провести более тщательное измерение асимметрии нейтронов низких энергий.

В настоящей статье описан эксперимент по измерению коэффициента асимметрии в угловом распределении нейтронов низких энергий из реакции ядерного μ^- -захвата в сере и кальции.

Методика и измерения

Работа выполнена на чистом мюонном пучке^{/12/} с импульсом частиц 158 Мэв/с, полученным с помощью мезонного канала синхроциклотрона Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ. Расположение аппаратуры показано на рис. 1. Остановки мюонов в мишени определялись по счёту 1234. Нейтроны регистрировались по протонам отдачи в кристалле стибена диаметром и толщиной по 69 мм, соединенном с ФЭУ-52 без световода. Интервал измерений: 2-17 Мэв для случая кальция и 2,5-10 Мэв для случая сере. Разделение нейтронов и γ -квантов производилось по форме сцинтилляционного импульса^{/13/}. На рис. 2 приведены спектры (γ - n) разделения для нескольких энергий протонов отдачи. В соответствии с результатами других работ (см., например,^{/14/}) наблюдается сужение γ - и n -пиков и их сближение по мере роста энергии протонов.

Мишени из плавленной сере и металлического кальция имели площадь $10 \times 10 \text{ см}^2$ и толщину 16 г/см^2 и 10 г/см^2 , соответственно, в направлении кристалла стибена.

Угловое распределение нейтронов измерялось методом прецессии спина мюона в поперечном магнитном поле. Для этого с помощью преобразователя время-амплитуда регистрировалось временное распределение нейтронных случаев (в зависимости от энергии протонов отдачи E_p)

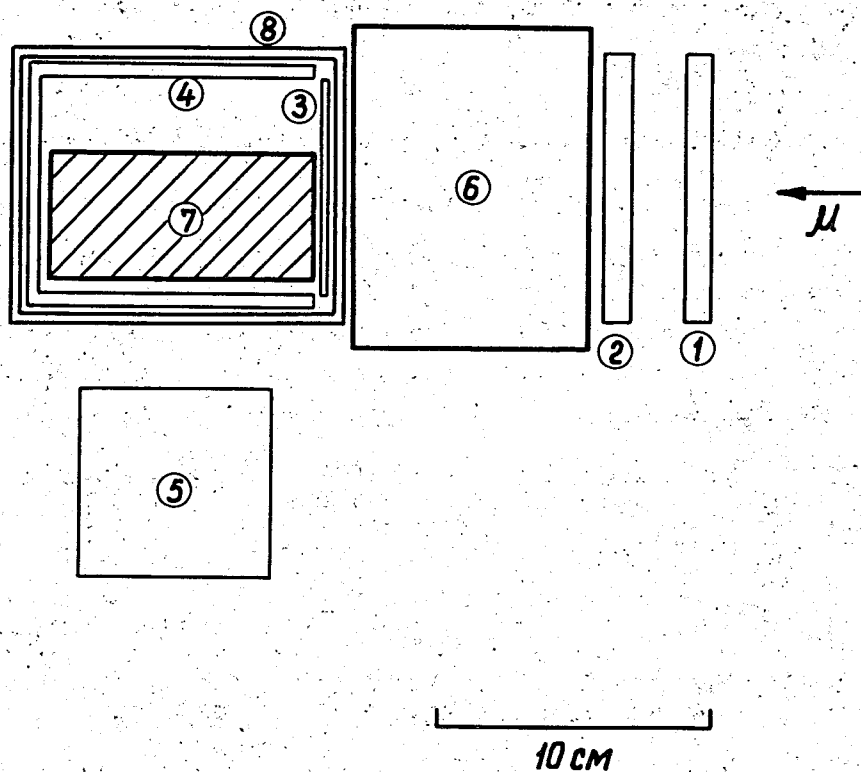


Рис. 1. Расположение аппаратуры в пучке. 1-4 - сцинтилляционные счётчики на основе полистирола, 5 - кристалл стильбена, 6 - графитовый поглотитель, 7 - мишень, 8 - катушка поля прецессии (поле направлено перпендикулярно плоскости рисунка).

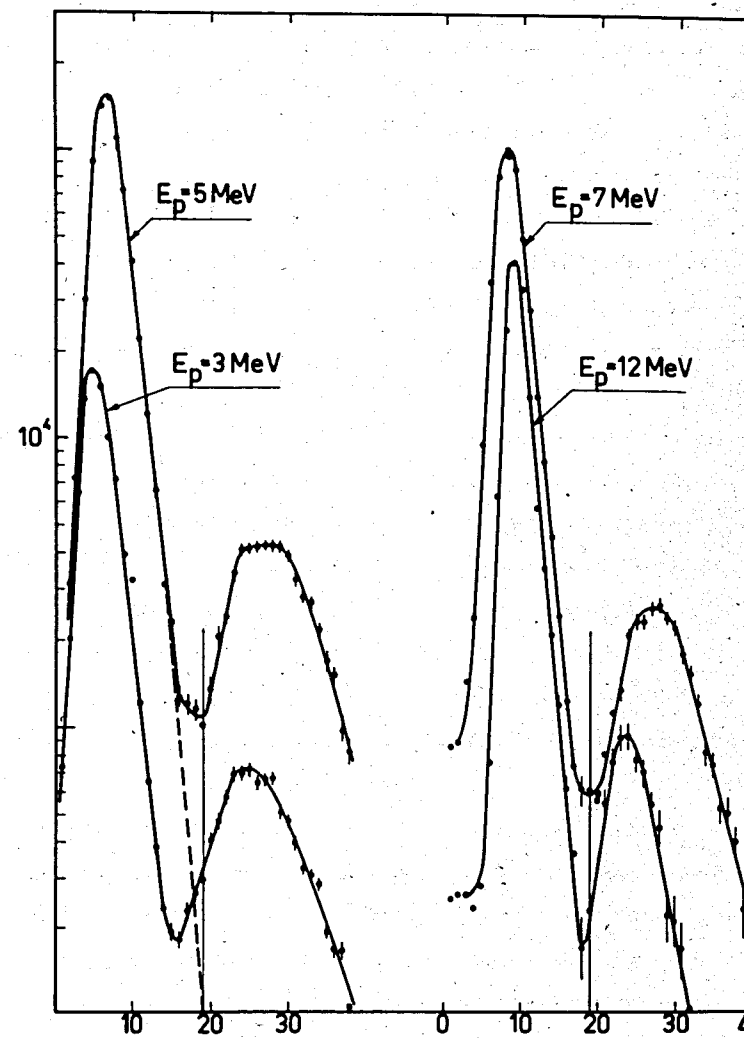


Рис. 2. Спектры $(\gamma-n)$ -разделения для разной энергии пучка E_p . Вертикальной линией обозначен нижний порог од дискриминатора.

относительно момента остановки мюона. Сигнал "старт" вырабатывался в результате совпадений короткого импульса μ^- -остановок с длинным (2 мксек) прямоугольным импульсом из нейтронного детектора. Сигнал "стоп" получался в результате тройных совпадений: короткого импульса из нейтронного детектора, длинного (2 мксек) импульса от μ^- -остановок и длинного импульса из одноканального дифференциального дискриминатора, с помощью которого вырезался нейтронный пик из спектра $(\gamma-n)$ разделения.

В работе использовались два амплитудных анализатора АИ-4096 в двумерном режиме. На один из них подавались сигналы с выхода преобразователя время-амплитуда и из линейного выхода спектрометра нейтронов. Управление анализатором осуществлялось импульсами "стоп". Ввиду смещения пиков в спектре $(\gamma-n)$ разделения с изменением E_p окно одноканального дискриминатора выбиралось таким образом, (см. рис. 2), чтобы в диапазоне $E_p = 2+17$ Мэв не регистрировались случаи из γ -пика. Естественно, при этом имели место незначительные потери в счёте протонов отдачи, зависящие от E_p . Положение окошка одноканального дискриминатора периодически контролировалось с помощью второго анализатора АИ-4096, на который подавались импульсы из схемы $(\gamma-n)$ разделения и импульсы из линейного выхода нейтронного спектрометра в случае, если он управлялся так же, как и первый. Во время измерений второй анализатор часть времени работал в указанном режиме, когда записывалась часть спектра разделения (n -пик); остальное время управление осуществлялось только импульсами с выхода схемы $(\mu-\gamma, n)$ совпадений и регистрировался полный спектр $(\gamma-n)$ разделения.

В канале выделения μ^- -остановок и в канале нейтронного спектрометра использовались схемы блокировки, запрещающие прохождение импульсов, если расстояние между ними во времени было меньше 6 мксек.

Энергетическая калибровка нейтронного спектрометра осуществлялась с помощью γ -источников и источника нейтронов ($Po - Be$). Энергетическое разрешение по протонам отдачи было (полная ширина на половине высоты): $\delta E_p = 300$ Кэв для $E_p = 2$ Мэв и $\delta E_p = 450$ Кэв для $E_p = 10$ Мэв. Абсолютная точность определения энергетической шкалы $\pm 7\%$.

Катушка для получения магнитного поля с напряженностью около 200 гс состояла из трех блоков. Выше и ниже мишени располагались основные блоки с большой толщиной обмотки, а в плоскости нейтронного детектора располагалась тонкостенная катушка (2 г/см^2).

Неоднородность поля по объему мишени не превышала $\pm 2\%$. Набор статистики производился в течение 8 сеансов для случая кальция и 3 сеансов для серы. Магнитное поле имело значение в интервале от 180 до 240 гс и периодически менялось по знаку для исключения систематических погрешностей.

Зависимость счёта протонов отдачи $N_{\Delta}(t_i)$ в заданном энергетическом интервале Δ от времени после остановки μ^- -мезона описывается выражением

$$N_{\Delta}(t_i) = A_{\Delta} e^{-t_i/\tau} [1 + B \cos(\omega t_i + \theta)] + C, \quad (1)$$

где t_i - середина i -го интервала временной шкалы, A_{Δ} - количество протонов отдачи в нуле времени, τ - время жизни мюона в веществе, B - измеряемый коэффициент асимметрии для заданного энергетического интервала, ω - частота прецессии спина мюона в заданном магнитном поле, θ - фаза прецессии, C - фон случайных совпадений.

Параметры A_{Δ} , τ , B , и C определялись с помощью ЭВМ методом наименьших квадратов для каждого из интервалов Δ . Отношение A/C изменялось от 20 до 10 при увеличении E_p от 2 до 17 Мэв.

Время жизни для каждого Δ в пределах экспериментальных погрешностей ($\pm 3\%$) совпадает (для серы и кальция) с данными других измерений^{/15/}. Начальная фаза прецессии θ измерялась в отдельном эксперименте из данных по угловому распределению электронов μ^- -распада и при обработке нейтронных случаев на ЭВМ не варьировалась.

Данные для каждого из сеансов отклоняются на величину, определяемую статистическими погрешностями. Для всех интервалов Δ величина χ^2 соответствует числу степеней свободы.

Результаты и обсуждения

На рис. 3 и 4 приведена зависимость измеряемого коэффициента асимметрии B от энергии протонов отдачи, соответственно, для случая μ^- -захвата в кальции и сере.

Ширина интервала для случая кальция $\Delta = 1$ Мэв в области $2-13$ Мэв; $\Delta = 2$ Мэв и $\Delta = 3$ Мэв для двух последних точек ($\bar{E}_p = 13,0$ Мэв и $\bar{E}_p = 14,75$ Мэв). Для случая серы $\Delta = 1,5$ Мэв во всем диапазоне. Средневзвешенное (с учётом аппаратного спектра протонов отдачи) значение величины B для всего диапазона равно $B = +(0,0073 \pm 0,0024)$ для случая кальция и $B = +(0,0019 \pm 0,0032)$ для случая серы.

С учётом величины остаточной поляризации P_μ , которая измерялась по электронам распада (в условиях регистрации γ -пика в спектре $(\gamma-n)$ -разделения и наличия быстрых совпадений импульсов нейтронного детектора и счётчика №4) получают следующие значения коэффициента асимметрии B , приведенные к 100% поляризации μ^- -мезонов:

$B/P_\mu = +(0,035 \pm 0,011)$ для кальция и $B/P_\mu = +(0,015 \pm 0,025)$ для серы. Эти величины можно непосредственно сравнить с данными работ^{/1-4/} для случая серы, поскольку вкладом нейтронов очень высоких энергий в нашем случае и для указанных работ можно пренебречь.

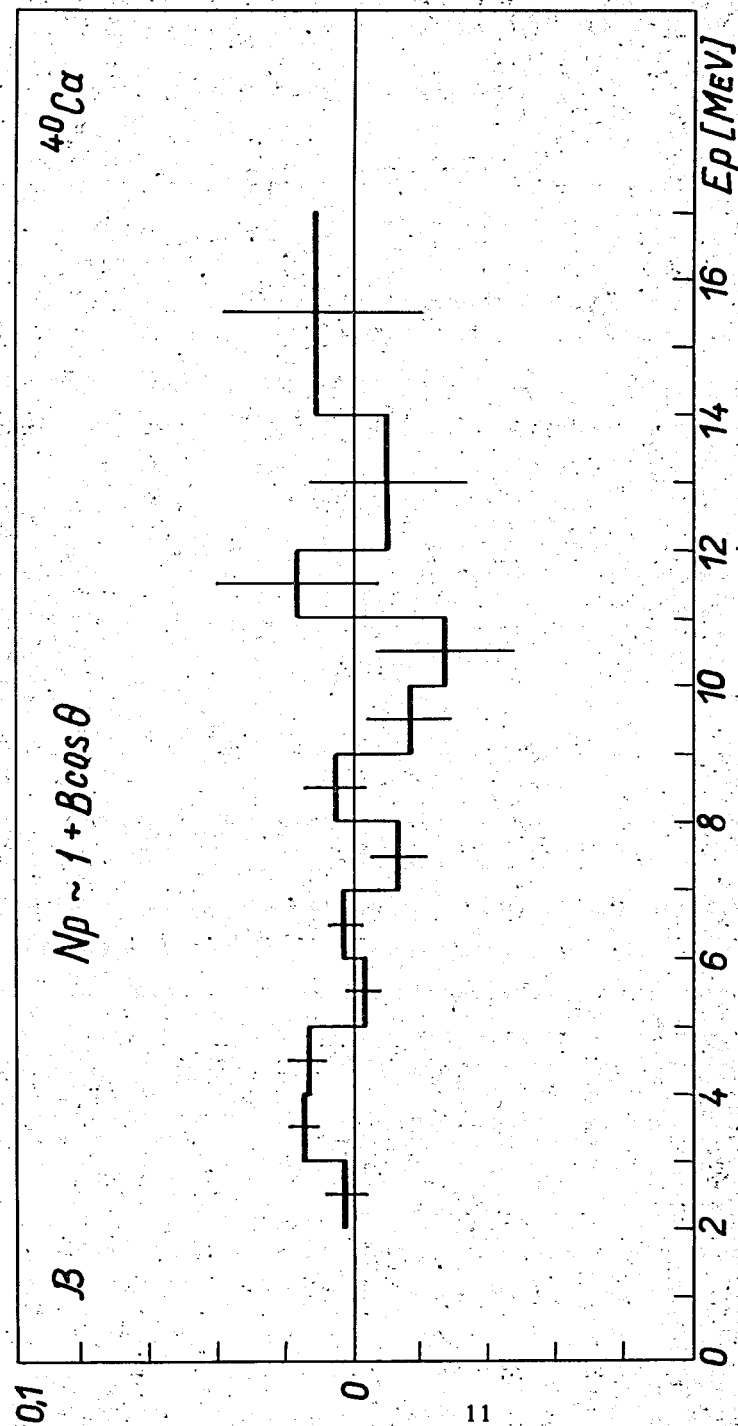


Рис. 3. Зависимость измеряемой величины коэффициента асимметрии B

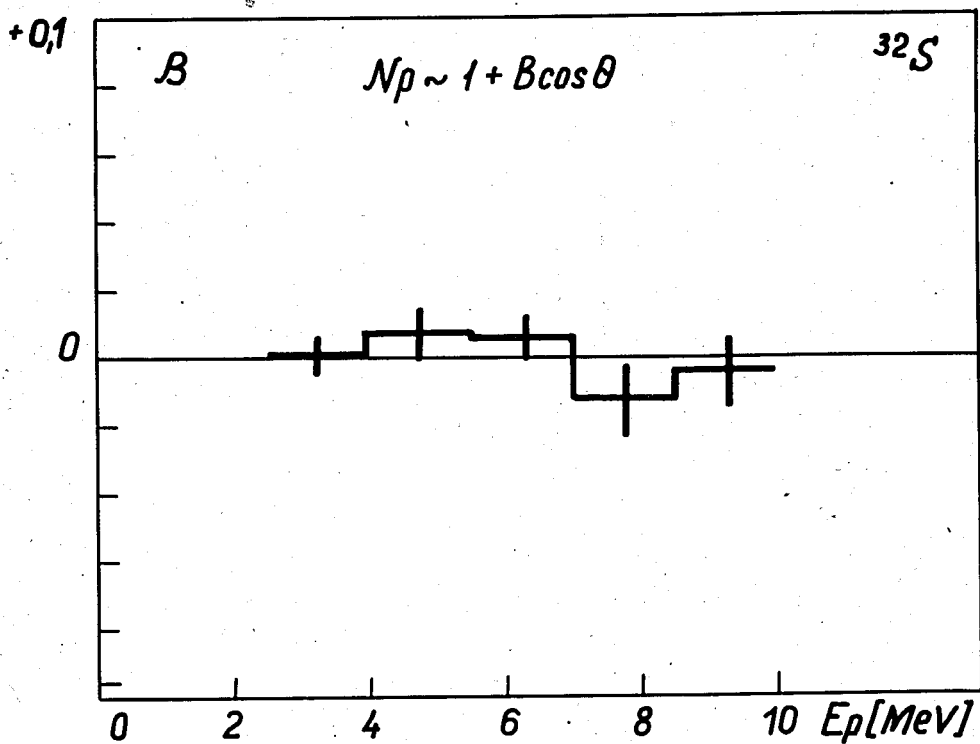


Рис. 4. Зависимость измеряемой величины коэффициента асимметрии B в угловом распределении нейтронов (μ^- -захват в сере) от энергии протонов отдачи E_p .

Результаты данного эксперимента на существенно более высоком уровне статистической точности не подтверждают вывода работ ^{/1-3/} о наблюдении значительной отрицательной асимметрии в вылете нейтронов при μ^- -захвате в сере: $V/P = -(0,36 \pm 0,13)$ на пороге $E_p = 3$ Мэв ^{/1/}, $V/P_\mu = -(0,21 \pm 0,06)$ на пороге $E_p = 4,5$ Мэв ^{/2/}, $V/P_\mu = -(0,23 \pm 0,09)$ на пороге $E_p = 5$ Мэв ^{/3/}.

Измеренное в настоящей работе близкое к нулю значение V не противоречит современным теоретическим представлениям, даже если считать, что в исследуемой области энергии доминируют резонансный ^{/16/} или прямой ^{/17/} механизмы испускания нейтронов. Однако из экспериментов следует ^{/18/}, что в этой области энергий значительный вклад вносят нейтроны "испарительного" спектра, имеющие изотропное распределение. Результаты, полученные в настоящей работе, не противоречат данным работ ^{/5,6/}, поскольку последние относятся к нейтронам высоких энергий ^{/9/}.

Выводы

1. Измерена зависимость коэффициента асимметрии V в угловом распределении нейтронов от μ^- -захвата в сере и кальция для диапазона энергий протонов отдачи $E_p = 2+17$ Мэв (кальций) и $E_p = 2,5+10$ Мэв (сера).

2. Близкое к нулю значение V для серы и кальция противоречит результатам работ ^{/1-3/}, где была обнаружена большая асимметрия отрицательного знака на низком пороге регистрации нейтронов.

3. Измеренные в настоящей работе значения V не противоречат выводам современных моделей ^{/16,17/} ядерного μ^- -захвата.

Литература

1. A. Astbury, I.M. Blair et al. Phys. Rev. Lett., 3, 467 (1959).
2. A. Astbury, J.H. Bartley. Proc. Phys. Soc., 79, 1011 (1962).
3. V. Telegdi. Proc. of the 1960 Annual Intern. Conf. on High Energy Physics at Rochester, p. 713 (1960).
4. W. Baker, C. Rubbia. Phys. Rev. Lett., 3, 179 (1959).
5. В.С. Евсеев, В.С. Роганов, В.А. Черногорова, Чжан Жунь-ва, М. Шимчак. Препринт ОИЯИ Е-2517, Дубна, 1965,
6. E.W. Anderson. Columbia Univ., NEVIS - 136 (1965).
7. J. Sculli. Columbia Univ., NEVIS -168 (1969).
8. R.M. Sundelin, R.M. Edelman. Phys. Rev. Lett., 20, 1198a 1201 (1968); R.M. Sundelin, R.M. Edelman. Proc. III Intern. Conf. on High Energy Phys. and Nucl. Structure, Plenum Press, N-Y-L, p. 150 (1970).
9. В.С. Евсеев. Замечание к докладу M, Rho, Proc. III Intern. Conf. on High Energy Phys. and Nucl. Structure, Plenum Press, N-Y-L, p. 134 (1970).
10. И. Войтковска, В.С. Евсеев, Т. Козловски, Т.Н. Мамедов, В.С. Роганов. Препринт ОИЯИ, P15-5524, Дубна, 1970.
11. R.J. Kurz. UCRL-11339 (1964).
12. В.Г. Варламов, Ю.М. Грашин, А.В. Демьянов, Б.А. Долгошеин, В.С. Роганов. Препринт ОИЯИ 1-4084, Дубна, 1968.
13. T. Kozlowski. Nukleonika, XIII, 999 (1968).
14. R.N. St. Onge, I.A. Lochwood. Nucl. Instr. Meth., 69, No 1, 25 (1969).
15. J.C. Sens. Phys. Rev., 113, 679 (1959); M. Echausse, R.T. Siegel, R.E. Welsh. Nucl. Phys., 81, 575 (1966).
16. V.V. Balashov, R.A. Eramzhyan et al. Proc. III Intern. Conf. on High Energy Phys. and Nucl. Structure, Plenum Press, N-Y-L, p. 174 (1970).

17. A. Bogan, Nucl. Phys., B 12 89 (1969);
C.A. Piketti, J. Procureor. Nucl. Phys., B26, 390 (1971).
18. V. Evseev, T. Kozlowski, V. Roganov, J. Wojtkowska. Proc. III Intern. Conf. p. 157 (1970).

Рукопись поступила в издательский отдел
10 сентября 1971 года.