

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория ядерных проблем

P-401

М.С. Козодаев, М.М. Кулюкия, Р.М. Суляев,  
А.И. Филиппов, Ю.А. Шербаков

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРОТОНОВ  
С ЯДРАМИ  $\text{He}^4$   
ПРИ ЭНЕРГИИ 630 МЭВ

Дубна 1959 год

P - 401

М.С. Козодаев, М.М. Кулюкин, Р.М. Суляев,  
А.И. Филиппов, Ю.А. Шербаков

470/4

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПРОТОНОВ  
С ЯДРАМИ  $He^4$   
ПРИ ЭНЕРГИИ 630 МЭВ

Объединенный институт  
ядерных исследований  
Библиотека

### А н н о т а ц и я

При помощи диффузионной камеры высокого давления изучалось рассеяние протонов на ядрах гелия при энергии 630 Мэв. Измерены полное сечение, сечения упругого и неупругого рассеяния, которые оказались соответственно равными:  $150 \pm 13 \cdot 10^{-27} \text{ см}^2$ ,  $24 \pm 5 \cdot 10^{-27} \text{ см}^2$  и  $126 \pm 14 \cdot 10^{-27} \text{ см}^2$ . Полученное угловое распределение упругого рассеяния удовлетворительно описывается на основе оптической модели с комплексным потенциалом при  $V_r = 30 \text{ Мэв}$ ,  $V_i = -34 \pm 4$  и  $R = 1,45 \cdot 10^{-13} \text{ см}$ . Были выделены реакции квазиупругого рассеяния протонов на протонах и квазисвободного взаимодействия протона с нейтроном. Сечения указанных реакций составили  $15 \pm 2 \cdot 10^{-27} \text{ см}^2$  и  $24 \pm 2 \cdot 10^{-27} \text{ см}^2$  на нуклон. Показано, что в 20% случаев происходит или развитие каскада, или же первичная частица претерпевает столкновение с группой нуклонов. Выделены случаи с рождением  $\pi^-$ -мезонов в  $pn$ -столкновениях и установлено, что сечение этого процесса на один нейтрон составляет  $1,3 \pm 0,5 \cdot 10^{-27} \text{ см}^2$ .

## В в е д е н и е

В настоящее время выполнен ряд исследований, посвященных взаимодействию нуклонов с ядром гелия. Эти работы проводятся, в основном, в двух направлениях. Первое направление связано с исследованием структуры ядра  $\text{He}^4$ . Из структурных свойств наибольшее внимание уделяется изучению размера ядра и внутриядерного движения нуклонов<sup>/1/</sup>, поискам возбужденных уровней<sup>/2,3,4/</sup>. К этому же направлению примыкают работы по изучению распределения заряда в ядре<sup>/5/</sup>. Ко второму направлению следует отнести работы, посвященные изучению механизма взаимодействия быстрых частиц с ядром  $\text{He}^4$ <sup>/6,7/</sup>. Это ядро имеет достаточно сложную структуру, чтобы в процессах рассеяния выявлялись основные черты взаимодействия быстрых частиц со сложным ядром, и в то же время оно имеет не очень большое число нуклонов, что позволяет детально разобраться в природе наблюдаемых явлений. Получаемые в такого рода опытах сведения могут служить для обоснования теории импульсного приближения или оптической модели, описывающих взаимодействие быстрых частиц с коллективом нуклонов.

Хотя изучению взаимодействия нуклонов с ядром  $\text{He}^4$  посвящено значительное число работ, в области больших энергий /свыше 300 Мэв/ имеются только отрывочные данные. В этом диапазоне энергий выполнено только две работы<sup>/6,7/</sup>. В первой работе изучались поляризация и упругое рассеяние протонов с энергией 315 Мэв, а во второй - только процессы образования  $\pi^-$ -мезонов в соударениях нейтронов с  $\text{He}^4$  при энергии 300 Мэв.

Следует заметить, что исследование с  $\text{He}^4$  проводить труднее, чем с другими легкими ядрами, поскольку создание мишени из жидкого гелия не всегда является простой задачей. К настоящему времени только две работы<sup>/1,6/</sup> проведены с жидко-гелиевой мишенью.

В данной работе были проведены измерения при энергии протонов 630 Мэв при помощи диффузионной камеры. Выбранная методика позволила рассмотреть в одном опыте процессы как упругого рассеяния, так и неупругого взаимодействия. Из неупругого взаимодействия наибольший интерес пред-

ставляли возможность изучения реакций квазисвободного рассеяния, а также получение сведений о процессах кратного взаимодействия в легком ядре.

### Постановка опыта

Рассеяние протонов изучалось при помощи диффузионной камеры, подробно описанной ранее вместе со вспомогательной аппаратурой в работе <sup>18/</sup>. Диаметр рабочей области составлял 30 см, высота чувствительного слоя 5-7 см. Камера наполнялась гелием до давления 15-20 атмосфер.

На рис. 1 показана схема расположения аппаратуры при проведении опыта. Протоны получались от синхрофазотрона Объединенного института ядерных исследований. Вывод частиц из камеры ускорителя производился с помощью внутренней мишени. Благодаря этому имелась возможность одновременно работы другой установки в пучке  $\pi^-$ -мезонов, получаемых от той же мишени. Однако энергия протонов была несколько ниже максимальной, даваемой ускорителем, и составляла с учетом ионизационных потерь  $630 \pm 15$  Мэв. Интенсивность пучка протонов была соответственным образом уменьшена так, чтобы за один цикл в диффузионную камеру поступало несколько десятков частиц. Вышедшие из ускорителя протоны отклонялись на угол  $19^\circ$  очищающим магнитом и направлялись через коллиматор размером  $3 \times 10$  см<sup>2</sup> в диффузионную камеру. Для уменьшения фона постороннего излучения камера размещалась в бетонном домике с толщиной стен 0,5 м и дополнительно защищалась свинцовыми блоками. Фотографирование производилось через каждые 15-20 секунд. Стерефотоаппарат имел базу 120 мм и съемка велась с расстояния 800 мм на пленку "Панхром-Х", чувствительностью  $S_{0,85} = 1000$  ед. ГОСТ.

### Идентификация случаев взаимодействия

В процессе экспонирования камеры было получено около 20.000 стереофотографий. Отбор случаев взаимодействия производился путем трехкратного просмотра через стереолупу. В результате просмотра было обнаружено 444 случая рассеяния протонов на ядрах гелия. В это число не вошли 6 случаев,

которые были отнесены к взаимодействию с ядрами С или О, входящими в состав метилового спирта. Найденное число взаимодействий с ядрами примеси приблизительно согласуется с оценками для ожидаемого числа таких событий.

Распределение случаев взаимодействия протонов с гелием по числу лучей представлено в таблице 1.

Т а б л и ц а 1

| Число лучей               | 1 | 2   | 3   | 4 | 5 |
|---------------------------|---|-----|-----|---|---|
| Количество взаимодействий | 0 | 204 | 228 | 8 | 4 |

Для получения полного сечения взаимодействия были отобраны лучшие партии пленок, на которых был произведен счет числа следов. С учетом необходимых поправок для полного сечения было получено значение

$$\sigma_n = 150 \pm 13 \cdot 10^{-27} \text{ см}^2.$$

Измерение пространственных углов, а также длин следов выполнялось с помощью репроектора, описанного ранее в работе <sup>/9/</sup>. В некоторых случаях производилась оценка ионизирующей способности частиц путем анализа фотogramм следов, снимавшихся на микрофотометре МФ-4 <sup>/10/</sup>.

При рассеянии протонов с энергией 630 Мэв на ядрах гелия может идти большое число реакций. Для удобства идентификации их можно подразделить на отдельные группы, объединяемые едиными приемами обработки.

Приведенные в таблице 11 реакции 1 группы, представляют собой кроме реакции 4, компланарные двухлучевые звезды и выделяются по кинематическим условиям разлета.

Т а б л и ц а 11

| Группа<br>1 | Реакция                         | Число случаев     |
|-------------|---------------------------------|-------------------|
| 1           | $p + He^4 \rightarrow p + He^4$ | 66                |
| 2           | $\rightarrow d + He^3$          | /1/ <sup>x/</sup> |
| 3           | $\rightarrow \pi^+ + He^5$      | 0                 |
| 4           | $\rightarrow \pi^0 + Li^7$      | 0                 |

Группа реакций, приведенная в таблице 111, включает в себя события также входящие в состав двухлучевых звезд. Основную массу случаев во второй группе будет составлять квазиупругое рассеяние протона на нейтроне /реакция 1/. Остальные случаи, за исключением реакций 2 и 4, относятся к квазисвободному взаимодействию протонов. В данной работе не удалось отделить реакцию 1 от других реакций этой группы.

Т а б л и ц а 111

|           | Реакция                                | Число случаев |
|-----------|--|---------------|
| Группа 11 | 1. $p + He^4 \rightarrow p + n + He^3$ | } 136         |
|           | 2. $\rightarrow \pi^+ + n + He^4$      |               |
|           | 3. $\rightarrow \pi^+ + (2n) + He^3$   |               |
|           | 4. $\rightarrow \pi^0 + p + He^4$      |               |
|           | 5. $\rightarrow \pi^0 + (p, n) + He^3$ |               |

Группа реакций, приведенная в таблице 1У, входит в состав трехлучевых звезд и включает в себя не только случаи квазисвободного взаимодействия протонов с протонами, но также и другие процессы с участием во

<sup>x/</sup> В скобках здесь и ниже приводится число не вполне достоверных случаев из общего числа идентифицированных событий.

взаимодействии большего числа нуклонов.

Т а б л и ц а 1У

|                    | Реакция                               | Число случаев |
|--------------------|---------------------------------------|---------------|
| Группа $\bar{111}$ | 1. $p + He^4 \rightarrow p + p + H^3$ | 88 /10/       |
|                    | 2. $\rightarrow \pi^+ + (3n, 2p)$     | } 124         |
|                    | 3. $\rightarrow \pi^0 + (2n, 3p)$     |               |
|                    | 4. $\rightarrow p + (2n, 2p)$         |               |

Из реакций этой группы было выделено квазиупругое рассеяние протона на протоне /реакция 1/. Отбор случаев квазиупругого рассеяния проводился по соответствующей корреляции в углах разлета частиц, а также по их импульсам в конечном состоянии. Процедура отбора таких случаев аналогична той, которая использовалась при идентификации случаев квазиупругого рассеяния  $\pi^-$ -мезонов на протонах и подробно описана в работе<sup>/11/</sup>.

Следующую, 1У группу реакций составляют случаи, относящиеся к рождению  $\pi^-$ -мезонов в  $pn$ -столкновениях. Эти случаи, в отличие от уже рассмотренных реакций, представляют собой четырех- и пятилучевые звезды. В таблице У приведены результаты отбора реакций этой группы.

Т а б л и ц а У

|           | Реакция  | Число случаев      |
|-----------|--|--------------------|
| Группа 1У | 1. $p + He^4 \rightarrow \pi^- + p + p + He^3$ | 7/3/ <sup>x/</sup> |
|           | 2. $\rightarrow \pi^- + p + p + p + d$         | 4                  |
|           | Всего  | 11/3/              |

<sup>x/</sup> В скобках указаны случаи, которые могут интерпретироваться также как рождение  $\pi^0$ -мезона с последующим распадом его на электронную пару и  $\gamma$ -квант.



При взаимодействии протонов с ядром гелия при энергии 630 Мэв может происходить также парное рождение  $\pi$ -мезонов, которое может давать вклад в четырех- и пятилучевые звезды. Однако, как следует из работы /12/, сечение такого рода процессов весьма мало даже при энергии 800 Мэв и не превышает 0,2 миллибарн/нуклон. Можно полагать, что вклад от парного рождения при энергии 630 Мэв будет пренебрежимо мал и его можно не учитывать при отборе рассмотренных групп реакций. При анализе пятилучевых звезд был обнаружен всего один случай, который может интерпретироваться как вероятный случай парного рождения мезонов. Его фотография приведена на рис. 2.

### Упругое рассеяние

Угловое распределение упругого рассеяния представлено на рис. 3. Минимальный угол регистрации составлял  $5^\circ$  в системе центра масс. Без поправки на область малых углов для полного сечения упругого рассеяния было получено следующее значение

$$\sigma_{\text{уп}} = /22,0 \pm 4,5/ \cdot 10^{-27} \text{ см}^2.$$

Если воспользоваться оптической теоремой /13/, то можно сделать оценку для минимальной поправки к сечению на область малых углов. С учетом поправки сечение будет составлять  $\sigma_{\text{уп}} = /24,0 \pm 5,0/ \cdot 10^{-27} \text{ см}^2$  или 0,16 от полного сечения  $p$ -He взаимодействия. Это результат указывает на то, что сечение упругого рассеяния остается практически постоянным при переходе от энергии 315 Мэв к 630 Мэв. /Интегрирование углового распределения, полученного в работе /6/ при 315 Мэв дает  $\sigma_{\text{уп}} = 19 \cdot 10^{-27} \text{ см}^2/$ .

Оценки кулоновского рассеяния показали, что оно, в основном, сосредоточено в интервале углов  $0-5^\circ$  и поэтому его вклад в приведенное угловое распределение будет пренебрежимо малым.

В рамках оптической модели были проведены расчеты углового распределения упругого рассеяния. Расчеты выполнялись в борновском приближении без учета спин-орбитального и кулоновского взаимодействий. Рассеивающий потенциал брался в виде прямоугольной ямы с радиусом  $R$  и глубиной

$V = \sqrt{|V_R|^2 + |V_I|^2}$ . Вид углового распределения, совместимого с опытными данными, оказывается весьма чувствителен к величине радиуса и потенциала. Приемлемые распределения получаются с радиусами, лежащими в интервале  $/1,3 - 1,55/ \cdot 10^{-13}$  см. При этом возможные значения глубины потенциальной ямы составляют 40-50 Мэв. Через экспериментальные точки наилучшим образом проходит кривая, для которой  $V = 45$  Мэв и  $R = 1,45 \cdot 10^{-13}$  см /рис.3/.

Если воспользоваться величиной сечения для неупругих процессов, то при  $R = 1,45 \cdot 10^{-13}$  см для мнимой части потенциала получается значение  $V_I = -/34 \pm 4 /$  Мэв. Действительная часть потенциала оказывается тогда равной  $V_R = 30$  Мэв.

Аналогичные расчеты были выполнены нами для энергии протонов 315 Мэв, На том же рис. 3 представлены результаты измерения упругого рассеяния поляризованных протонов на ядрах  $He^4$ , полученные Чемберленом и др. /8/, а также нанесено распределение, вычисленное для  $R = 1,9 \cdot 10^{-13}$  см и  $V = 17$  Мэв, лучше всего проходящее через экспериментальные точки. Если принять  $R = 1,9 \cdot 10^{-13}$  см и положить коэффициент Гольдбергера  $\gamma = 0,8$ , то из полных сечений  $pp$  и  $p\eta$  -рассеяния при энергии 315 Мэв для мнимой части потенциала получается  $V_I = -18$  Мэв, т.е.  $V_I$  оказывается почти равной модулю полного потенциала.

В выборе  $\gamma$  имеется некоторая неопределенность, так как отсутствуют сведения о сечении неупругого рассеяния при 315 Мэв. Однако эта неопределенность не может изменить вывода о малости действительной части потенциала при этой энергии. Такой результат находится в согласии с расчетами действительной части центрального потенциала, выполненными Ризенфельдом и Ватсоном /14/ на основе фазовых сдвигов при нуклон-нуклонном рассеянии. Согласованность результатов для энергии 315 Мэв в рамках принятой схемы описания может указывать на то, что при энергии 630 Мэв принятое описание будет достаточно правильным. Тогда можно заключить, что действительная часть потенциала с повышением энергии возрастает.

Следует отметить, что в рамках проведенного рассмотрения не удастся описать угловые распределения при энергиях 300 и 600 Мэв с одним и тем же радиусом для ямы.

Неупругое рассеяние

Кратные столкновения в ядре гелия. К ядру  $He^4$  можно применить представление о каскадных процессах, развитое Гольдбергером<sup>/15/</sup>. Развитие каскада при рассматриваемой энергии может обуславливаться повторными столкновениями как нуклонов, так и мезонов, образовавшихся в первом соударении. Налетающие нуклоны могут также сталкиваться с группой нуклонов ядра. При этом выбитые нуклоны оказываются как связанными, так и не связанными в конечном состоянии. В последнем случае событие будет выглядеть так, что на опыте окажется невозможным установить произошло ли развитие каскада или же имело место соударение с комплексом нуклонов. Процессы одновременного или последовательного взаимодействия налетающей частицы с несколькими нуклонами мы будем в дальнейшем называть процессами кратного взаимодействия. Из данных, приведенных в таблице 1, можно оценить вклад таких процессов.

Обозначая через  $N_{pn}^{\lambda}$  полное число столкновений налетающего протона с нейтронами ядра, мы можем написать:

$$N_{pn}^{\lambda} = N_{pn} + N_{pn}^k = N_2^{\lambda} + N_4 + N_5 + N_{pn}^k,$$

где  $N_{pn}$  - число случаев квазисвободного взаимодействия;  $N_2^{\lambda}$  - число двухлучевых звезд, исключая случаи упругого рассеяния;  $N_4$  и  $N_5$  - число четырех и пятилучевых звезд, соответственно, а  $N_{pn}^k$  - число случаев, в которых произошло кратное взаимодействие. Такая раздельная запись  $N_{pn}^{\lambda}$  возможна только из-за того, что среди двухлучевых звезд практически отсутствуют случаи, связанные с процессами кратного взаимодействия. Любые повторные столкновения будут приводить к увеличению числа лучей, в результате чего событие будет зарегистрировано как трехлучевая звезда. Исключение составляют реакции  $p + He^4 \rightarrow \pi^0 + p + He^4$  и  $p + He^4 \rightarrow \pi^+ + n + He^4$ , в которых развитие каскада может не приводить к увеличению числа лучей. Однако, если воспользоваться результатами работы<sup>/7/</sup>, то можно убедиться, что вклад от этих реакций будет мал<sup>x/</sup>.

---

<sup>x/</sup> При энергии 300 Мэв выход  $\pi^-$ -мезонов от реакции  $n + He^4 \rightarrow \pi^- + p + He^4$  составляет менее 6% от всего сечения мезообразования.

В числе трехлучевых звезд  $N_3$  содержатся не только случаи квазисвободного взаимодействия протонов с протонами  $N_{pp}$ , но также и случаи кратного взаимодействия  $N_{pp}^K$  и  $N_{pn}^K$ . Поэтому число столкновений протонов с протонами  $N_{pp}^A$  можно написать:

$$N_{pp}^A = N_{pp} + N_{pp}^K = N_3 - N_{pn}^K$$

Разумно предположить, что сечения квазисвободного рассеяния нуклонов относятся как соответствующие сечения для свободных нуклонов. Тогда, воспользовавшись этим, можно оценить вклад процессов кратного взаимодействия при рассеянии протонов на  $He^4$ :

$$\varepsilon = \frac{(N_{pn}^K + N_{pp}^K)}{(N_{pp}^A + N_{pn}^A)} = \frac{N_3 - N_2' - N_4 - N_5}{N_3 + N_2' + N_4 + N_5} = 0,22 \pm 0,07 .$$

Полученный результат указывает на заметную роль процессов кратного взаимодействия даже в таком легком ядре как  $He^4$ . Существенная роль таких процессов была установлена нами также при изучении рассеяния быстрых  $\pi$ -мезонов на  $He^4$  /11/.

#### Квазисвободное рассеяние протонов

В таблице У1 приведены сечения для различных реакций, выделенных при идентификации случаев взаимодействия. Сравнение полного сечения неупругих процессов с суммой нуклон-нуклонных сечений дает для величины  $\gamma$  значение 0.82. Этот результат указывает на то, что даже при энергии налетающей частицы около 600 Мэв и на легких ядрах необходимо знание величины  $\gamma$ , чтобы можно было оценивать величину свободного пробега, пользуясь суммой нуклон-нуклонных сечений. При энергии протонов 970 Мэв величина  $\gamma$  даже для дейтрона все еще не достигает 1 и составляет 0,91 /16/.

Т а б л и ц а У1

| Реакция  | Сечение<br>на ядро<br>$10^{-27} \text{ см}^2$ | Сечение<br>на нуклон<br>$10^{-27} \text{ см}^2$ | $\frac{\sigma}{\sigma_{NN}}$ | Сечение<br>на нуклон<br>с поправкой<br>на кратные<br>процессы<br>$\sigma'$ | $\gamma = \frac{\sigma'}{\sigma_{NN}}$ |
|--|---|---|------------------------------|--|--|
|  |   | $\sigma$  |                              |  |  |
| 1. Неупругое рассеяние                                     | /126±14/                                      |   |                              |  | 0,82                                   |
| 2. $p + \text{He}^4 \rightarrow p + n + \text{He}^3$       | /46±4/  | /23±2/  |                              |  |  |
| 3. $\rightarrow \pi^+ + n + n + \text{He}^3$               |   |   |                              |  |  |
| 4. $\rightarrow \pi^0 + (p, n) + \text{He}^3$              |   |   |                              |  |  |
| 5. $\rightarrow \pi^- + p + p + \text{He}^3$               |   |   |                              |  |  |
| 6. $\rightarrow \pi^- + p + p + d$                         | /1,3±0,7/                                     |   |                              |  |  |
| 7. Суммарное квази-<br>свободное $pn$ -взаимо-<br>действие | /48±4/  | /24±2/  | 0,65                         | /29±3/   | 0,78                                   |
| 8. $p + \text{He}^4 \rightarrow p + p + \text{H}^3$        | /29±3/  | /15±2/  | 0,6                          | /18±2/   | 0,73                                   |

В строке 7 таблицы У1 приведены сведения о квазисвободном рассеянии протонов на нейтронах ядра гелия. Полное сечение квазисвободного рассеяния составляет без учета процессов кратного взаимодействия только 0,65 от соответствующего сечения для свободных нуклонов. Аналогичный результат получается и для квазиупругого рассеяния протонов на протонах /строка 8/. Введение соответствующей поправки на кратное взаимодействие дает для  $\gamma$  приблизительно такую же величину, как это получается из полного сечения неупругого рассеяния.

Как видно из строк 5 и 6 той же таблицы сечение рождения мезонов в столкновениях протонов со связанными нейтронами составляет  $/1,3 \pm 0,5/ \cdot 10^{-27} \text{ см}^2$ , что приблизительно совпадает с сечением, полученным в работе /17,18/ для свободных нейтронов.

На рис. 4 показано угловое распределение протонов, отлетающих при квазиупругом рассеянии. Для сравнения на этом же рисунке приведено угловое распределение упругого рассеяния протонов на протонах при энергии 630 Мэв. Из сопоставления приведенных распределений видно, что при квазиупругом рассеянии имеет место выбывание некоторого числа нуклонов как в области малых углов, так и при углах, близких к  $90^\circ$ . Наблюдающееся различие обуславливается вероятно, в основном, принципом Паули.

Форма углового распределения протонов была рассчитана с учетом связи методом случайных испытаний. При расчете внутриядерное распределение нуклонов по импульсам бралось в виде распределения Ферми с граничным импульсом 220 Мэв/с; процессы кратного взаимодействия не учитывались. Результаты расчета представлены на том же рис. 4. Как видно, угловое распределение, полученное на опыте, удовлетворительно согласуется по форме с рассчитанным распределением. Такое соответствие указывает на то, что процессы кратного взаимодействия, происходящие в гелии в заметной доле случаев, сильно не искажают формы распределения, а приводят к практически пропорциональному выбыванию протонов по всем углам.

В заключение авторы благодарят А.Г.Потехина, В.Ф.Поенко за помощь в постановке эксперимента, а также Е.А.Шваневу за помощь в обработке опытных данных.

Рукопись поступила в издательский отдел 3 сентября 1959 г.

Л и т е р а т у р а

1. W. Selove and J. Teem. Phys.Rev., 112, 1658 (1958).
2. Г.Ф.Богданов, Н.А.Власов, С.П.Калинин, Б.В.Рыбаков, Л.Н.Самойлов, В.А.Сидоров. Сб. Ядерные реакции при малых и средних энергиях. Изд. АН СССР, Москва, 1958 г.
3. H. Tyren, G. Tibell and A. Maris, Nuclear Physics, 4, 277 (1957).
4. R.M. Eisberg, Phys.Rev., 102, 1104 (1956).
5. R. Blancenbecker and R. Hofstadter. Bull. Am. Phys. Soc., 1, 10 (1956).
6. O. Chamberlain, E. Segre, R. Tripp, C. Wiegand and T. Ypsilantis, Phys.Rev., 102, 1659 (1956).
7. P.H. Moulthrop, Phys.Rev. 99, 1509 (1955).
8. М.С.Козодаев, М.М.Кулюкин, Р.М.Суляев, А.И.Филиппов, Ю.А.Шербаков. ПТЭ, № 6, 47, 1958.
9. А.Т.Василенко, М.С.Козодаев, Р.М.Суляев, А.И.Филиппов, Ю.А.Шербаков. ПТЭ № 6, 34, 1957.
10. В.И.Волощук, В.В.Кузнецов, Р.М.Суляев, А.И.Филиппов, Ю.А.Шербаков. ПТЭ /в печати/.
11. М.С.Козодаев, М.М.Кулюкин, Р.М.Суляев, А.И.Филиппов, Ю.А.Шербаков. ЖЭТФ /в печати/.
12. M. Block, E. Harth, W. Fowler, R. Shutt, W. Cocconi, E. Hart, E. Fowler, J. Garrison. CERN Symposium, 374, 1956.
13. Л.И.Лapidус, ЖЭТФ, 31, 1099, 1956.
14. W. Riesenfeld and k. Watson. Phys.Rev. 102, 1157 (1956).
15. M. Goldberger. Phys.Rev., 74, 1269 (1948).
16. A. Batson, B. Culwick, H. Klepp and L. Riddiford. Proc. Roy. Soc., 251, 233 (1959).
17. Ю.М.Казаринов и Ю.Н.Симонов. ЖЭТФ, 35, 78. 1958.
18. В.П.Джелепов, В.С.Киселев, К.О.Оганесян, В.Б.Флягин. Материалы Киевской конференции по физике высоких энергий г.Киев, 1959. Доклад Б.М.Понтекорво.

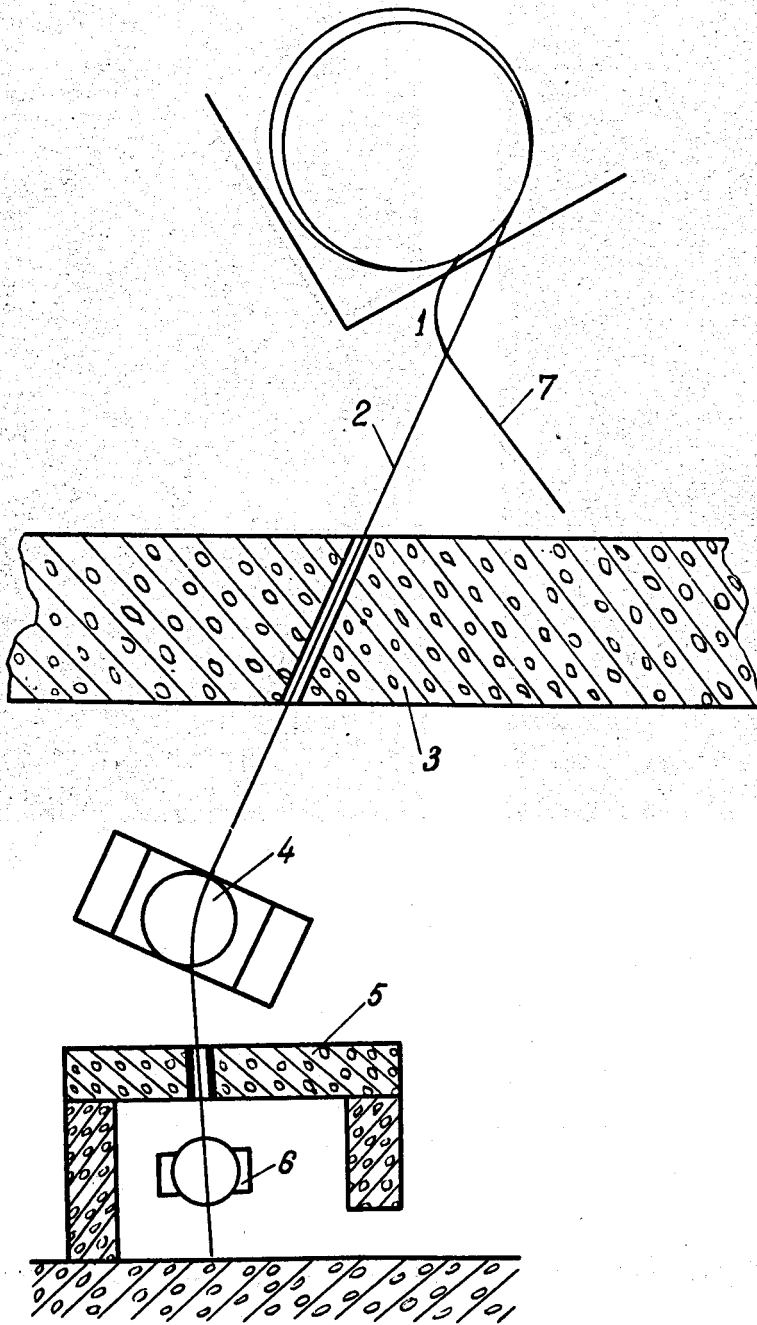


Рис. 1. Схема расположения аппаратуры.



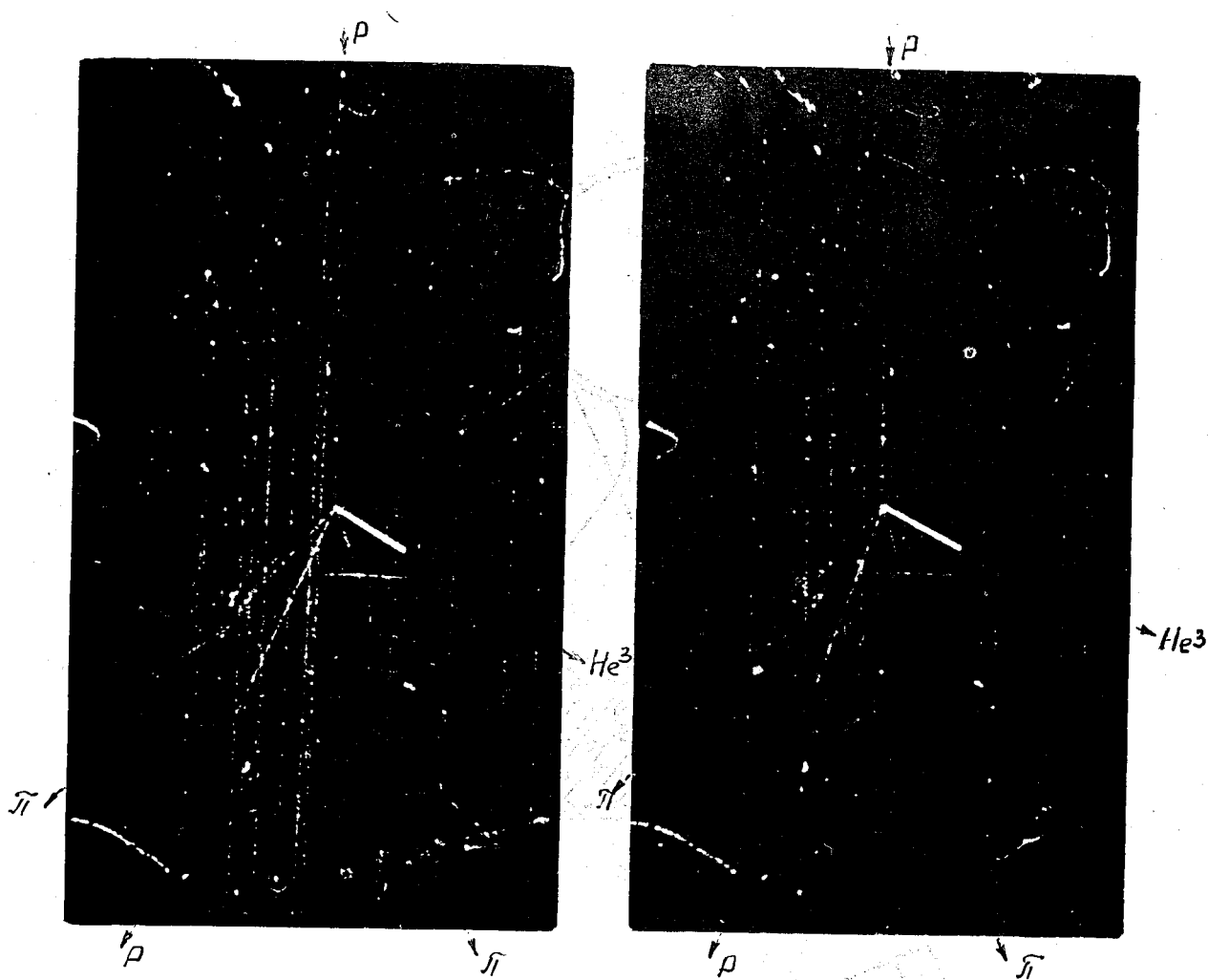


Рис. 2. Фотография вероятного случая парного образования  $\pi$ -мезонов.

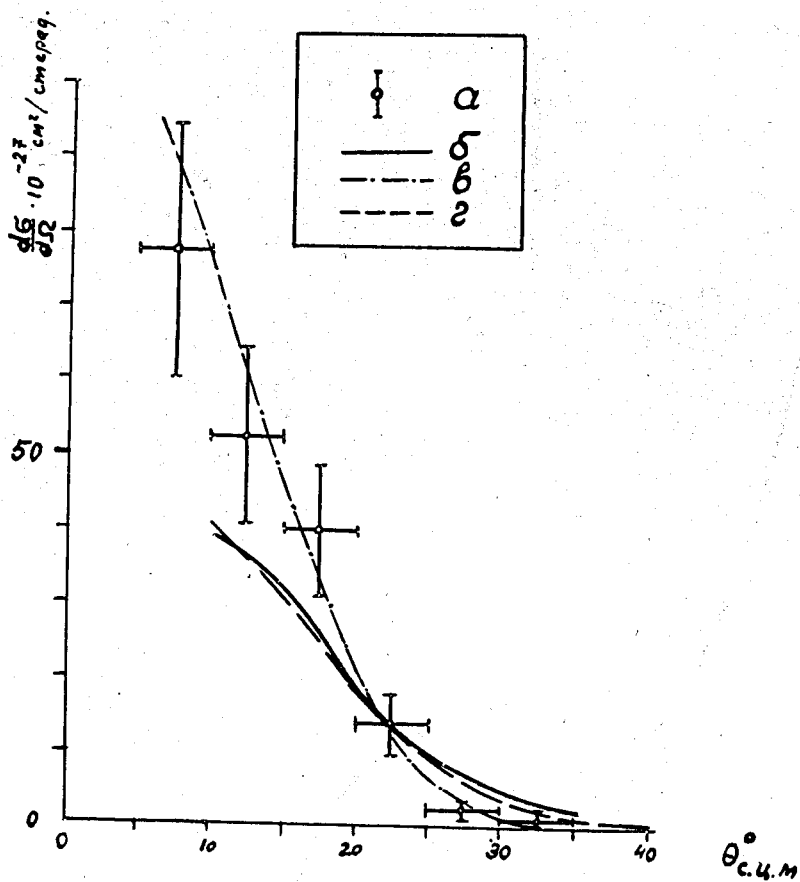


Рис. 3. Угловое распределение упругого рассеяния протонов на гелии.

- а - экспериментальное распределение при энергии 630 Мэв;
- б - экспериментальное распределение при энергии 315 Мэв<sup>16/</sup>;
- в - угловое распределение для энергии 630 Мэв, рассчитанное по оптической модели с параметрами  $V = 45 \text{ Мэв}$ ,  $R = 1,5 \cdot 10^{-13} \text{ см}$ ;
- г - угловое распределение для энергии 315 Мэв, рассчитанное по оптической модели с параметрами  $V = 17 \text{ Мэв}$ ,  
 $R = 1,90 \times 10^{-13} \text{ см}^2$ .

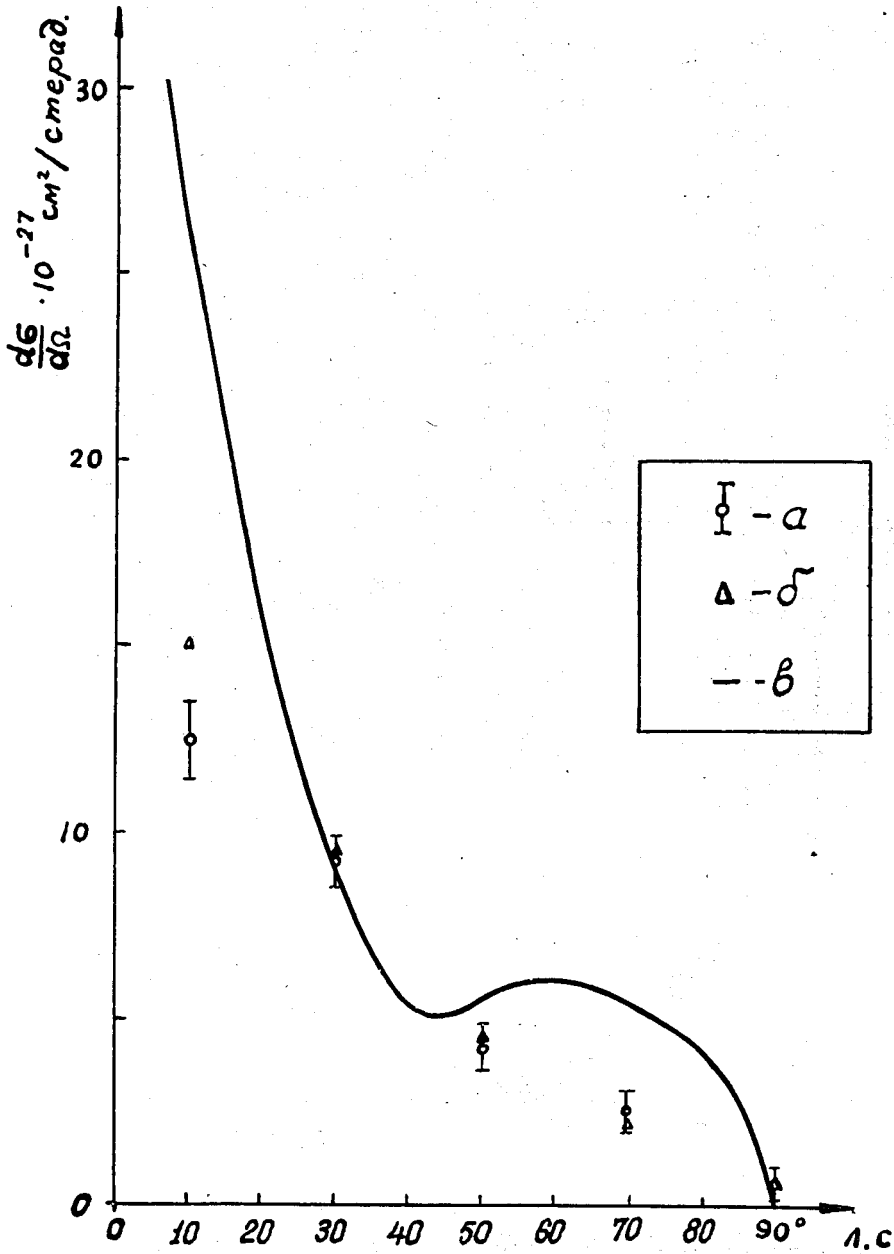


Рис. 4. Угловое распределение квазиупругого рассеяния протонов на протонах.

а - экспериментальное распределение;

б - распределение, рассчитанное методом случайных испытаний;

в - угловое распределение рассеяния протонов на свободных протонах.