



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

Ю.М. Казаринов, Ю.Н. Симонов

P-920

**N-P -РАССЕЯНИЕ
ПРИ ЭНЕРГИИ НЕЙТРОНОВ
200 МЭВ**

*ЖЭТФ, 1962, т.43, в.1, с.35-39.
СЭЯИ, 1962, вып. 14.*

Дубна 1962 г.

Ю.М. Казаринов, Ю.Н. Симонов

P-920

N-P -РАССЕЯНИЕ
ПРИ ЭНЕРГИИ НЕЙТРОНОВ
200 МЭВ

ОГКМОНЧ 117
ИХ ИССЛЕД
БЛИОТЕКА

А н н о т а ц и я

Измерены полное и дифференциальные сечения рассеяния нейтронов протонами при эффективной энергии нейтронов 200 Мэв. Полное сечение $\sigma_t = 42,7 \pm 0,9 \cdot 10^{-27} \text{ см}^2$. $\sigma(\theta)$ /система ц.и./ заметно несимметрично относительно угла $\theta = 90^\circ$. Константа π -мезон-нуклонного взаимодействия, найденная по измеренным угловым распределениям рассеянных частиц, $f^2 = 0,08 \pm 0,02$.

Попытки определения константы π -мезон-нуклонного взаимодействия непосредственно из данных опытов по рассеянию нуклонов нуклонами^{/1-5/} показали, что величина f^2 , найденная таким способом, по-видимому, не противоречит значению $f^2 = 0,08$, полученному из опытов по π - p -рассеянию. Следует заметить, правда, что все средние значения f^2 при этом лежат систематически ниже величины 0,08.

С целью выяснения насколько удовлетворительно с точки зрения определения f^2 данные по (np) и $(\pi-p)$ -рассеянию согласуются друг с другом, а также с целью получения данных для проведения фазового анализа, были выполнены измерения дифференциальных сечений $(n-p)$ -рассеяния при энергии 200 Мэв. При этом коридор ошибок в основной части кривой был уменьшен до 3-5%.

Постановка опыта

Использованный нейтронный пучок получался в результате стриппинга дейтронов, ускоренных до энергии $E_d = 400$ Мэв в синхроциклотроне Объединенного института ядерных исследований. Энергетическое распределение нейтронов, найденное дифференцированием кривой поглощения протонов отдачи от упругих $(n-p)$ -столкновений, имеет максимум при $E_n = 192$ Мэв/рис.1/ и вполне удовлетворительно совпадает с распределением, даваемым формулой Сербера для непрозрачного ядра^{/6/}

$$N(E_n) = \frac{(\epsilon E_d)^{3/2}}{[(E_n - \frac{E_d}{2})^2 + \epsilon E_d]^{3/2}}, \quad /1/$$

где

ϵ - энергия связи дейтрона. Средняя эффективная энергия в предположении постоянства сечения $(n-p)$ -рассеяния в интервале 170-400 Мэв и при пороге детектора 170 Мэв составляет при этом 205 Мэв. Данные, приведенные в работе^{/7/} для энергий 90-400 Мэв, указывают на медленное падение дифференциальных сечений $\sigma(\theta)$ с ростом энергии. Энергетическую зависимость

$\sigma(\theta)$ в этом интервале энергий можно представить в виде

$$\sigma(\theta, E) = \sigma(\theta, E_0) [1 - b(E - E_0)],$$

где $b = 6; 17; 15; 16 \cdot 10^{-4} \text{ Мэв}^{-1}$ для $\theta = 180, 140, 90$ и 36° , соответственно, $E_0 = 300 \text{ Мэв}$. С учетом этого медленного изменения сечения / $b = 15 \cdot 10^{-4} \text{ Мэв}$ / среднее значение энергии в использованном участке спектра снижается до 200 Мэв .

Для измерения дифференциальных сечений ($n-p$)-рассеяния в интервале углов отдачи $0 \leq \phi \leq 55^\circ$ л.с. / $67^\circ 30' \leq \theta \leq 180^\circ$ с.ц.и./ регистрировались протоны отдачи. Выход протонов отдачи определяется по разности эффектов от рассеивателей из полиэтилена (CH_2) и графита (С), поочередно помещаемых в пучок нейтронов. Детектором при этом служил телескоп из трех сцинтилляционных счетчиков. Порог детектора задавался медным фильтром, помещаемым перед последним счетчиком телескопа. В качестве рассеивателей использовались эквивалентные по тормозной способности диски из полиэтилена и графита с плотностью /для графита/ $3 \text{ г/см}^2; 1,5 \text{ г/см}^2; 0,5 \text{ г/см}^2$ при измерениях в интервалах углов $\Phi = 0 \div 20^\circ; 20^\circ \div 40^\circ; 40^\circ \div 55^\circ$, соответственно. Угловое разрешение составляло 2° при измерениях средней части кривой $67^\circ 30' \leq \theta \leq 160$ и уменьшалось в области $160 \leq \theta \leq 180$ до 1° . Ионизационные потери энергии протонов отдачи в рассеивателях при указанных плотностях в среднем не превосходили 10% от средней энергии протонов отдачи.

Резкое уменьшение энергии протонов отдачи на углах $\Phi < 55^\circ$ вынуждало для измерения дифференциальных сечений ($n-p$)-рассеяния в области $\theta < 67^\circ 30'$ непосредственно регистрировать рассеянные нейтроны /углы рассеяния $\Theta < 32^\circ 30'$ л.с./ . Нейтронный детектор в принципе не отличался от использованного ранее в работе^{/8/} и поэтому подробно не описывается. Угловое разрешение нейтронного детектора составляло 3° при измерениях на углах $\Theta > 20^\circ$ и 2° - при $\Theta < 20^\circ$. Энергетический порог задавался медным фильтром. При расчете толщины фильтра принималось, что средние потери энергии нейтрона при обменном рассеянии в "конверторе" (CH_2) составляют 15% .

В качестве рассеивателей при измерениях нейтронным детектором в опытах на углах $\theta > 10^\circ$ были использованы пластинки полиэтилена C_2H_4 и графита C /плотность $3,5 \text{ г/см}^2$ /; на углах $\theta < 10^\circ$ рассеивателем служил дьюар с жидким водородом / $1,0 \text{ г/см}^2 \text{ H}_2$ /. Нейтронный пучок имел прямоугольное сечение размером $1,5 \times 6 \text{ см}$. Отношение скоростей счета с конвертором и без него составило 6:1.

Данные, полученные разными способами измерений, исправлялись на эффективности регистрации, "сшивались" на угле $\theta = 65^\circ 30'$ /с.п.и./и после этого нормировались на полное сечение (np) -рассеяния $42,7 \pm 0,9 \cdot 10^{-27} \text{ см}^2$.

Измерение полного сечения (np) -взаимодействия было проведено в опыте по поглощению нейтронного пучка, выполненном в "хорошей" геометрии. Угловое разрешение детектора составляло $0,15^\circ$. Порог по энергии первичных нейтронов-170 Мэв. Регистрировалась разность эффектов поглощения от помещаемых в нейтронный пучок поглотителей из полиэтилена C_2H_4 (59 г/см^2) и графита (54 г/см^2). Поправки на эффективность регистрации протонов отдачи, которые возникают из-за поглощения и рассеяния протонов в фильтрах, задающих порог детектора, определялись экспериментально. Для этого на пучке протонов с энергией 500 Мэв двумя телескопами, включенными на совпадения, регистрировались случаи упругого $(p-p)$ -рассеяния. Угол рассеяния выбирался таким образом, чтобы энергия рассеянного протона совпадала со средней энергией протонов отдачи, для которых измерялась поправка на поглощение. Последняя при этом находилась как отношение скоростей счета при наличии фильтра в телескопе и без него. Поправки были измерены с точностью 2% для углов $\Phi = 0, 10, 15, 20, 25, 30, 45, \text{ и } 55^\circ$. Значения поправок для промежуточных углов Φ находились линейной интерполяцией. Величины поправок менялись от $1,19 \pm 0,02$ / $\Phi = 0$ / до $1,04 \pm 0,02$ / $\Phi = 55^\circ$ /.

Относительная эффективность нейтронного детектора зависит как от поглощения протонов, вылетающих из "конвертора", в фильтрах, так и от вероятности "перезарядки" нейтрона данной энергии в "конверторе". Поправки на поглощение в фильтрах в этом случае также определялись экспериментально для углов $\theta = 0, 15, 35^\circ$. Величины их менялись от $1,26 \pm 0,03$ ($\theta = 0^\circ$) до $1,1 \pm 0,04$ / $\theta = 32^\circ 30'$ /. Вероятность регистрации "перезарядки" $K(E)$ рассчитывалась в предположении, что угловое распределение протонов, вылетающих из "конвертора" при бомбардировке его нейтронами данной энергии, совпадает с угловым распределением рассеянных частиц при упругих (n-p) -столкновениях, а средняя энергия протонов при этом меняется пропорционально $\cos^2 \phi$, где ϕ - угол выхода протона из "конвертора". Расчеты, выполненные на основании данных о $\sigma(\theta)$ при энергиях 90, 156 и 300 Мэв^{/7/}, показали, что $K(E)$ в описываемых условиях слабо зависит как от энергии нейтронов, падающих на конвертор, так и от угла $\Delta \phi$, охватываемого телескопом, регистрирующим протоны, вылетающие из конвертора. Так, при уменьшении энергии от 200 до 130 Мэв /углы рассеяния $0 \leq \theta \leq 63,5^\circ$ / изменение не превышает 25%. Примерно такое же изменение происходит и при уменьшении $\Delta \phi$ от 40° до 10° при заданном значении E. Для исправления экспериментальных данных были взяты значения $K(E)$ при $\Delta \phi = 30^\circ$. Величина поправки при этом в интервале $32,5^\circ \geq \theta \geq 3^\circ$ меняется от $1 \pm 0,05$ до $1,2 \pm 0,05$.

Р е з у л ь т а т ы

Результаты измерений представлены на рис. 2. В указанные ошибки кроме ошибок, определяемых статистикой счета регистрируемых частиц, включены ошибки определения относительной эффективности регистрации /2% и 6% при регистрации протонов отдачи и рассеянных нейтронов, соответственно/.

Измеренная зависимость дифференциального сечения от угла рассеяния заметно несимметрична относительно угла $\theta = 90^\circ$. Отношение выходов рассеянных частиц в переднюю и заднюю полусферу равно 1,5.

Полученные данные были обработаны с целью получения константы π - мезон-нуклонного взаимодействия методом, указанным в работе^{/4/}. Для этого

$\sigma(\theta)$ аппроксимировалось выражением:

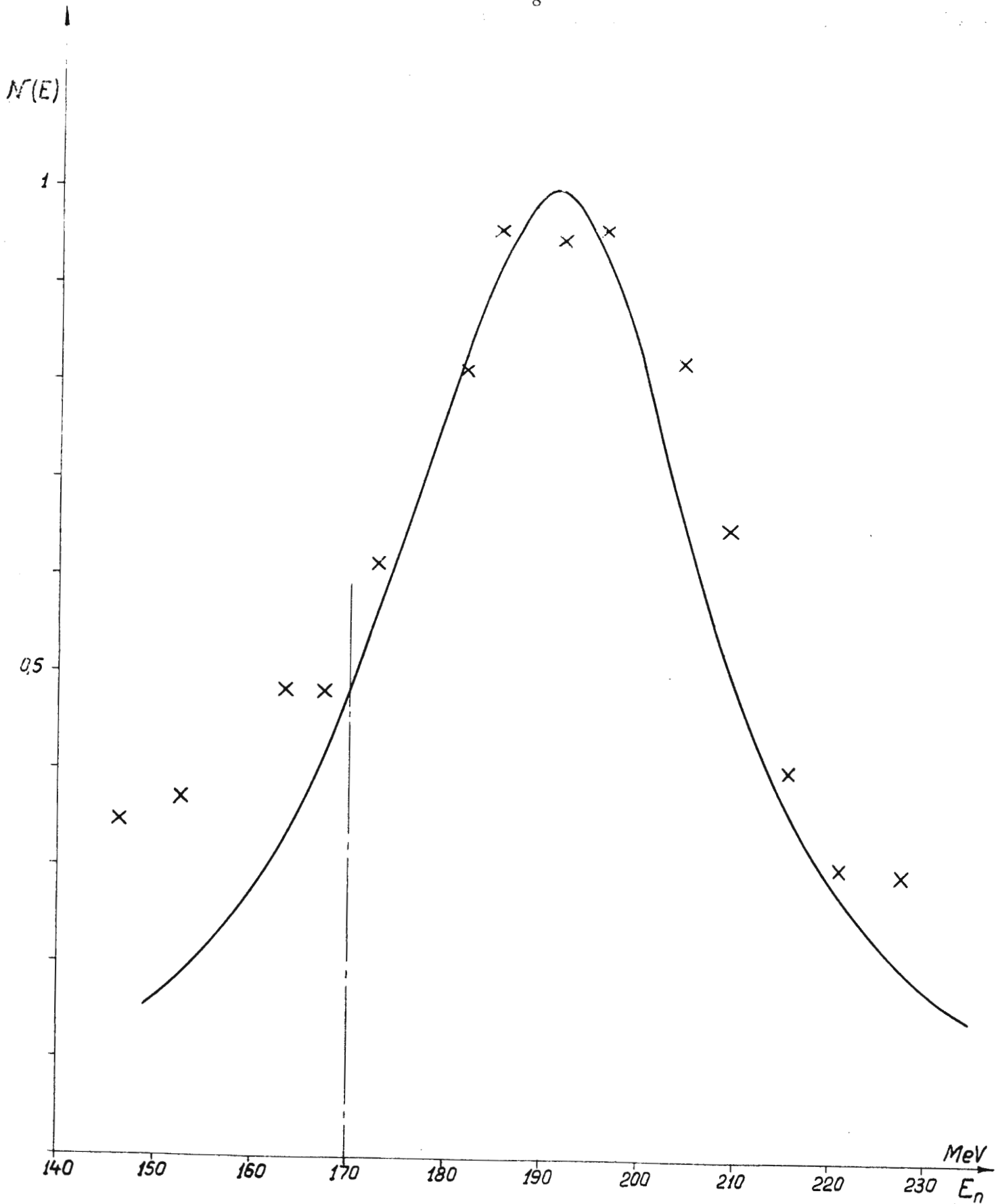
$$\sigma(\theta) = a_1 \left[\frac{1}{(x_0 - x)^2} + \frac{4}{(x_0 + x)^2} \right] + \frac{a_2}{x_0 - x} + \frac{a_3}{x_0 + x} + \sum_{n=0}^{n_{\max}} b_n x^n, \quad /2/$$

где $x = \cos \theta$, $x_0 = 1 + \frac{\mu^2}{2k^2}$, μ — масса π -мезона, K — импульс в системе центра инерции, a и b — неопределенные коэффициенты. n_{\max} в аппроксимирующем выражении определялось на основании того, что сингулярные члены амплитуды рассеяния не дают вклада в поляризацию $\sigma(\theta) P(\theta)$ /5/ и было взято равным шести. Коэффициенты a и b определялись методом наименьших квадратов. Полученное при этом значение коэффициента a_1 , дает $f^2 = 0,08 \pm 0,02$. Следует заметить, однако, что точности полученных экспериментальных данных для последовательного проведения f^2 -анализа и нахождения таким образом величины n_{\max} в аппроксимирующем выражении без привлечения данных о поляризации недостаточно.

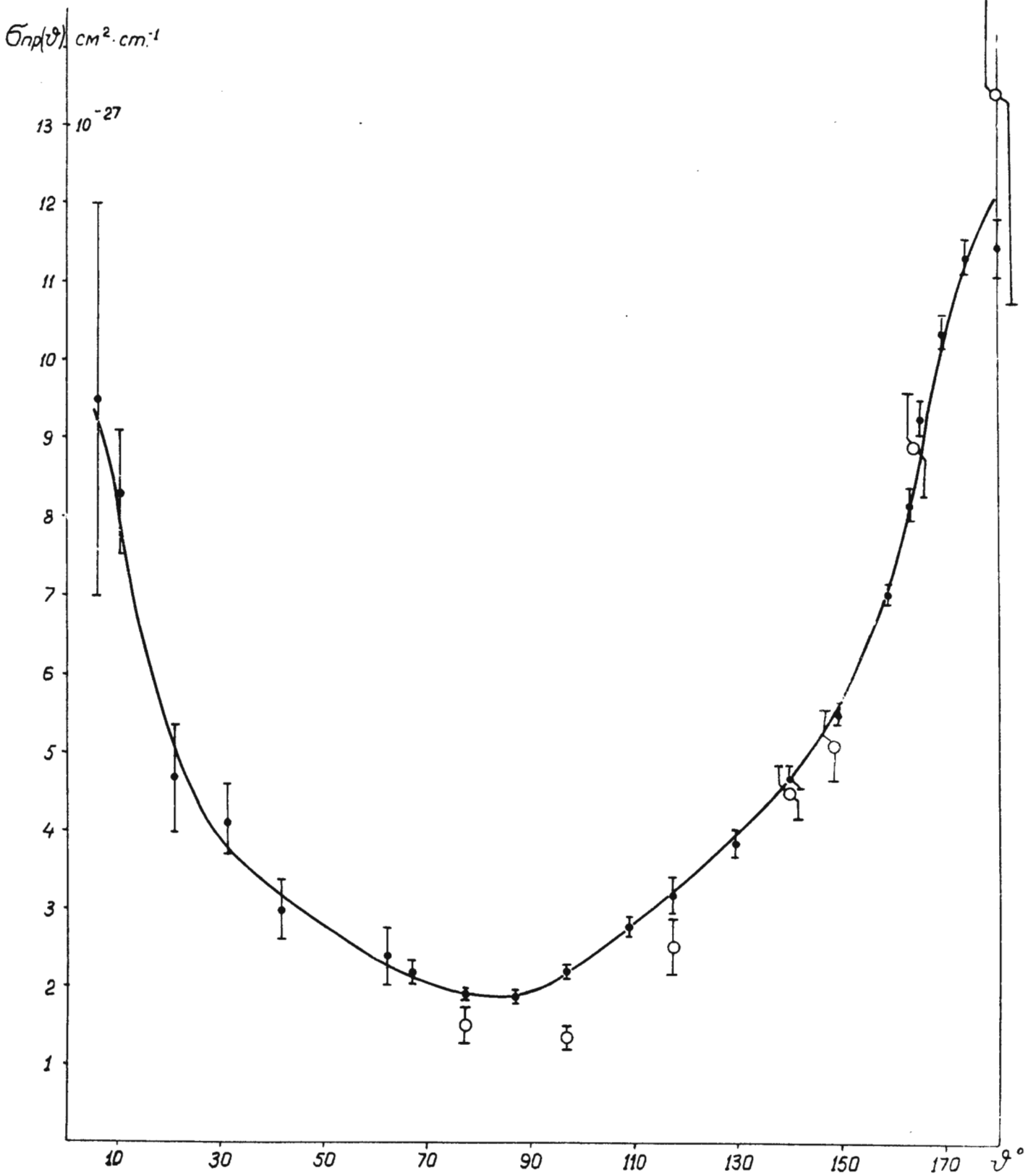
Планирование эксперимента, выполненное способом, предложенным в работе /8/, показывает, что для более точного определения f^2 желательно увеличить точность в области углов $\theta < 50^\circ$ и на угле $\theta = 180^\circ$ /рис. 3/.

Дифференциальное сечение рассеяния на угол 0° при найденных коэффициентах a и b оказывается равным $/9,1 \pm 1,1/ 10^{-27} \text{ см}^2/\text{стерад}$. По оптической теореме вклад от мнимой части амплитуды рассеяния в $\sigma(0)$ при этом равен $/2,7 \pm 0,1/ 10^{-27} \text{ см}^2/\text{стерад}$, т.е. составляет примерно 30%. Из работы /4/ следует, что имеющиеся данные о $(p-p)$ -рассеянии при энергии 90 Мэв /7/ дают для $\sigma(\theta)$ величину $11,7 \cdot 10^{-27} \text{ см}^2/\text{стерад}$ и вклад от мнимой части амплитуды рассеяния в $\sigma(0)$ равен $/3,9 \pm 0,4/ \cdot 10^{-27} \text{ см}^2/\text{стерад}$, т.е. также примерно 30%. Таким образом, при энергии 90 и 200 Мэв вещественная часть амплитуды рассеяния дает весьма большой вклад в сечение рассеяния на 0° .

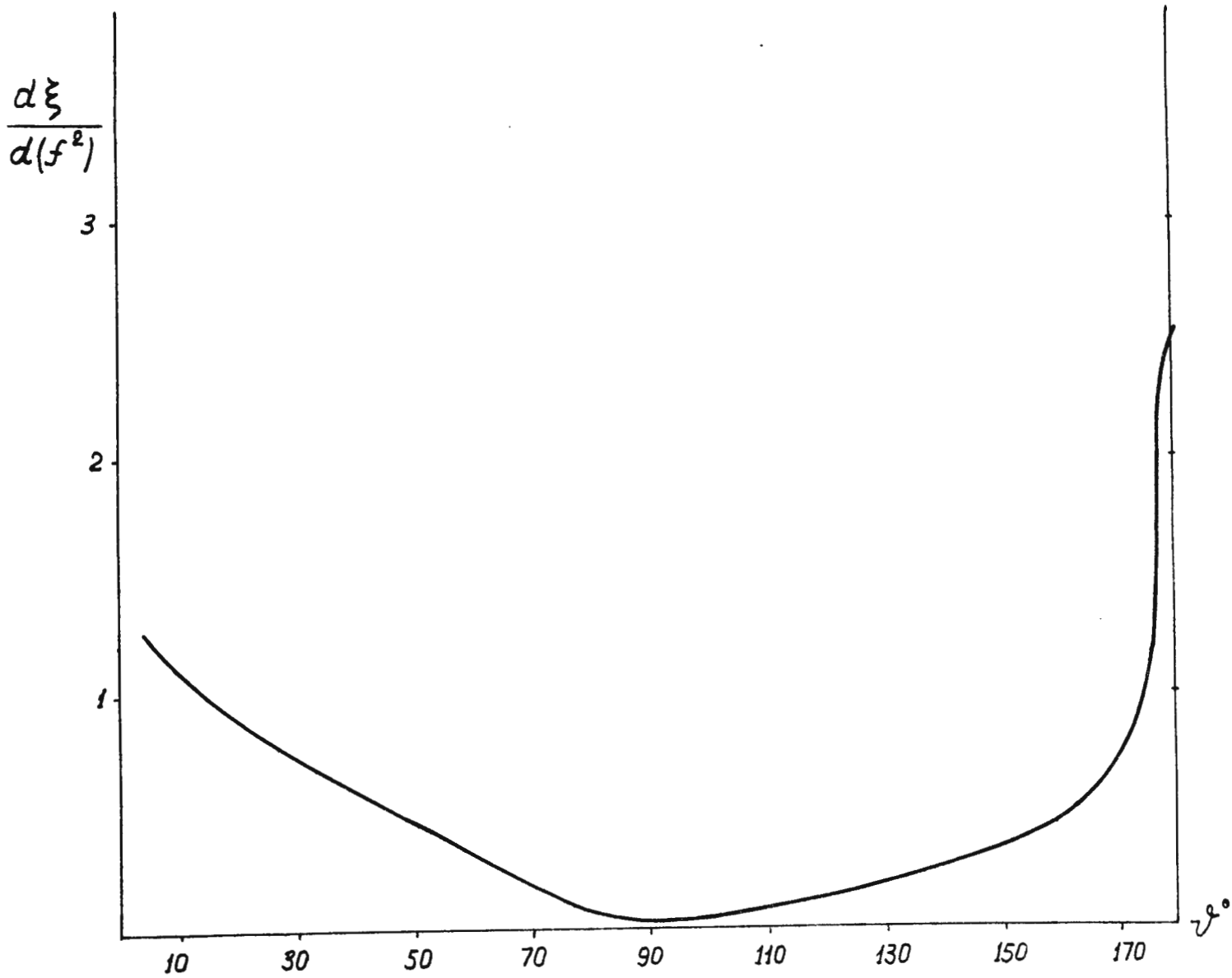
Авторы благодарны научному сотруднику И.Н.Силину и мл.научному сотруднику В.С. Киселову за помощь в работе.



Р и с. 1. Энергетическое распределение нейтронов от стриппинга дейтронов с энергией 400 Мэв. Сплошная кривая рассчитана по формуле Сербера, \times - результат дифференцирования кривой поглощения протонов отдачи.



Р и с. 2. Зависимость дифференциальных сечений от угла рассеяния.
 \circ - работа [9], \bullet - данная работа.



Р и с. 3. Зависимость производной функции информации ξ по константе f^2 от угла рассеяния.

Л и т е р а т у р а

1. Н.С. Амаглобели, Ю.М. Казаринов. ЖЭТФ, 37, 1587, 1959.
2. P.Cziffra, M.J.Moravcsik. 116, 226 (1959).
3. Н.С. Амаглобели, Б.М. Головин, Ю.М. Казаринов, Н.М. Полев.
ЖЭТФ, 38, 660, 1960.
4. Н.С. Амаглобели, Ю.М. Казаринов, И.Н. Силин, С.Н. Соколов.
ЖЭТФ, 38, 948, 1960 г.
5. Ю.М. Казаринов, В.С. Киселев, И.Н. Силин, С.Н. Соколов. ЖЭТФ,
41, 197; 1961 г.
6. R.Serber. Phys.Rev. 72, 1008 (1948).
7. W.H.Hess. Rev.Mod.Phys. 30, 368 (1958).
8. Н.С. Амаглобели, Ю.М. Казаринов. ЖЭТФ, 34, 53, 1958 г.
9. Guernsey, Mott, Nelson. Phys.Rev. 88, 15 (1952).

Рукопись поступила в издательский отдел
16 февраля 1962 г.