

5
-83.

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

P - 324

Е.Л. Григорьев, Н.А. Митин

ПОЛЯРИЗАЦИЯ ПРОТОНОВ ОТДАЧИ
В УПРУГОМ P^+ -p - РАССЕЯНИИ
ПРИ ЭНЕРГИИ 307 МЭВ

исэж, 1959, т 37, в 2, с 413-421.

Дубна 1959 год

P - 324

Е.Л. Григорьев, Н.А. Митин

ПОЛЯРИЗАЦИЯ ПРОТОНОВ ОТДАЧИ
В УПРУГОМ P^+ - p - РАССЕЙАНИИ
ПРИ ЭНЕРГИИ 307 МЭВ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

Приводятся результаты исследования поляризации протонов отдачи в упругом π^+p -рассеянии при энергии 307 ± 5 Мэв на угол $140 \pm 8^\circ$ в системе центра инерции. На основе данных о величине лево-правой асимметрии при упругом рассеянии протонов отдачи на ядрах фотоэмульсии получено значение поляризации, равное $P_1 = -0,19 \pm 0,17$. Фазы, удовлетворяющие указанному значению поляризации и совместимые с дифференциальным сечением упругого рассеяния π^+ -мезонов протонами, равны:

$$\alpha_3 = -23,2^\circ; \quad \alpha_{31} = -8,4^\circ; \quad \alpha_{33} = 133,2^\circ;$$

$$\delta_{33} = 2^\circ \begin{matrix} +3^\circ \\ -2^\circ \end{matrix}; \quad \delta_{35} = -2^\circ \begin{matrix} +2^\circ \\ -3^\circ \end{matrix}.$$

Обсуждены вопросы, связанные с привлечением для анализа экспериментальных данных различных фазовых наборов, в том числе и решений типа Янга, а также вопросы о зависимости фаз α_3 и α_{31} от импульса мезонов, о возможном влиянии неупругих процессов на поляризацию протонов отдачи и т.д.

Фазовый анализ дифференциальных сечений упругого рассеяния π^- -мезонов протонами приводит, вообще говоря, к нахождению целого ряда решений, в одинаковой мере удовлетворяющих экспериментальным результатам. Привлечение некоторых дополнительных соображений, основанных на результатах большого круга экспериментальных и теоретических исследований, посвященных изучению процессов взаимодействия π^- -мезонов с нуклонами, дает возможность устранить ряд неоднозначностей и отбросить некоторые из решений, т.е. свести число возможных решений до минимума. В качестве одного из примеров такого рода, можно назвать применение дисперсионных соотношений к мезон-нуклонному рассеянию.

Существует прямой и непосредственный путь для однозначного выбора решения, основанный на фазовом анализе полного набора экспериментальных

данных по упругому рассеянию мезонов протонами, в который входят значения дифференциальных сечений и поляризации протонов отдачи. Поляризация протонов отдачи, как это было впервые показано Ферми^{/1/}, весьма чувствительна к значениям фазовых сдвигов, и поэтому ее измерение может служить хорошим методом для однозначного выбора того или иного набора фаз, совместимого как с дифференциальными сечениями, так и с данными по поляризации.

Основным условием проведения экспериментов по измерению поляризации протонов отдачи является наличие интенсивного пучка π -мезонов высокой энергии. В этом случае при рассеянии π -мезонов на большие углы возможно создание достаточно интенсивного поляризованного пучка протонов отдачи с энергией больше 100 Мэв, для которого эффект поляризации при упругом рассеянии на ядрах анализатора велик и соответственно величина асимметрии при рассеянии может быть значительной.

Пучок π^+ -мезонов на синхроциклотроне Объединенного института ядерных исследований, интенсивность которого, например, при энергии 307 Мэв составляла около 1000 мезонов/см²сек, создавал достаточно благоприятные возможности для проведения эксперимента по измерению поляризации протонов отдачи. Протоны отдачи от π^+ - p -рассеяния, вылетевшие под углом 20° в лабораторной системе, в данном случае имели энергию 170 Мэв, весьма удобную для проведения измерений.

На основе результатов фазового анализа, проведенного ранее в работе Мухина и Понтекорво^{/2/} для энергий π^+ -мезонов 240, 270 и 307 Мэв, были рассчитаны значения ожидаемой поляризации как для случая, когда при анализе учитывается только вклад SP -состояний, так и для случая, когда учитывается также вклад D -состояний. Результаты вычислений, сделанных в соответствии с найденными решениями, в которых фаза δ_{33} - положительна и δ_{35} - отрицательна, изображены на рис.1. На этом же рисунке представлены результаты расчета поляризации для энергии 307 Мэв в случае, когда берется противоположный выбор знаков δ_{33} и δ_{35} . Как видно из рисунка, важной особенностью рассчитанных кривых является то, что сравнительно небольшие величины в сдвигах фаз в D -состояниях существенно влияют на поляризацию. Это особенно заметно для

углов в области 130° - 150° , где величина поляризации в случае SPD -анализа, во-первых, резко возрастает по сравнению с SP -анализом и, во-вторых, изменяет свой знак при противоположном выборе знаков фаз δ_{33} и δ_{35} . Таким образом, вполне естественно, что основная цель эксперимента по измерению поляризации протонов отдачи для углов рассеяния мезонов в интервале 130° - 150° в системе центра инерции должна была состоять, во-первых, в определении величины вклада D -состояний в рассеяние, т.е. величины фаз δ_{33} и δ_{35} , во-вторых, в определении знака этих фаз. Вопрос о вкладе D -состояний в рассеяние фактически не изучен, хотя он и обсуждался в ряде работ^{/3/}. Это связано с тем, что измерения дифференциальных сечений в связи с ограниченной точностью результатов недостаточно чувствительны к малым значениям фаз D -состояний. Поэтому "оптимальные" фазовые наборы в случае SPD -анализа не дают возможности сделать надежные заключения о величинах фаз D -состояний. Эксперименты по поляризации при таких энергиях, где D -состояния могут дать значительный эффект, до настоящего времени не были проведены. Для определения наиболее выгодных условий при постановке эксперимента по измерению поляризации протонов отдачи были произведены соответствующие оценки для π^+ -мезонов с энергиями в области 200-307 Мэв. Эти оценки, сделанные с учетом интенсивности пучков мезонов, энергий протонов отдачи и ожидаемых для них значений поляризации, наличия сведений о величинах дифференциальных сечений и точности их измерения, показали, что наиболее благоприятные условия для проведения опыта возникают при энергии π^+ -мезонов 307 Мэв. В этом случае для угла рассеяния мезонов 140° в системе центра инерции /соответствующая энергия протонов отдачи равна 170 Мэв/ величина поляризации, рассчитанная для "оптимального" набора фаз^{/2/} в случае SPD -анализа: $\alpha_3 = -13,0^{\circ}$; $\alpha_{31} = -4,0^{\circ}$; $\alpha_{35} = 133,7^{\circ}$; $\delta_{33} = 9,5^{\circ}$; $\delta_{35} = -10,0^{\circ}$ составляет величину $P_1 = -0,71$. В этом случае при упругом рассеянии протонов отдачи на ядрах фотоэмульсии ожидалась значительная лево-правая асимметрия, достигающая величины 0,3-0,4 для углов рассеяния от 6° и выше.

В настоящее время известны результаты только одного эксперимента по измерению поляризации протонов отдачи^{/4/}. В этом опыте выполненном при энергии π^- -мезонов 220 Мэв измерена поляризация протонов

отдачи под углами 15° и 30° в лабораторной системе. Вследствие серьезных экспериментальных трудностей статистическая точность измерений невелика; однако, анализ полученных результатов позволил прямым путем, основываясь только на экспериментальных результатах, отбросить два решения из четырех и четко установить знак фазы α_1 .

Условия опыта

Схема опыта показана на рис.2. Метод получения пучка π^+ -мезонов неоднократно описывался ранее /5/. Мезоны с энергией 307 ± 5 Мэв проходили через коллиматор с диаметром 5 см и попадали в мишень из жидкого водорода. Рабочая часть мишени представляла собой металлический сосуд длиной 30 см и квадратным сечением $(8 \times 8) \text{ см}^2$, покрытый толстым слоем пенопласта. Передняя и задняя стенки мишени, через которые проходили пучок мезонов и протоны отдачи, имели закругленную форму и были сделаны из латунной фольги толщиной 0,4 мм. Эти части мишени были покрыты более тонким слоем пенопласта толщиной всего 3 см. Мишень устанавливалась на специальном столе, позволяющем с большой точностью совмещать ось мишени с осью пучка мезонов.

Протоны отдачи, вылетевшие из мишени под углом 20° , попадали на фотопластинки, которые помещались в кассетах, укрепленных на штангах под этим же углом направо и налево от оси пучка π^+ -мезонов. Потери энергии протонов отдачи, имевших начальную энергию 170 Мэв, на пути в жидком водороде, стенках мишени и в фотоэмульсии составляли в среднем 10 Мэв. Фотоэмульсия выполняла двойную роль, во-первых, как детектор частиц, во-вторых, как мишень для упругого рассеяния протонов отдачи - анализатор их поляризации.

Исследование фоновых условий показало, что имеются два источника фона, которые необходимо было внимательно учесть. Во-первых, это фон от стенок жидководородной мишени. Оценка этого фона, произведенная при облучении пустой мишени в пучке π^+ -мезонов показала, что его вели-

чина мала и составляла менее 1%. Малость фона обусловлена в этом случае большой длиной и большим поперечным сечением рабочей части мишени, а также малой угловой расходимостью мезонов в пучке. Во-вторых, это фон от жидкого водорода, наполняющего рабочую часть мишени. Этот фон возникал вследствие того, что в используемом пучке π^+ -мезонов, помимо значительного числа протонов с импульсами, равными импульсу мезонов /соответствующая энергия протонов $E_p = 92$ Мэв/, имелась также некоторая примесь протонов больших энергий / $E_p > 150$ Мэв/, т.е. протонов с импульсами, значительно превосходящими импульс мезонов. При рассеянии таких протонов на водороде в мишени возникают протоны отдачи, которые в эмульсии невозможно отделить от протонов отдачи, возникающих в π^+ -р -рассеянии. Оценка числа протонов высокой энергии, создающих фоновые протоны отдачи, производилась в фотопластинках, облученных в пучке π^+ -мезонов с энергией 307 Мэв, методом счета плотности зерен в следах протонов, идущих вместе с мезонами. Измерения показали, что число протонов с энергиями 150-200 Мэв в пучке составляет не более 2% по отношению к числу мезонов. Поскольку дифференциальные сечения вылета протонов отдачи под углом 20° в лабораторной системе в pp и π^+ -р -рассеянии для данного случая приблизительно равны, то суммарный фон, таким образом, не превышает 3%.

В опыте отыскивались случаи упругого рассеяния протонов отдачи на ядрах фотоэмульсии с целью определения величины лево-правой асимметрии в этом рассеянии. Поиски случаев упругого рассеяния производились методом просмотра вдоль следов. Для прослеживания отбирались следы протонов, удовлетворяющие следующим условиям:

1/ отклонение следов протонов от основного направления, соответствующего 20° , не превышало $\pm 4^\circ$, т.е. отбирались следы протонов отдачи, соответствующие углам рассеяния мезонов в системе центра инерции

$$\psi = 140^\circ \pm 8^\circ.$$

2/ Угол наклона следов относительно плоскости эмульсии не превышал 12° .

3/ Плотность зерен в прослеживаемых следах соответствовала плотности зерен в следах протонов с энергией 160 Мэв. Последняя измерялась

в специальных контрольных фотопластинках, облученных пучком протонов с энергией 160 Мэв и проходивших фотохимическую обработку каждый раз вместе с фотопластинками, в которых производились поиски случаев упругого рассеяния.

В соответствии с геометрией опыта выполнение первых двух условий означало, что отбирались следы протонов отдачи, возникших в небольшой ограниченной области жидководородной мишени, поперечные размеры которой определялись сечением пучка мезонов.

В работе использовались электроночувствительные фотоэмульсии типа НИКФИ-Р с толщиной слоя эмульсии 400 микрон. Найденные при просмотре вдоль следов случаи рассеяния идентифицировались как упругие, если плотность зерен в следе до и после рассеяния была одинаковой, а также в точке рассеяния не было следов ядра отдачи или следов электронов. В каждом идентифицированном случае упругого рассеяния измерялись угол рассеяния ν_p , азимутальный угол φ и плотность зерен на участках следа до и после рассеяния. Регистрировались все случаи упругого рассеяния протонов отдачи на углы $\geq 3^\circ$ в плоскости эмульсии; в таких случаях даже при быстром просмотре следа хорошо виден его излом, говорящий о наличии рассеяния.

Результаты измерений

На фотопластинках, расположенных налево и направо от оси пучка \bar{K} -мезонов, было найдено 545 случаев упругого рассеяния протонов отдачи на ядрах фотоэмульсии в интервале углов рассеяния $\nu_p = 3,5-27^\circ$ с азимутальными углами $0^\circ \leq \varphi \leq 60^\circ$. Результаты измерений для правых и левых фотопластинок для увеличения статистического материала соответственно складывались, и в таблице 1 представлены результаты, суммированные так, что все случаи рассеяния считаются происходящими в правых фотопластинках. Все случаи рассеяния разбиты на четыре угловых интервала по углам рассеяния ν_p , каждый из которых в свою очередь разбит на два интервала по азимутальным углам φ . Для каждого интервала углов рассеяния определялась асимметрия.

Известно, что асимметрия ξ в опытах по упругому двойному рассеянию протонов на ядрах связана с поляризациями, возникающими при первом и втором рассеяниях, соотношением $\xi = P_1 P_2$; в нашем случае P_1 - поляризация протонов отдачи от π^+p -рассеяния, P_2 - поляризация, возникающая при упругом рассеянии этих протонов на ядрах фотоэмульсии. Таким образом, поляризацию протонов отдачи P_1 можно определить, располагая экспериментальными сведениями о величине асимметрии и данными о величине P_2 . Поляризация протонов с энергией 135 Мэв при упругом рассеянии на ядрах фотоэмульсии была исследована в работе Маглика и Фелда ^{16/}, результаты этой работы были использованы нами для анализа полученных экспериментальных результатов с целью определения величины P_1 .

Вычисленная по данным таблицы 1, в соответствии с результатами работы Маглика и Фелда, поляризация протонов отдачи, усредненная по четырем угловым интервалам, оказалась равной $P_1 = -0,19 \pm 0,17$. Знак поляризации выбран относительно направления \vec{n} , определяемого векторным произведением $\vec{n} = [\vec{K}_p \times \vec{K}_\pi]$. Здесь \vec{K}_p - импульс протона отдачи и \vec{K}_π - импульс π -мезона до рассеяния. Приведенная ошибка результата является стандартным отклонением.

Т а б л и ц а 1

Экспериментальные результаты для различных интервалов углов рассеяния протонов отдачи ψ_p и азимутальных углов φ .

| φ ψ_p | 0° - 30° | | 30° - 60° | | Величина асимметрии ξ |
|-----------------------|----------|--------|-----------|--------|---------------------------|
| | влево | вправо | влево | вправо | |
| 3,5° - 6° | 88 | 93 | 24 | 25 | 0,03 ± 0,07 |
| 6° - 9° | 52 | 63 | 24 | 25 | 0,08 ± 0,08 |
| 9° - 13° | 28 | 32 | 11 | 15 | 0,12 ± 0,12 |
| 13° - 27° | 15 | 22 | 12 | 16 | 0,20 ± 0,20 |

Как уже указывалось ранее, ожидаемая в нашем опыте величина поляризации, вычисленная на основе "оптимального" набора фаз в случае SPD -анализа, в котором фазы $\delta_{33} = 9,5^\circ$ и $\delta_{35} = -10^\circ$, составляет $\rho_1 = -0,71$. Найденная в опыте величина поляризации $\rho_1 = -0,19 \pm 0,17$ значительно меньше ожидаемой.

Наиболее естественно можно объяснить наблюдающееся расхождение, предполагая, что величины фаз D -состояний δ_{33} и δ_{35} , которые в данном случае обуславливают величину ожидаемой поляризации, заметно меньше 10° .

В таблице 11 приведены наборы фаз, которые в пределах ошибок удовлетворяют экспериментальному значению поляризации и в определенных пределах совместимы с дифференциальными сечениями мезон-нуклонного рассеяния. Наборы фаз в таблице расположены в порядке убывания δ_{33} .

Т а б л и ц а 11

Наборы фаз, удовлетворяющие экспериментальному значению поляризации

| δ_{33} | δ_{35} | α_3 | α_{33} | α_{31} | Соответств. значение рас- четной поля- ризации | M |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---|------|
| 5° | -5° | -19° | $133,5^\circ$ | -6° | -0,39 | 5,0 |
| 5° | -2° | -22° | 132° | -8° | -0,33 | 5,4 |
| 5° | 0 | -21° | 132° | -8° | -0,27 | 14,9 |
| 3° | -3° | -23° | $133,2^\circ$ | -8° | -0,27 | 12,7 |
| 3° | -3° | -25° | 132° | -10° | -0,30 | 11,9 |
| 2° | -5° | -22° | 132° | -8° | -0,27 | 12,6 |
| 2° | -3° | -23° | $133,2^\circ$ | -8° | -0,22 | 11,4 |
| 2° | -2° | -24° | 133° | -10° | -0,23 | 11,7 |
| 2° | -2° | $-23,2^\circ$ | $133,2^\circ$ | $-8,4^\circ$ | -0,19 | 8,8 |
| 0° | -5° | -22° | 132° | -8° | -0,16 | 11,8 |
| 0° | 0° | $23,2^\circ$ | $133,2$ | $-8,4^\circ$ | -0,04 | 12,0 |

В последнем столбце таблицы представлена величина $M = \sum_i \left[\frac{f(\alpha, \delta, \nu_i) - G(\nu_i)}{\Delta G(\nu_i)} \right]$, характеризующая степень отклонения дифференциального сечения $f(\alpha, \delta, \nu_i)$, вычисленного на основе фазового анализа, от экспериментальных значений дифференциальных сечений $G(\nu_i)$. Таблица дает возможность выбрать фазовый набор, который наилучшим образом соответствует совокупности экспериментальных данных по поляризации и дифференциальным сечениям рассеяния. Этому условию удовлетворяет следующий фазовый набор:

$$\alpha_3 = -23,2^\circ; \quad \alpha_{33} = 133,2^\circ; \quad \alpha_{31} = -8,4^\circ;$$

$$\delta_{33} = 2^\circ \begin{matrix} +3^\circ \\ -2^\circ \end{matrix}; \quad \delta_{35} = -2^\circ \begin{matrix} +2^\circ \\ -3^\circ \end{matrix},$$

в котором первые три фазы совпадают с S^P -набором, а фазы δ_{33} и δ_{35} — существенно меньше значений, указанных для $S^P D$ — анализа в работе Мухина и Понтекорво.

Вполне естественно ожидать, что при более высоких энергиях вклад D -состояний должен быстро увеличиваться. Фазовый анализ экспериментальных результатов по упругому рассеянию π^+ -мезонов с энергией 500 Мэв ^{17/} привел к заключению, что сдвиги фаз в D -состояниях не превышают 10° . Если принять, в соответствии с результатами нашей работы, что фазы D -состояний при энергии 307 Мэв равны 2° и экстраполировать полученную здесь величину к большим энергиям по закону $\delta \sim \eta^5$, где η — относительный импульс мезона в системе центра инерции, то при энергии 500 Мэв получается величина фаз D -состояний, равная 8° . Это может служить некоторым подтверждением, хотя и далеко недостаточным, правильной оценки величины фаз δ_{33} и δ_{35} , произведенной в настоящей работе.

Результаты, полученные в настоящей работе, позволяют произвести определенный выбор знаков фаз D -состояний, при котором δ_{33} имеет положительный и δ_{35} — отрицательный знак.

Как можно видеть из таблицы 111, противоположный выбор знаков фаз несовместим с экспериментальными данными по поляризации, поскольку

он дает положительный знак для величины P_1 . В таблице это иллюстрируется только двумя примерами, однако, расчеты показывают, что ни один из фазовых наборов, в котором δ_{33} имеет отрицательное и δ_{35} - положительное значение, не может дать отрицательной величины поляризации и тем самым удовлетворить экспериментальным результатам. Этот вывод справедлив также для случая, когда δ_{33} и δ_{35} имеют отрицательные знаки; один из таких примеров приведен для иллюстрации в третьей строке таблицы. Последним в таблице приведен случай, когда обе фазы δ_{33} и δ_{35} являются положительными величинами, при этом поляризация имеет отрицательное значение. Из проведенных для этого случая вычислений следует, что фазовые наборы, в которых δ_{33} и δ_{35} положительны, всегда дают отрицательное значение поляризации, возрастающее по абсолютной величине с увеличением этих фаз. Однако, фазовые наборы такого рода практически несовместимы с дифференциальным сечением рассеяния, о чем может свидетельствовать большая величина M даже для сравнительно малых величин фаз D -состояний.

Т а б л и ц а 111

Значения поляризации P_1 , соответствующие фазовым наборам с различным выбором знаков фаз δ_{33} и δ_{35} .

| δ_{33} | δ_{35} | α_3 | α_{31} | α_{33} | P_1 | M |
|---------------|---------------|------------|---------------|---------------|-------|------|
| -10^0 | 10^0 | -30^0 | -15^0 | 140^0 | 0,25 | 3,0 |
| -2^0 | 2^0 | $-23,2^0$ | $-8,4^0$ | $133,2^0$ | 0,11 | 12,0 |
| -3^0 | -3^0 | -23^0 | -8^0 | $133,2^0$ | 0,17 | 7,2 |
| 3^0 | 3^0 | -23^0 | -8^0 | $133,2^0$ | -0,08 | 48,1 |

Как уже было указано, определенная в опыте величина поляризации значительно меньше ожидаемого значения, вычисленного на основе оптимального SPD -набора фаз, найденного Мухиным и Понтекорво. Возможной причиной наблюдающегося расхождения может быть влияние на величину поляризации протонов отдачи при упругом $\pi^+ - p$ -рассеянии неупругих процессов, связанных с рождением мезонов мезонами. Количественные оценки такого влияния можно легко произвести, сделав вполне законное вплоть до энергий 500 Мэв^{8/} предположение, что вклад неупругих процессов мал; соответственно малы мнимые части фаз. В этом случае введение мнимых частей не может привести к заметному изменению реальных частей, уже определенных из фазового анализа. При выводе формулы для расчета поляризации с учетом влияния неупругих процессов, исходя из указанного предположения, разложение производилось только до членов, линейных по мнимым частям фаз. Соответствующее выражение для вычисления поляризации^{x/} имело вид

$P = P_1 + \Delta P_1$, где P_1 выражается только через действительные части фаз, а ΔP_1 , содержащая члены линейные по мнимым частям фаз, определяет ту дополнительную часть поляризации, которая обусловлена только неупругими процессами. Расчет производился в предположении, что наряду с основной реальной частью фаз: $\alpha_3 = -13,0^\circ$; $\alpha_{31} = -4,0^\circ$; $\alpha_{33} = 133,7^\circ$; $\delta_{33} = 9,5^\circ$; $\delta_{35} = -10,0^\circ$, которые определяют величину ожидаемой поляризации, в фазах присутствуют небольшие мнимые добавки

$$\beta_3 = \beta_{31} = \beta_{33} = \gamma_{33} = \gamma_{35} = 0,02 \text{ /в радианах/},$$

где β и γ - соответствующие мнимые части фаз. В таблице 1У приведен результат расчета для случая, когда вычислялась только та дополнительная часть поляризации ΔP_1 , которая обусловлена мнимыми добавками фаз.

^{x/} Формулы для вычисления поляризации, связывающие величину поляризации с фазами рассеяния, не приводятся вследствие их громоздкости.

Т а б л и ц а 1У

Поляризация протонов, обусловленная мнимой частью фаз рассеяния

| Учитываемые мнимые части фаз | Все фазы | Только S^P -фазы | Только D -фазы |
|---|----------|--------------------|------------------|
| Дополнительная часть поляризации ΔP_1 | 0,05 | 0,016 | 0,034 |

Таким образом, при величине мнимой части фаз, равной 0,02, абсолютная величина поляризации уменьшается не более, чем на 0,05 по сравнению со случаем, когда мнимые добавки не учитываются, т.е. вместо -0,71 становится равной -0,66. Для того, чтобы уменьшить абсолютную величину поляризации до 0,19 и таким образом удовлетворить среднему значению полученного экспериментального результата при условии сохранения неизменной реальной части фаз, необходимо, чтобы мнимая часть всех фаз была равна $\sim 0,2$. Такая большая величина несовместима с полным сечением неупругих процессов, которое при энергиях 300 Мэв не может, по-видимому, превышать $2 \text{ мб}^{18/}$, между тем как при величине мнимой части фаз, равной 0,2, сечение неупругих процессов существенно выше 2 мб для каждого отдельного состояния, участвующего в рассеянии. Таким образом, влиянием неупругих процессов при разумном их учете нельзя, по-видимому, объяснить расхождение между ожидаемым и экспериментальными значениями поляризации.

Малая величина фаз D -состояний при энергии 307 Мэв позволяет сделать некоторые заключения об изменении с импульсом мезона фаз α_3 и α_{31} . Предполагая, что абсолютная величина фаз D -состояний быстро возрастает с энергией, можно считать, что при энергиях мезонов ниже 300 Мэв учет D -состояний практически не влияет на величину фаз α_3 и α_{31} . При более высоких энергиях вклад D -состояний и их влияние на величину α_3 и α_{31} можно учесть, полагая, что δ_{33} и δ_{35} изменяются пропорционально η^5 . С учетом этих обстоятельств на рис.3 представлены значения α_3 в зависимости от η . Если до энергии π -мезонов ~ 200 Мэв изменение α_3 удовлетворительно описывается

предложенной Ориром линейной зависимостью $\alpha_3 = -0,11 \eta^{19/}$, то при энергиях больше 200 Мэв экспериментальные значения α_3 , по-видимому, не могут быть описаны указанной зависимостью, если даже учесть большие неточности в определении α_3 . Таким образом, в области энергий около 200 Мэв происходит изменение зависимости, связывающей α_3 с импульсом мезонов. Из рисунка следует, что это изменение для энергий выше 200 Мэв проявляется в более быстром росте $|\alpha_3|$ с импульсом мезонов, чем это определяется соотношением $\alpha_3 = -0,11 \eta$, удовлетворительно описывающим экспериментальные значения α_3 при энергиях ниже 200 Мэв. В связи с этим представляется интересным отметить, что в этой же области энергий происходит также изменение зависимости α_{33} от энергий мезонов^{/3/}, состоящее в том, что экспериментальные значения α_{33} при энергиях мезонов выше 200 Мэв не укладываются на график Чу и Лоу, которому удовлетворяют фазы α_{33} при меньших энергиях.

Малая величина фазы α_{31} и большая относительная ошибка в ее определении не давали до последнего времени возможности сделать заключения об изменении фазы α_{31} с энергией мезонов. В работе Мухина и Понтекорво указывалось только на то, что фаза α_{31} для энергий выше 220 Мэв ведет себя регулярно, т.е. знак ее отрицателен и абсолютная величина не превышает 10° вплоть до энергий 310 Мэв; указано было также на то, что учет D -состояний приводит к систематическому уменьшению $|\alpha_{31}|$, например, вдвое при энергии 307 Мэв. В работе Чю и Ломона^{/10/} было найдено, что зависимость α_{31} от импульса в области энергий до 307 Мэв может быть удовлетворительно описана соотношением $\alpha_{31} = -0,91 \eta^3$. Фазовый анализ в этой работе производился в предположении, что в рассеянии участвуют только S^P -состояния, что, по-видимому, для энергий до 307 Мэв, как это следует из настоящей работы, оправдано. Указанное в нашей работе значение $\alpha_{31} = -8,4^\circ$ также удовлетворительно согласуется с этой зависимостью.

Все предыдущие рассуждения относились к случаю, когда в расчет принимались только фазовые решения типа Ферми. Представляется интересным обсудить вопрос, возможно ли на основе полученных экспериментальных результатов отбросить фазовые наборы типа Янга. Несмотря на то, что

результаты исследований^{/11/}, основанных на применении дисперсионных соотношений к мезон-нуклонному рассеянию, дают возможность определенно исключить фазовые решения типа Янга, одной из задач экспериментального исследования поляризации является непосредственное опытное подтверждение этого обстоятельства.

В таблице У представлены вычисленные для ряда фазовых наборов типа Янга значения поляризации протонов отдачи.

Т а б л и ц а У

Значения поляризаций, вычисленные на основе фазовых наборов^{x/} типа Янга

| δ_{33} | δ_{35} | α_3 | α_{31} | α_{33} | P_1 |
|---------------|---------------|------------|------------------|------------------|-------|
| 0^0 | 0^0 | $-23,2^0$ | 298,3 | 156,7 | 0,41 |
| 2^0 | -2^0 | $-23,2^0$ | 298 ⁰ | 157 ⁰ | 0,27 |
| $9,5^0$ | -10^0 | -13^0 | 217 ⁰ | 159 ⁰ | -0,24 |
| -14^0 | $5,5^0$ | -13^0 | 297 ⁰ | 159 ⁰ | 0,91 |

Можно видеть на примере первых трех фазовых наборов, что если для SP и SPD -набора с величиной фаз $\delta_{33} = -\delta_{35} = 2^0$ поляризация имеет положительное значение, то для набора, в котором фазы D -состояний по абсолютной величине возросли до 10^0 , знак поляризации изменился. Оценки, сделанные в предположении, что δ_{33} и δ_{35} по своей абсолютной величине приблизительно равны, показывают, что значение поляризации проходит через нуль при величинах фаз δ_{33} и δ_{35} , равных $\sim 5^0$.

^{x/} Поскольку в этих расчетах ставилась цель получить чисто качественные данные о величинах и знаках поляризации, которые в определенной мере обусловлены величиной и знаками фаз δ_{33} и δ_{35} , то некоторые фазовые наборы в таблице У могут дать относительно большое значение M .

Последним в таблице приведен фазовый набор, в котором фазы δ_{33} и δ_{35} имеют соответственно отрицательный и положительный знаки; поляризация, соответствующая этому набору, имеет большую положительную величину. Из расчетов следует, что все фазовые наборы типа Янга, в которых δ_{33} имеет отрицательный и δ_{35} - положительный знак, дают большое положительное значение поляризации.

Таким образом, на основе экспериментальных данных о величине поляризации определенно исключаются следующие фазовые наборы типа Янга: 1/ фазовый набор, соответствующий SP -анализу; 2/ фазовые наборы, соответствующие SPD -анализу, в которых фазы D -состояний δ_{33} и δ_{35} имеют соответственно отрицательный и положительный знаки; 3/ фазовые наборы, в которых δ_{33} и δ_{35} имеют соответственно положительный и отрицательный знаки и по абсолютной величине не превышают 5° . В последнем случае для фазовых наборов, в которых δ_{33} и δ_{35} имеют абсолютные величины больше 5° , расчетное значение поляризации может удовлетворять экспериментальному значению.

В ы в о д ы

1. Поляризация протонов отдачи при упругом рассеянии K^+ -мезонов с энергией 307 Мэв на угол $140^\circ \pm 8^\circ$ в системе центра инерции равна $P_1 = -0,19 \pm 0,17$.

2. Полученному значению поляризации и дифференциальному сечению упругого K^+ - p -рассеяния при энергии 307 Мэв наилучшим образом удовлетворяет фазовый набор: $\alpha_3 = -23,2^\circ$; $\alpha_{35} = 133,2^\circ$; $\alpha_{31} = -8,4^\circ$;
 $\delta_{33} = 2^\circ \begin{matrix} +3^\circ \\ -2^\circ \end{matrix}$; $\delta_{35} = -2^\circ \begin{matrix} -3^\circ \\ +2^\circ \end{matrix}$.

3. Фазовые наборы, в которых фазы D -состояний δ_{33} и δ_{35} имеют соответственно отрицательное и положительное значения, исключаются с высокой вероятностью, поскольку они дают значение поляризации протонов отдачи, противоположное по знаку величине, полученной в эксперименте. На основе экспериментальных данных по поляризации и дифференци-

альным сечением рассеяния исключаются также фазовые наборы, в которых обе фазы δ_{33} и δ_{35} имеют одинаковые знаки.

4. В области энергий около 200 Мэв происходит изменение зависимости, связывающей α_3 с импульсом мезонов. Это изменение для энергий выше 200 Мэв проявляется в более быстром росте $|\alpha_3|$ с импульсом мезонов, чем это определяется соотношением $\alpha_3 = -0,11\eta$ удовлетворительно описывающим экспериментальные значения α_3 при энергиях ниже 200 Мэв. Значение фазы $\alpha_{31} = -8,4^\circ$ удовлетворительно согласуется с зависимостью $\alpha_{31} = -0,91\eta^3$.

Мы выражаем глубокую благодарность Л.И. Лapidусу за ценные советы и многочисленные обсуждения, А.И. Мухину, оказавшему помощь в проведении эксперимента, С.Б. Нурушеву за обсуждение результатов, а также Л. Мальцевой, Т. Рыбаковой и Р. Христовой, выполнившим большую работу по просмотру фотоэмульсий.

Мы глубоко признательны профессорам В.П. Желепову и Б.М. Понтекорво за постоянный интерес и внимание к нашей работе.

Работа поступила в издательский отдел
23 марта 1959 года.

Л и т е р а т у р а

1. E. Fermi, Phys. Rev. 91, 947(1953).
2. А.И. Мухин, Б.М. Понтекорво, ЖЭТФ, 31, 550 /1956/.
3. А.И. Мухин, Е.Б. Озеров, Б.М. Понтекорво, Е.Л. Григорьев, Н.А. Митин. Proceedings CERN Symposium on High Energy Accelerators and Pion Physics, Geneva, 204(1956).
Н.А. Митин, Е.Л. Григорьев, ЖЭТФ, 32, 440 /1957/.
4. J. Ashkin, J. P. Blaser, A. Burger, T. A. Romanowski, Proceedings 1958 Annual International Conference on High Energy Physics at CERN, 42(1958).

5. См. например, М.Г. Мещеряков, В.П. Зрелов, Б.С. Негапов, И.К. Взорев, А.Ф. Шабудин, ЖЭТФ, 31, 45 /1956/.
6. В.Т. Feld, В.С. Maglic, Phys.Rev. Letters 10, 375(1958).
7. Willis, Proceedings 1958 Annual International Conference on High Energy Physics at CERN, 67(1958).
8. M.E. Blevins, M.M. Block, J. Leitner, Phys.Rev. 112, 1287(1958).
9. J. Orear, Phys.Rev. 96, 176(1954).
10. H.Y. Chin, E.L. Lomon, Preprint, 1958.
11. W. Gilbert, G.R. Sreaton, Phys.Rev. 104, 1758(1956).

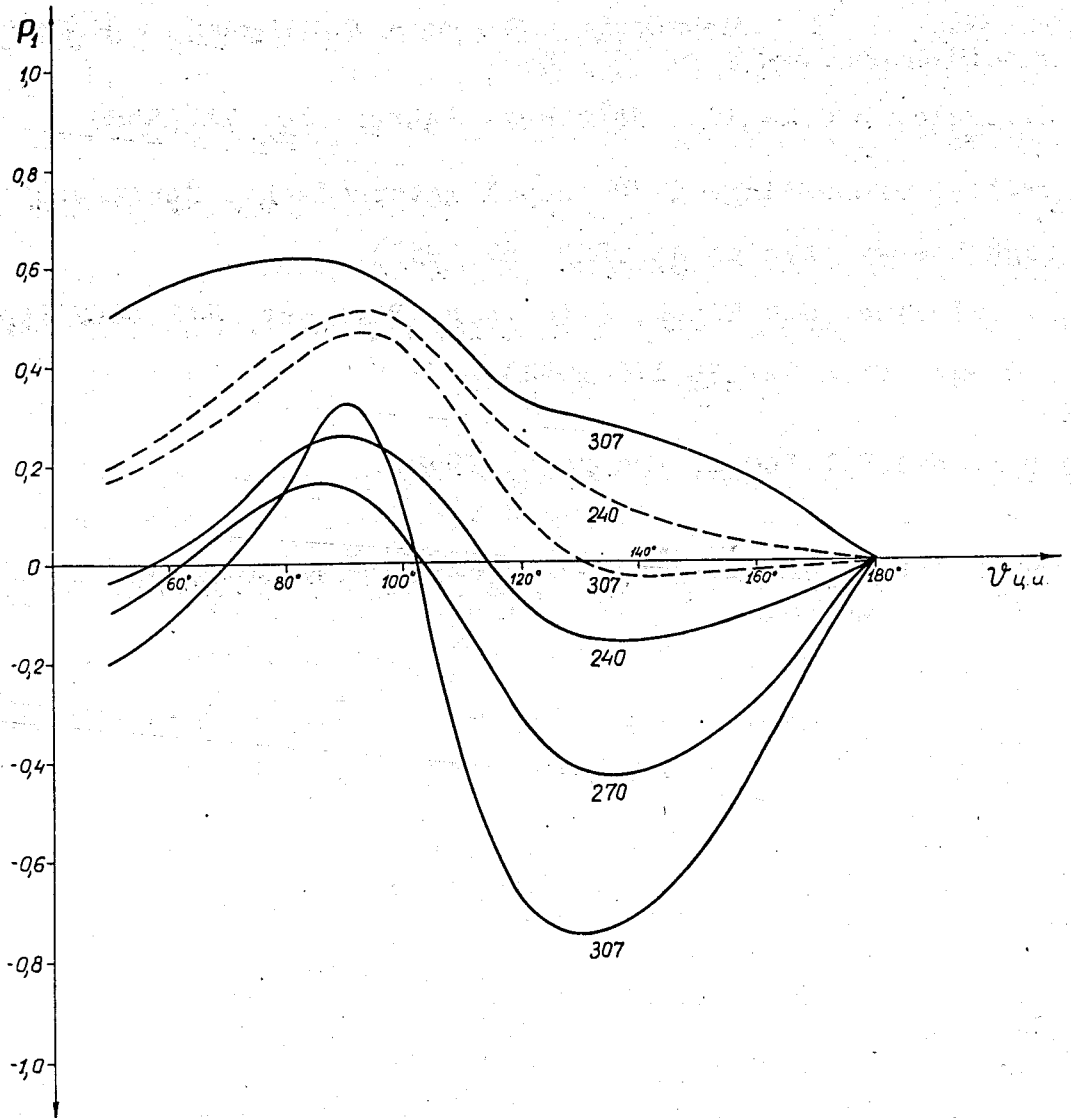


Рис.1. Поляризация протонов отдачи в зависимости от угла рассеяния K^+ - мезонов в системе центра инерции. Пунктирные и сплошные кривые приведены соответственно для S^P и S^{PD} -анализа. Расчет произведен на основе фазовых наборов, указанных в работе ^{12/} для энергий 240, 270 и 307 Мэв. Верхняя сплошная кривая соответствует фазовому набору: $\alpha_3 = -30^\circ$; $\alpha_{33} = 140^\circ$; $\alpha_{31} = -15^\circ$ $\delta_{33} = -10^\circ$; $\delta_{35} = 10^\circ$.

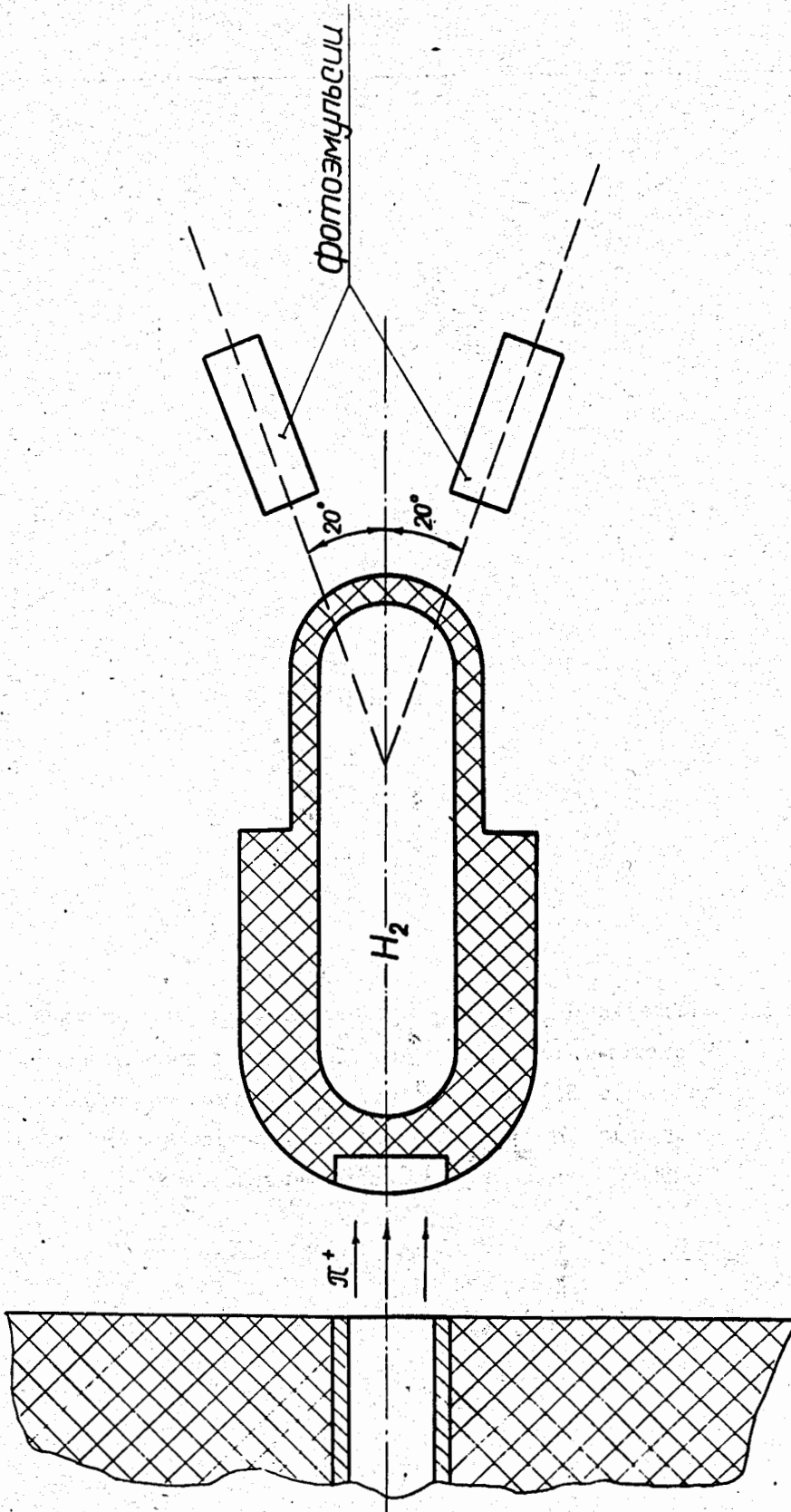


Рис. 2. Схема опыта.

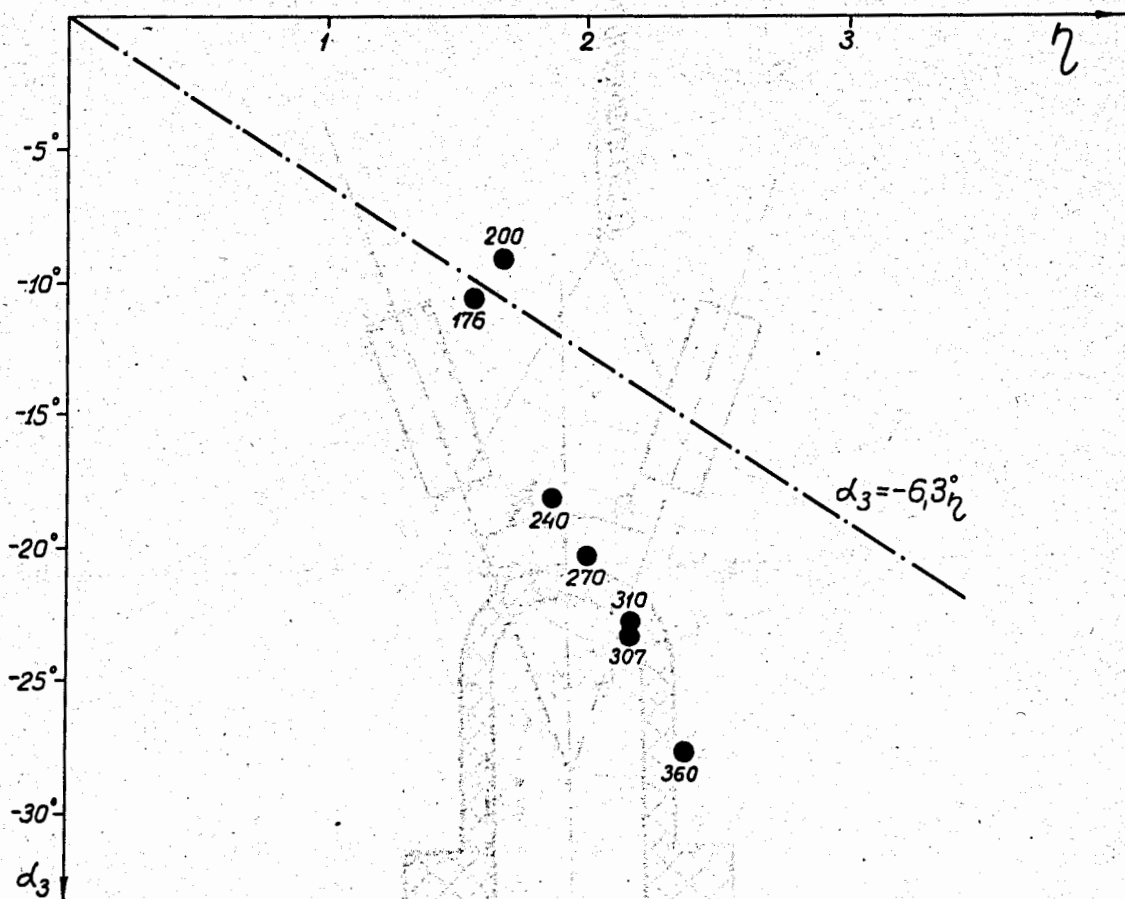


Рис. 3. Изменение фазы α_3 в зависимости от импульса мезонов в системе центра инерции. Экспериментальные значения α_3 взяты из SP -анализа работ^{18/} с учетом поправки на величину фаз D -состояний, полученных в настоящей работе. Цифрами обозначены энергии мезонов в Мэв.