

С 346.28

К-143



18/IV-64

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

Ю.М. Казаринов, Ф. Легар, Г. Петер, А.Ф. Писарев, К.М. Фальбрух

P-1817

ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ
СПИНОВОЙ КОРРЕЛЯЦИИ S_{nn} И S_{kp}
В УПРУГОМ РР-РАССЕЯНИИ
ПРИ ЭНЕРГИИ 315 МЭВ
ПОД УГЛОМ 45° В С.Ц.М.

ЖЭТФ, 1964, т 47, в 3, с 848-854.

Дубна 1964

1964. 26
4' 148

2395/3 48.

ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ
СПИНОВОЙ КОРРЕЛЯЦИИ C_{sp} И C_{kr}
В УПРУГОМ РР-РАССЕЯНИИ
ПРИ ЭНЕРГИИ 315 МЭВ
ПОД УГЛОМ 45° В С.Ц.М.

Направлено в ЖЭТФ



Дубна 1964

Казаринов Ю.М., Легар Ф., Петер Г.,
Писарев А.Ф., Фальбрух К.М.

P-1617

Измерение коэффициентов спиновой корреляции C_{nn} и C_{kp} в упругом pp -рассеянии при энергии 315 Мэв под углом 45° в с.ц.м.

Методом искровых камер измерены коэффициенты спиновой корреляции C_{nn} и C_{kp} в упругом pp -рассеянии при энергии 315 Мэв под углом 45° в с.ц.м. Коэффициенты равны: $C_{nn} = +0,90 \pm 0,51$ и $C_{kp} = +0,74 \pm 0,51$. С учетом этих данных выполнен фазовый анализ pp -рассеяния при энергии 310 Мэв. Показано, что существование первого набора фазовых сдвигов, ранее найденных в работах^{/1-3/}, более вероятно, чем второго набора.

Препринт Объединенного института ядерных исследований.
Дубна. 1964.

Kazarinov Yu.M., Lehar F. Peter G. Pisarev A.F., Vahlbruch K.M.

P-1617

Measurement of the Spin Correlation Coefficients C_{nn} and C_{kp}
in Elastic 315 MeV Scattering at 45° (c.m.s.)

The spin correlation coefficients C_{nn} and C_{kp} in elastic 315 MeV pp -scattering at 45° (c.m.s.) have been measured by the spark chamber technique. The coefficients have been found to be as follows: $C_{nn} = +0.90 \pm 0.51$ and $C_{kp} = +0.74 \pm 0.51$. The phase shift analysis has been carried out with the account of the above data. The existence of the first phase shift set obtained earlier^{/1-3/} is shown to be more probable than that of the second set.

Preprint. Joint Institute for Nuclear Research.
Dubna. 1964.

В 1957 году Стапп и др.^{/1/} выполнили фазовый анализ для pp -рассеяния при энергии 315 Мэв и нашли пять различных решений. Позже Чиффра и др.^{/2/}, применяя модифицированный фазовый анализ, уменьшили число решений до двух. Эти два набора фазовых сдвигов затем подтвердились в работе Казаринова и Силина^{/3/}, которые провели совместный анализ pp и pp -данных и учли экспериментальное значение коэффициента спиновой корреляции C_{nn} (315 Мэв, 90°), измеренного в Ливерпуле^{/4/} и Дубне^{/5/}.

Стало очевидно, что для однозначного определения фазовых сдвигов необходимо продолжить экспериментальные измерения новых параметров рассеяния и провести значительное уточнение экспериментальных данных, вошедших в фазовые анализы^{/1-3/}. Из рассмотрения кривых зависимости параметров pp -рассеяния от угла рассеяния для первого и второго наборов фазовых сдвигов, вычисленных в работе^{/6/}, следует, что наиболее чувствительными параметрами рассеяния к соответствующему набору фазовых сдвигов являются коэффициенты спиновой корреляции C_{nn} и C_{kp} под углом 45° в с.ц.м. Так, для первого набора фазовых сдвигов $C_{nn}(45^\circ) = 0,81 \pm 0,01$ и $C_{kp}(45^\circ) = +0,75 \pm 0,01$, а для второго набора - $C_{nn} = +0,31 \pm 0,03$ и $C_{kp} = +0,05 \pm 0,04$. Это обстоятельство побудило авторов настоящей работы выполнить измерения коэффициентов C_{nn} и C_{kp} на пучке протонов с энергией 315 Мэв под углом 45° .

Постановка эксперимента

Измерение коэффициентов C_{nn} и C_{kp} выполнялось на пучке протонов от синхротрона ОИЯИ по схеме, изображенной на рис. 1. Протоны с энергией 660 Мэв тормозились в полиэтиленовом блоке до энергии 315 Мэв и рассеивались на водородосодержащей мишени (CH_2 , ~ 140 кг/м²). Второе рассеяние протонов происходило на анализирующих мишенях, помещенных внутри искровых камер. Протоны, первоначально рассеянные под углом 21° л.с., имели энергию 269 Мэв и анализировались на алюминевой мишени толщиной 270 кг/м². Протоны отдачи имели энергию около 29 Мэв и вторично рассеивались на мишени из сцинтилирующей пластмассы (CH_2) толщиной 5,5 кг/м². Эта мишень одновременно являлась и элементом счетчика 3 (см. рис. 1). Конструкция и характеристики искровых камер, использованных в эксперименте, опубликованы в работе^{/7/}. Акты упругого pp -рассеяния выделялись счетчиками 1, 2 и 3, включенными в схему совпадений с временем разрешения $2 \cdot 10^{-8}$ сек, а рассеяние на

анализирующих мишенях - счетчиками 4, 5 и 6, включенными в схему антисовпадений с разрешением $4 \cdot 10^{-8}$ сек. Этими схемами выделялись случаи тройного рассеяния протонов и осуществлялся запуск высоковольтного импульсного генератора, питавшего искровые камеры. Регистрация протонов в камере после рассеяния на алюминиевой мишени и мишени из сцинтилирующей пластмассы производилась в интервале углов от 5° до 40° и от 23° до 70° , соответственно. Однако в последующем анализе треков принимались во внимание только треки тех частиц, которые в результате второго рассеяния попадали в интервалы углов $8^\circ-29^\circ$ и $30^\circ-80^\circ$, соответственно. Эта мера позволила избежать асимметрию, связанную с возможной неточностью юстировки счетчиков 4, 5 и 6. В указанных пределах углов было зарегистрировано 1683 случая коррелированного рассеяния протонов.

Определение угловой зависимости поляризации протонов,
рассеянных на анализирующих мишенях

Для определения анализирующей способности вторичных мишеней на электронно-счетной машине подвергались отдельному анализу треки протонов, зарегистрированных либо только в левой, либо только в правой камерах. Угловая зависимость поляризации протонов определялась из статистическою материала, полученного в эксперименте, по методу максимума правдоподобия. Для этого весь диапазон вторичного рассеяния протонов в каждой камере разбивался на несколько интервалов и для каждого из них функция правдоподобия записывалась в следующем виде:

$$L(a) = \prod_{i=1}^N (1 + a_i \cos \phi_i), \quad (1)$$

где

$$a_i = P_0 P_j, \quad (2)$$

P_0 - поляризация протонов после первого рассеяния, P_j - анализирующая способность мишени под углом θ_j , $j = 1, 2, \dots, n$, n - число интервалов разбиения углов вторичного рассеяния, N - число случаев рассеяния протонов в одной камере, наблюдавшихся в интервале углов $\theta_j \pm \Delta \theta_j$, ϕ_i - азимутальный угол рассеяния i -го протона в камере. Углы θ_j и ϕ_i связаны с углами проекций трека на вертикальную (θ_1^i) и горизонтальную (θ_2^i) плоскости рассеяния следующими соотношениями:

$$\operatorname{tg}^2 \phi_i = \operatorname{tg}^2 \theta_1^i + \operatorname{tg}^2 \theta_2^i, \quad (3)$$

$$\operatorname{tg} \theta_1 = \operatorname{tg} \theta_1^i / \operatorname{tg} \theta_2^i. \quad (4)$$

Максимум функции $L(a_j)$ находится в точке наименьшей величины a_j^* [8,9]. Таким образом определение a_j^* сводится к нахождению экстремума функции $L(a_j)$. Практическое решение этой задачи сводится к поиску корня уравнения

$$\left. \frac{\partial [L(a_j)]}{\partial a_j} \right|_{a_j^*} = \sum_{i=1}^N \frac{\cos \phi_i}{1 + a_j \cos \phi_i} = 0, \quad (5)$$

Для определения ошибки Δa_j^* используется формула [9]

$$\Delta a_j^* = \sqrt{\frac{\int_{-1}^1 (a_j - a_j^*)^2 L(a_j) da_j}{\int_{-1}^1 L(a_j) da_j}}. \quad (6)$$

Значение поляризации P_j находится по формуле

$$\frac{a_j^* + \Delta a_j^*}{P_0 + \Delta P_0} \cdot \frac{1}{1 - \beta - \gamma}, \quad (7)$$

где β и γ - поправки на вклад в рассеяние от углерода CH_2 и фона случайных совпадений, $P_0(45^\circ \text{ с.п.м.}) = 0,37 \pm 0,02$ [10].

Результаты анализа всех случаев рассеяния протонов на анализирующих мишенях представлены на рис. 2. Значения поляризации P_1 и P_2 оказались близкими к величинам, ранее полученным в работах [11,12].

Кривые рис. 2 наилучшим образом аппроксимируются следующими функциями:

$$P_1(\theta) = \sin \theta \{-6,10 + 19,60 \cos \theta - 21,14 \cos^2 \theta + 7,60 \cos^3 \theta\} 10^3 \quad (8)$$

$$P_2(\theta) = \sin \theta \{3,33 - 10,41 \cos \theta + 7,15 \cos^2 \theta\}. \quad (9)$$

Средние значения поляризаций P_1 и P_2 , определенных на интервалах углов $8^\circ - 29^\circ$ и $30^\circ - 60^\circ$, соответственно равны $\bar{P}_1(8^\circ - 29^\circ) = 0,41 \pm 0,03$ и $\bar{P}_2(30^\circ - 60^\circ) = -0,24 \pm 0,04$.

Произведение средних значений поляризаций $\bar{P}_1 \bar{P}_2$ дает

$$\bar{P}_1 \bar{P}_2 = -0,098 \pm 0,018. \quad (10)$$

Величина

$$\frac{1}{1 + \frac{\Delta(\bar{P}_1 \bar{P}_2)}{\bar{P}_1 \bar{P}_2}} = \frac{1}{1 \pm 0,18} \quad (11)$$

определяет вклад ошибок $\Delta \bar{P}_2$ и $\Delta \bar{P}_1$ в ошибки ΔC_{nn} и ΔC_{kp} .

Как и в случае обработки статистического материала по поляризации, анализ событий коррелированного рассеяния протонов выполнялся также по методу максимума правдоподобия.

Исходной формулой для составления функции правдоподобия служит выражение для угловой зависимости коррелированного рассеяния двух протонов /13,14/

$$\begin{aligned} \sigma(\theta_1, \phi_1, \theta_2, \phi_2) = & \sigma(\theta_1) \sigma(\theta_2) [1 + P_0(\theta) P_1(\theta_1) \cos \phi_1 + \\ & + P_0(\theta) P_2(\theta_2) \cos \phi_2 + C_{nn} P_1(\theta_1) P_2(\theta_2) \cos \phi_1 \cos \phi_2 + \\ & + C_{kp} P_1(\theta_1) P_2(\theta_2) \sin \phi_1 \sin \phi_2] , \end{aligned} \quad (12)$$

где θ - угол первого рассеяния в с.ц.м., θ_1 и ϕ_1 , θ_2 и ϕ_2 - углы второго рассеяния на первой и второй анализирующих мишенях в л.с. соответственно.

Для одного акта коррелированного рассеяния члены в квадратной скобке выражения (12) имеют вид

$$\begin{aligned} p_i = & [1 + P_0 P_1(\theta_1^i) \cos \phi_1^i + P_0 P_2(\theta_2^i) \cos \phi_2^i + C_{nn} P_1(\theta_1^i) P_2(\theta_2^i) \times \\ & \cos \phi_1^i \cos \phi_2^i + C_{kp} P_1(\theta_1^i) P_2(\theta_2^i) \sin \phi_1^i \sin \phi_2^i] . \end{aligned} \quad (13)$$

По аналогии с (1) имеем

$$L(C_{nn}, C_{kp}) = \prod_{i=1}^N p_i , \quad (14)$$

где N - число корреляционных случаев рассеяния. Максимум функции (14) находится в точке, где $C_{nn} = C_{nn}^*$ и $C_{kp} = C_{kp}^*$ /14/. Для определения C_{nn}^* и C_{kp}^* удобно пользоваться выражением

$$\ln L = \sum_{i=1}^N \ln p_i . \quad (15)$$

Частные производные от (15) по C_{nn} и C_{kp} дают два уравнения для определения C_{nn}^* и C_{kp}^* .

$$\left. \frac{\partial (\ln L)}{\partial C_{nn}} \right|_{C_{nn}^*} = \sum_{i=1}^N \frac{P_1(\theta_1^i) P_2(\theta_2^i) \cos \phi_1^i \cos \phi_2^i}{P_i} = 0 \quad (16)$$

$$\left. \frac{\partial (\ln L)}{\partial C_{kp}} \right|_{C_{kp}^*} = \sum_{i=1}^N \frac{P_1(\theta_1^i) P_2(\theta_2^i) \sin \phi_1^i \sin \phi_2^i}{P_i} = 0 . \quad (17)$$

Ошибки ΔC_{nn}^* и ΔC_{kp}^* находятся по формуле^{/14/}

$$\Delta C^* = \frac{2}{\sqrt{N} \frac{P_1}{P_2}} \quad (18)$$

Для анализа на электронно-счетной машине брались только те корреляционные случаи рассеяния, у которых углы Θ_1 и Θ_2 удовлетворяли условиями $8^\circ \leq \Theta_1 \leq 29^\circ$ и $30^\circ \leq \Theta_2 \leq 60^\circ$. В этих интервалах углов было зарегистрировано 1663 случая рассеяния. Подставляя в (18) $N=1663$, $P_1=0,41$ и $P_2=0,24$, находим, что $\Delta C^*=0,49$.

Для определения инструментальной ошибки использовались N^i случаев некоррелированного рассеяния, которые были получены из N коррелированных событий путем комбинирования каждого i -случая рассеяния протона в одной камере с $i \pm 1$, $i \pm 2$ и т.д. случаями рассеяния протонов в другой камере^{/14/}.

В результате анализа на электронно-счетной машине 1663 случая коррелированного рассеяния и учета инструментальной ошибки, величина которой не превышала 10% от $C_{\mu\nu}^*$, было получено

$$C_{nn}^* = +0,84 \pm 0,49 \quad (19)$$

$$C_{kp}^* = +0,69 \pm 0,49. \quad (20)$$

Поправки на случайный фон измерения δ и счет от углеродной мишени β , поставленной на место первого рассеивателя, а также ошибки в определении поляризации \bar{P}_1 и \bar{P}_2 учитывались по формуле:

$$C_{\mu\nu} = \frac{C_{\mu\nu}^* + \Delta C_{\mu\nu}^*}{(1-\delta-\beta)\left(1 + \frac{\Delta(\bar{P}_1 \bar{P}_2)}{\bar{P}_1 \bar{P}_2}\right)}. \quad (21)$$

Подставляя в (21) численные значения параметров, полученных в контрольных опытах: $\delta = (4 \pm 1)\%$, $\beta = (3 \pm 1)\%$, а также величины: $\frac{\Delta(\bar{P}_1 \bar{P}_2)}{\bar{P}_1 \bar{P}_2} = 0,18$, $C_{\mu\nu}^*$ и $\Delta C_{\mu\nu}^*$ находим

$$C_{nn} = +0,90 \pm 0,51 \quad (22)$$

$$C_{kp} = +0,74 \pm 0,51. \quad (23)$$

Фазовый анализ pp -рассеяния при энергии 310 Мэв

С учетом полученных значений коэффициентов спиновой корреляции C_{nn} и C_{kp} был выполнен фазовый анализ pp -рассеяния при энергии 310 Мэв. Варьировались оба набора фазовых сдвигов pp -рассеяния, ранее полученных в совместном фазовом анализе pn - и pp -данных при энергии 310 Мэв^{/3/}. Найденные значения фазовых сдвигов

и рассчитанные по ним коэффициенты C_{nn} (45°) и C_{kp} (45°) представлены в таблицах 1 и 2.

Т а б л и ц а № 1
Фазовые сдвиги в градусах для ℓ макс. ≈ 3

	Набор 1		Набор 2	
	Работа ^{/3/}	Наст. работа	Работа ^{/3/}	Наст. работа
χ^2		32,1 ^{x)}		38,8 ^{x)}
f^2	0,073±0,012 ^{xx)}	0,07±0,012	0,081±0,015 ^{xx)}	0,100±0,014
1S_0	-8,05±1,56	-8,22±1,59	-26,80±1,90	-23,31±2,90
3P_0	-11,29±1,48	-11,16±1,53	-27,95±3,98	-33,02±6,06
3P_1	-28,62±0,76	-28,20±0,87	-9,55±1,06	-10,34±1,01
3P_2	16,38±0,55	16,78±0,59	21,22±1,30	19,75±1,40
D_2	11,48±0,48	11,44±0,49	4,46±0,54	4,33±0,54
ϵ_2	-2,08±0,38	-1,90±0,40	-8,13±0,45	-8,14±0,48
3F_2	1,12±0,60	1,51±0,65	-0,33±1,27	1,44±1,32
3F_3	-2,95±0,60	-3,13±0,67	-0,22±0,43	-0,86±0,45
3F_4	3,15±0,32	3,21±0,38	3,15±0,72	3,89±0,55

x) $\bar{\chi}^2 = 29$.

xx) Константа π -мезон-нуклонного рассеяния взята из работы ^{/15/}.

Т а б л и ц а № 2
Коэффициенты C_{nn} и C_{kp} , вычисленные по фазовым сдвигам

	Набор 1		Набор 2	
	Работа ^{/3/}	Наст. работа	Работа ^{/3/}	Наст. работа
C_{nn} (45°)	0,81±0,01	0,81±0,01	0,31±0,03	0,33±0,05
C_{kp} (45°)	0,75±0,01	0,75±0,02	0,05±0,04	0,09±0,06

Обсуждение результатов

Полученные в эксперименте значения коэффициентов спиновой корреляции содержат сравнительно большие ошибки. Это обстоятельство вызвано главным образом тем, что, как было обнаружено в опыте, протоны с энергией 29 Мэв слабо поляризуются при рассеянии на ядрах (см. рис. 2). Однако несмотря на большие ошибки измерения

C_{nn} и C_{kp} , учет этих величин в фазовом анализе pp -рассеяния при энергии 310 Мэв привел к некоторому изменению средних значений фазовых сдвигов p -волн во втором наборе (см. таблицу 1).

Вместе с тем, экспериментальное значение коэффициентов C_{nn} и C_{kp} позволяет получить непосредственную оценку относительной вероятности существования первого и второго наборов фаз рассеяния. В самом деле,

$$\begin{aligned}
 C_{nn} & - C_{nn}, 1 = 0,09 \pm 0,51 = \delta_1 \pm \Delta \delta_1 \\
 C_{kp} & - C_{kp}, 1 = -0,01 \pm 0,51 = \delta_2 \pm \Delta \delta_2 \\
 C_{nn} & - C_{nn}, 2 = 0,59 \pm 0,51 = \delta_3 \pm \Delta \delta_3 \\
 C_{kp} & - C_{kp}, 2 = 0,69 \pm 0,51 = \delta_4 \pm \Delta \delta_4 .
 \end{aligned} \tag{24}$$

Составляя на основании этих данных отношение функций правдоподобия для первого и второго наборов фазовых сдвигов, получим:

$$\frac{\exp\left[-\frac{\delta_1^2}{2(\Delta \delta_1)^2} - \frac{\delta_2^2}{2(\Delta \delta_2)^2}\right]}{\exp\left[-\frac{\delta_3^2}{2(\Delta \delta_3)^2} - \frac{\delta_4^2}{2(\Delta \delta_4)^2}\right]} = \frac{\exp\left(-\frac{(0,09)^2 + (0,01)^2}{(0,51)^2 \cdot 2}\right)}{\exp\left(-\frac{(0,59)^2 + (0,69)^2}{(0,51)^2 \cdot 2}\right)} = 4,87, \tag{25}$$

то есть, если исходить из результата только данного эксперимента, то существование первого набора фазовых сдвигов примерно в пять раз более вероятно, чем второго набора, хотя по χ^2 -критерию оба набора примерно равновероятны.

Для однозначного выбора фазовых сдвигов необходимо заметно уточнить коэффициенты C_{nn} и C_{kp} с тем, чтобы существенно увеличить отношение функций правдоподобия (25). Учитывая, что в настоящее время имеются определенные успехи в создании водородосодержащих поляризованных мишеней, будет целесообразно, по-видимому, проводить дальнейшее уточнение коэффициентов спиновой корреляции на поляризованном пучке протонов, используя поляризованную мишень. Вместе с тем желательны также измерения коэффициентов R , D и A на углах $> 90^\circ$ с.п.м., где эти параметры, вычисленные по фазовым сдвигам первого и второго наборов, сильно отличаются друг от друга^{/8/}.

В заключение авторы выражают благодарность С.Н. Соколову, В.И. Никанорову, И.Быстрицкому и А.М. Розановой за помощь в работе; Г.С. Ревенко, В.Ф. Писареву, А.И. Егорову, В.Ф. Устинову и В.М. Саковскому за монтаж аппаратуры и помощь в проведении экспериментов; Р.И. Заплатиной, М. Углиржовой, В.В. Уклеякиной и В.А. Максимовой

за просмотр фотопленки. Авторы благодарят также коллектив сотрудников фотолаборатории за проявление большого количества пленки.

Л и т е р а т у р а

1. H.P.Stapp, T.J.Ypsilantis, N.Metropolis. *Phys. Rev.*, 105, 302 (1957).
2. P.Czifra, M.H.Mac Gregor, M.J.Moravcsik, H.P.Stapp. *Phys. Rev.*, 114, 880 (1959).
3. Ю.М. Казаринов, И.Н. Силин. *ЖЭТФ*, 43, 1385, 1962.
4. A.Ashmore, A.N.Diddens, G.V.Huxtable, K.Skarsvag. *Proc. Phys. Soc.*, 72, 289 (1958); 74, 482 (1959).
5. И.М. Василевский, В.В. Вишняков, Э. Илиеску, А.А. Тяпкин. *ЖЭТФ*, 39, 889, 1960; 45, 474, 1963.
6. Ю.М. Казаринов, И.Н. Силин. Препринт ОИЯИ, Р-1011, Дубна, 1962.
7. Ф. Легар, В.И. Никаноров, Г. Петер, А.Ф. Писарев. Препринт ОИЯИ, Р-1449, Дубна, 1964.
8. Н.П. Клепиков, С.Н. Соколов. Препринт ОИЯИ, Р-235, Дубна, 1958.
9. Д. Орир. Препринт ОИЯИ, R -292, 1959.
10. O.Chamberlain, E.Serge, R.D.Tripp and T.Ypsilantis. *Phys. Rev.*, 105, 288 (1957).
11. R.Graig, I.C.Dore, G.W.Greenlees, I.S.Lilley and P.C.Rowe., *Phys. Lett.*, 3, 301 (1963).
12. O.Chamberlain, E.Serge, R.Tripp, C.Wiegand, T.Ypsilantis. *Phys. Rev.*, 102, 1659 (1956).
13. Р.М. Рындин. Кандидатская диссертация, Дубна 1957 г.
14. E.Engls, Ir.T.Bowen, I.V. Cronin, R.L.McIlwain, Lee G.Pondrom. *Phys. Rev.*, 129, 1858 (1963).
15. Ю.М. Казаринов, В.С. Киселев, И.Н. Силин. *ЖЭТФ*, 45, 637, 1963.
16. F.Bjorklund, L.Blandford, S.Fernbach. *Phys. Rev.*, 108, 795 (1957).

Рукопись поступила в издательский отдел
26 марта 1964 г.

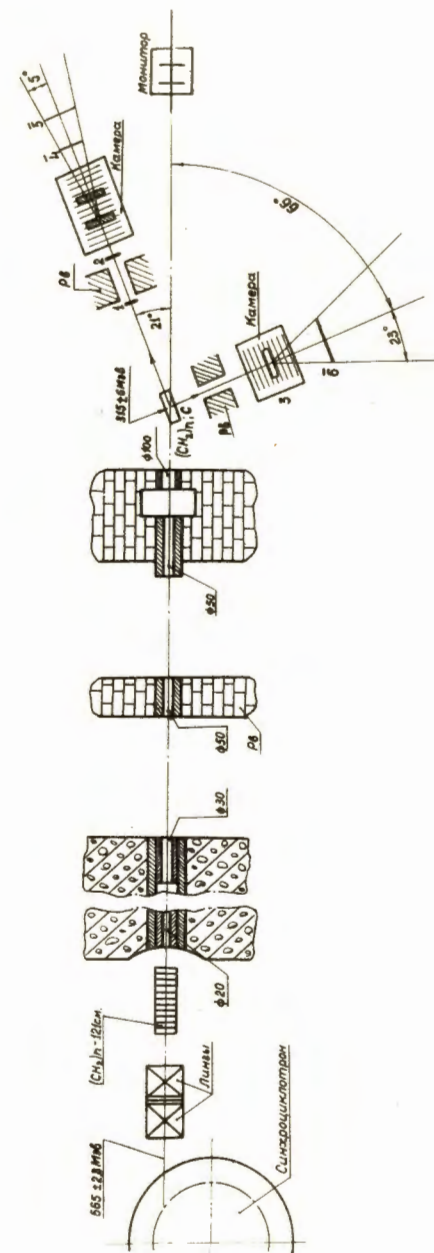


Рис. 1. Схема эксперимента.

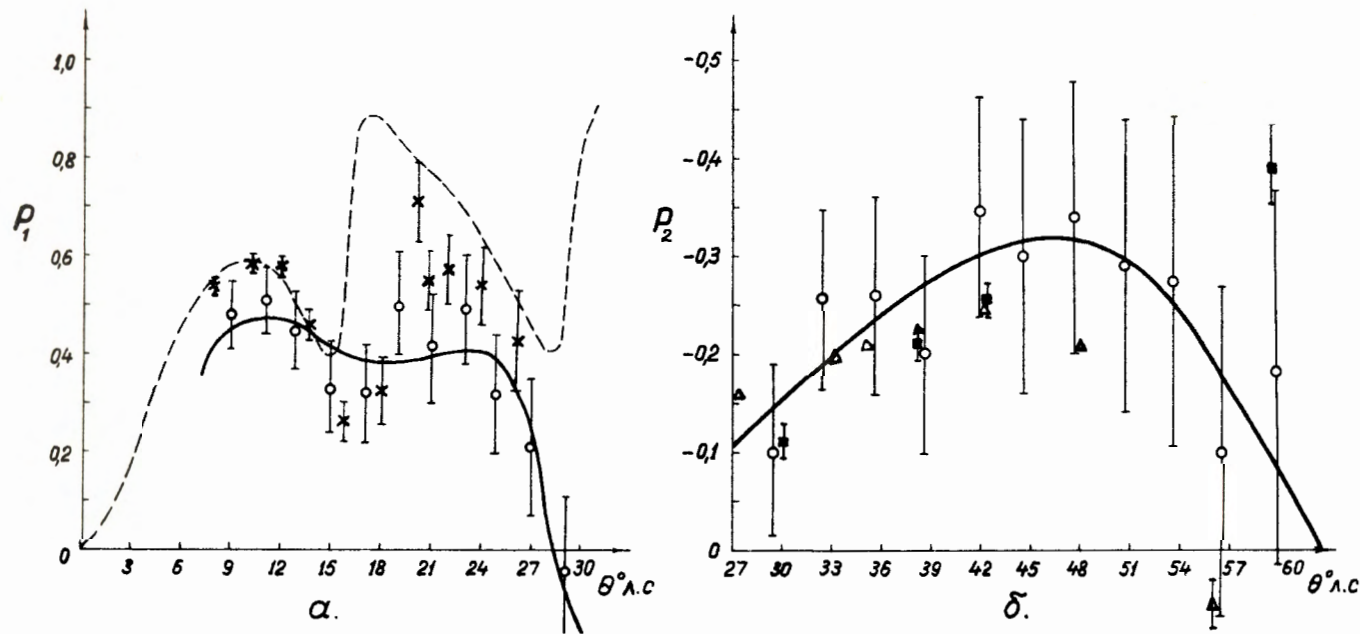


Рис. 2. Угловая зависимость поляризации протонов при рассеянии на анализирующих мишенях.
 а) Рассеяние протонов на алюминии. \circ - рассеяние с энергией 265 Мэв (настоящая работа);
 \star - упругое рассеяние с энергией 287 Мэв^{12/}. Пунктирная кривая вычислена для упругого
 $p - Al$ -рассеяния при энергии 287 Мэв^{16/}.

б) Рассеяние протонов на углероде. \circ -рассеяние со средней энергией 29 Мэв (настоящая работа);
 Δ - упругое и \circ -неупругое ($Q = -4,4$ Мэв) рассеяние с энергией 28 Мэв^{11/}.
 Сплошные кривые проложены по экспериментальным точкам настоящей работы методом наименьших квадратов.