

0  
M-26

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Лаборатория высоких энергий

Д-452

П.К. Марков, Э.Н. Цыганов, М.Г. Шафранова, Б.А. Шахбазян

ИЗУЧЕНИЕ УПРУГОГО РАССЕЯНИЯ  
ПРОТОНА НА ПРОТОНЕ

ПРИ ЭНЕРГИИ 8,5 БЭВ

*ж.этф, 1960, т.38, в.5, с.1471-75.*

Д-452

П.К.Марков, Э.Н.Цыганов, М.Г.Шафранова, Б.А.Шахбазян

ИЗУЧЕНИЕ УПРУГОГО РАССЕЯНИЯ  
ПРОТОНА НА ПРОТОНЕ  
ПРИ ЭНЕРГИИ 8,5 БЭВ

Объединенный институт  
ядерных исследований  
БИБЛИОТЕКА

### А н н о т а ц и я

В работе исследуется упругое р-р рассеяние при энергии 8,5 Бэв методом фотоэмульсий. Использована геометрия облучения, при которой поток падающих протонов направлен перпендикулярно плоскости фотоэмульсии. Найдено 145 случаев упругого рассеяния /включая 66 случаев работы [1] /. Вклад случаев рассеяния на квазисвободных протонах и других событий фона составляет  $\sim 1\%$ . Сечение упругого рассеяния равно  $8,6 \pm 0,8$  мб. Получено дифференциальное сечение до  $1^\circ$  в с.ц.м.

Результаты не согласуются с моделью чисто поглощающего протона. Проведенные расчеты по модели однородной сферы показывают, что можно получить согласие с экспериментальными данными при следующих параметрах:

$$R = /1,5 \div 1,7/ \cdot 10^{-13} \text{ см}$$

$$K = /0,19 \div 0,12/ \cdot 10^{13} \text{ см}^{-1}$$

$$K_1 = /0,15 \div 0,12/ \cdot 10^{13} \text{ см}^{-1}$$

$$/ \quad u = 22 \div \overset{34}{23} \text{ Мэв/}$$

$$/ \quad v = 22 \div 27 \text{ Мэв/}$$

### Постановка опыта

В работе [1] были опубликованы предварительные данные по упругому рассеянию протона на протоне при энергии 8,5 Бэв. Настоящая работа является продолжением работы [1]. Работа выполнена на камере размером  $10 \times 10 \times 2 \text{ см}^3$  из слоев эмульсии типа НИКФИ-БР толщиной 400 мк, облученной внутренним пучком протонов с энергией 8,5 Бэв на синхрофазотроне Объединенного института ядерных исследований перпендикулярно плоскости фотоэмульсионных слоев. Были сделаны анализы на содержание водорода в контрольных слоях. Оказалось, что в  $1 \text{ см}^3$  облучаемой эмульсии содержалось  $2.90 \pm 0.06 / \cdot 10^{22}$  атомов водорода.

Просмотр производился по площади с помощью иммерсионного объектива при увеличении 630 в центральной части слоя размером  $2 \times 2 \text{ см}^2$ . Средняя плотность потока в этой зоне была равна  $1.97 \pm 0.05 / \cdot 10^5$  частиц/см<sup>2</sup>. Всего было просмотрено  $3.35 \text{ см}^3$  эмульсии.

Для определения эффективности нахождения интересующих нас событий и надежности результатов вся площадь была просмотрена дважды. Из найденных двухлучевых звезд отбирались звезды, по внешнему виду похожие на упругое p-p рассеяние. Их оказалось 799, и они были разбиты на три группы в зависимости от пробега медленного протона.

1.  $10 \text{ мк} \leq R < 100 \text{ мк}$
2.  $100 \text{ мк} \leq R < 20000 \text{ мк}$
3.  $R \geq 20000 \text{ мк}$ .

Следы медленных протонов первых двух групп были практически "черными", так как чувствительность эмульсии была высокой  $\frac{\eta}{\eta_{\text{min}}} = 40$  зерен/100мк/.

Эффективность в результате двукратного просмотра оказалась равной  $85 \pm 3\%$ ,  $92.5 \pm 0.8\%$  и  $78 \pm 5\%$  для событий первой, второй и третьей группы соответственно.

### Анализ найденных событий и методика измерений

Для выделения случаев упругого рассеяния на свободном водороде были использованы следующие критерии:

1. Соотношение между пробегом протона отдачи  $R$  и его углом с направлением первичного протона  $\psi$  удовлетворяет кинематике упругого рассеяния.

2. Угол  $\psi$  между плоскостями, проведенными через направление первичного протона и направления вылета вторичных частиц равен нулю /условие компланарности/.

3. Соотношение между пробегом протона отдачи  $R$  и углом  $\psi$  рассеянного протона с направлением первичной частицы удовлетворяет кинематике упругого рассеяния.

4. В точке рассеяния не должно быть явного ядра отдачи и  $\beta$ -электрона.

В случае, когда протон отдачи не останавливается в камере и его импульс, определенный по ионизационным изменениям, известен с большой ошибкой, применялось соотношение между углом рассеяния протона и углом вылета протона отдачи, удовлетворяющее упругому рассеянию.

Пробег протона измерялся с ошибкой не большей 5%.

Основную ошибку в определение угла вылета протона отдачи вносила неточность в измерении угла погружения. В среднем эта ошибка не превышает  $1,5^\circ \div 2^\circ$ , за исключением случаев с коротким пробегом протона отдачи /  $R < 500$  мк/.

Измерения угла рассеяния протона  $\psi$  проводились следующим способом:

1. Вблизи акта рассеяния, на расстоянии  $20 \div 30$  мк, выбирался пучковый реперный след, не испытавший взаимодействия. Для определения угла рассеяния  $\psi$  делались 4 измерения проекций расстояния между реперным следом и следом, испытавшим рассеяние на оси  $x$  и  $y$  - / вдоль маркировочных линий/ в плоскости фотоэмульсии. Два измерения проводились до акта рассеяния на базе 2000 мк /через 5 пластинок/ и два - после, на такой же базе. Точность измерения проекций была  $\sim 1$  мк. Это позволило измерять угол рассеяния с точностью  $2' \div 3'$ . Для исключения случайных ошибок делались одновременные независимые измерения относительно трех реперных следов.

Из этих измерений определялся угол некомпланарности  $\gamma$ . Ошибка в величине  $\gamma$  определяется в основном ошибкой в измерении угла рассеяния протона и зависит от величины этого угла. Так, для  $\psi = 1^\circ$  ошибка в определении угла некомпланарности составляет  $3^\circ$ , если  $\Delta\psi = 3'$ . Как было показано в работе [1] при имеющихся точностях измерений вклад квазиупругих событий в число выделенных случаев будет составлять  $\sim 1\%$ .

Для каждого измеряемого случая оценивались ошибки измерения и отбирались случаи, удовлетворяющие кинематике в пределах тройных ошибок. На рис. 1, 2, 3 приведены распределения этих случаев по  $|\Delta\psi|$ ,  $\Gamma$  и  $|\Delta\psi|$ . Из рис. 1 получено, что среднеквадратичная ошибка в измерении угла  $\psi$  составляет  $\sim 2^\circ$ . Из распределения отобранных случаев по  $\Gamma$  видно, что ошибки углов некомпланарности оценены правильно. Для гистограммы на рис. 3 отбирались случаи, удовлетворяющие кинематике по первым двум критериям в пределах тройной среднеквадратичной ошибки. На этот рисунок попадают и случаи рассеяния на квазисвободных протонах, имеющих импульс, лежащий в плоскости рассеяния и направленный перпендикулярно падающему протону, так как такие случаи по первым двум критериям не отделяются. Значительная доля этих случаев попадает в область  $\Delta\psi > 12'$  то есть за тройную полуширину распределения/, где нет случаев рассеяния на свободных протонах. По числу таких событий можно оценить вклад квазиупругих и др. случаев фона в область  $\Delta\psi < 12'$ . Этот вклад оказывается  $\sim 1\%$ .

### Результаты и обсуждение

Примененная методика облучения фотоэмульсионных слоев перпендикулярно их плоскости и методика измерений позволили получить дифференциальное сечение в с.с.м. до  $1^\circ$ , с хорошей надежностью выделить квазиупругие события и другие случаи фона и сравнительно быстро набрать значительную статистику.

Критериям отбора в пределах тройных среднеквадратичных ошибок удовлетворяет 145 случаев /из них только пять имеют протон отдачи, вылетающий из эмульсионной камеры/. Это в несколько раз больше, чем в эмульсионных работах по упругому рассеянию [2], [3], [4].

На основе оценки вклада квазиупругих случаев, пропуска случаев рассеяния на малые углы  $\theta < 1^\circ$  с.ц.м./, эффективности просмотра сечение упругого взаимодействия получилось равным  $\sigma_{el} = 8,6 \pm 0,8$  мб.

На рис. 4 в виде гистограммы приведено дифференциальное сечение упругого р-р рассеяниями в с.ц.м. Сплошной жирной линией указано угловое распределение, полученное по модели чисто поглощающего диска с параметрами  $R = 0,94 \cdot 10^{-13}$  см,  $a = 0,453$ ,  $\sigma_{el} = 8,5$  мб,  $\sigma_{in} = 22$  мб. Из рисунка видно, что этой моделью нельзя объяснить полученные экспериментальные данные. Эти данные нельзя объяснить также любой другой моделью чисто поглощающего протона, по которой без учета спинов дифференциальное сечение под нулем градусов задается по оптической теореме:

$$|Im f(\theta)|^2 = \left( \frac{\sigma_t}{4\pi\lambda} \right)^2$$

и значительно меньше экспериментального. В этом отношении наши результаты расходятся с выводами других экспериментальных работ при меньших энергиях. Так, например, в работе [5], в которой изучается упругое рассеяние при энергии 6,15 Бэв дифференциальное сечение экстраполируется от  $7,6^\circ$  к значению под  $0^\circ$ , следующему из оптической теоремы. Однако, если на один рисунок, где по оси абсцисс отложено  $k_c \sin \theta$ , а по оси ординат  $\frac{1}{k_c^2} \frac{d\sigma(\theta)}{d\Omega}$  / как обычно делается для сравнения опытов при разных энергиях / нанести экспериментальные данные, полученные в работе [5] и нашей работе, то между этими данными получается удовлетворительное согласие. Расхождение наших экспериментальных данных с моделью протона, предложенной в работе [5], наблюдается в области углов  $0^\circ - 7,6^\circ$ , где в этой работе дифференциальное сечение не измеряется.

Согласие данных работы [3] с моделью чисто поглощающего диска, возможно, объясняется недостаточной статистикой.

В связи с этим подход к анализу данных по упругому рассеянию протонов в работах [6], где амплитуда рассеяния считается чисто мнимой, кажется нам не очень оправданным.

Был проведен расчет по модели однородной сферы, согласно [7] с комплексным коэффициентом преломления. Экспериментальные данные, как видно

из рисунка 4, удовлетворительно согласуются со сферой, имеющей следующие параметры:

$$R = /1,5 \div 1,7/ \cdot 10^{-13} \text{ см}$$

$$K = /0,191 \div 0,125/ \cdot 10^{+13} \text{ см}^{-1}$$

$$K_1 = /0,155 \div 0,125/ \cdot 10^{+13} \text{ см}^{-1}$$

$$U = /34,1 \div 22,3/ \text{ Мэв}$$

$$V = /27,5 \div 21,8/ \text{ Мэв},$$

где  $R$  - радиус сферы;  $K$  и  $K_1$  характеризуют поглощение и преломление соответственно;  $U$  и  $V$  - соответствующие значения мнимого и действительного потенциала.

Нужно отметить, что уже при имеющейся статистике модель однородной сферы с комплексным коэффициентом преломления, кажется, также дает не очень детальное согласие с экспериментальными данными.

На рисунке 4 дано также дифференциальное сечение кулоновского взаимодействия /сплошная тонкая линия/. Видно, что в области углов  $> 2,5^\circ$  влияние кулоновского взаимодействия очень мало, и им можно пренебречь. В интервале  $1^\circ \div 2,5^\circ$  получено значение дифференциального сечения, несколько меньшее по сравнению с предсказаниями модели однородной сферы. Это не может быть связано с пропусками событий в этом интервале, так как эффективность их нахождения довольно высока и известна с хорошей точностью. Возможно, что это объясняется интерференцией кулоновского взаимодействия с ядерным, однако, чтобы сделать такой вывод, необходимо увеличение статистики.

Большое значение дифференциального сечения под  $0^\circ$  не противоречит модели чисто поглощающего протона в предположении, что сечения взаимодействия в синглетном и триплетном состоянии сильно различаются.

---

Авторам очень приятно выразить глубокую благодарность члену-корреспонденту АН СССР Д.И.Блохинцеву, академику В.И.Векслеру, М.Данышу, М.И.Подгорецкому, члену-корреспонденту АН СССР И.Я.Померанчуку, профессору Я.А.Сморозинскому и К.Д.Толстову за многочисленные и ценные обсуждения и интерес к работе. Авторы благодарят коллектив отдела синхротрона



за облучение эмульсионной камеры и коллектив сектора обработки фотоэмульсии за химическую обработку фотоэмульсии.

Авторы также благодарны Л.Г.Поповой, В.А.Никитину, В.А.Свиридову за помощь при обработке опытных данных; группе, обслуживающей электронную счетную машину "Урал" /Лаборатория теоретической физики/, а также Т.Ф.Грабовской, О.А.Игнатенко и др. за просмотр и измерения.

Рукопись поступила в издательский отдел  
28 декабря 1959 года.

#### Л и т е р а т у р а

- 1 В.Б.Любимов, П.К.Марков, Э.Н.Цыганов, Чжен Пу-ин, М.Г.Шафранова. ЖЭТФ /в печати/, препринт ОИЯИ № Р-339.
- 2 W.D. Walker Phys.Rev. 108, 872, (1957).  
W.D. Walker and J. Crussard Phys.Rev. 98, 1416, (1955); Phys.Rev. 104, 526, (1956).
- 3 R.M. Kalbach, J. J. Lord and C.H. Tsao. Phys.Rev. 113, 330, (1959).
- 4 P.J. Duke, W.O. Lock, P.V. March, W.M. Gibson, R.Mc. Keague, J.S. Hughes and H. Muirhead. Phil.Mag. 16, 877, (1955).  
P.J. Duke, W.P. Lock, P.V. March, W.M. Gibson, J.G. Mc. Ewen, J.S. Hughes and H. Muirhead. Phil.Mag. 2, 204, (1957).
- 5 B. Cork, W.A. Wenzel, C.W. Causey. Phys.Rev. 107, 859, (1957).
- 6 D. Ito, S. Minami and H. Tanaka. Nuovo Cimento 8, 135, (1958). 9, 208 (1958)  
В.Г.Гришин, И.С.Сайтов. ЖЭТФ, 33, 1051 /1957/.  
В.Г.Гришин, И.С.Сайтов, И.В.Чувило. ЖЭТФ 34, 1221 /1958/.  
В.Г.Гришин. ЖЭТФ 35, 501 /1958/, В.С.Барашенков, Хуан Нян-нин. ЖЭТФ, 36, 832 /1959/.
- 7 S. Fernbach, R. Serber and I.V. Taylor. Phys.Rev. 75, 1352, (1949).

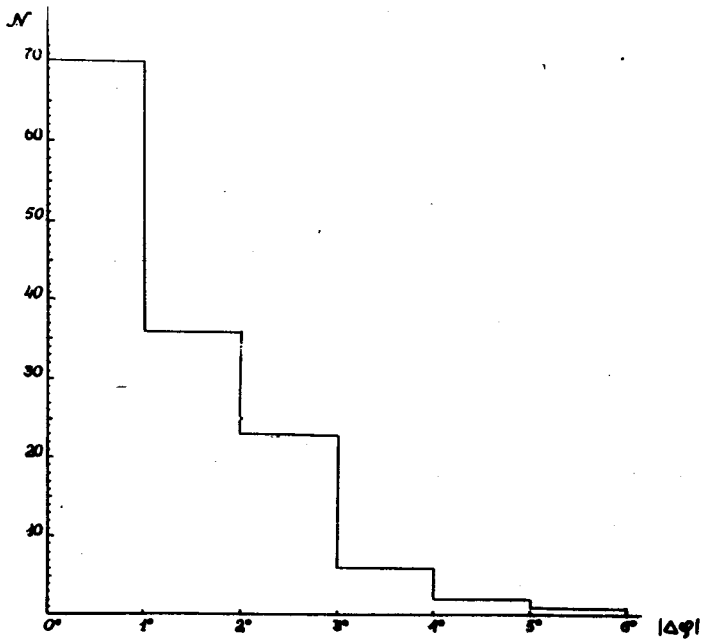


Рис. 1. Распределение случаев упругого рассеяния по  $|\Delta\varphi|$ ,  $\Delta\varphi$  - разность между измеренным углом протона отдачи и углом, который соответствует его пробегу по кинематике.

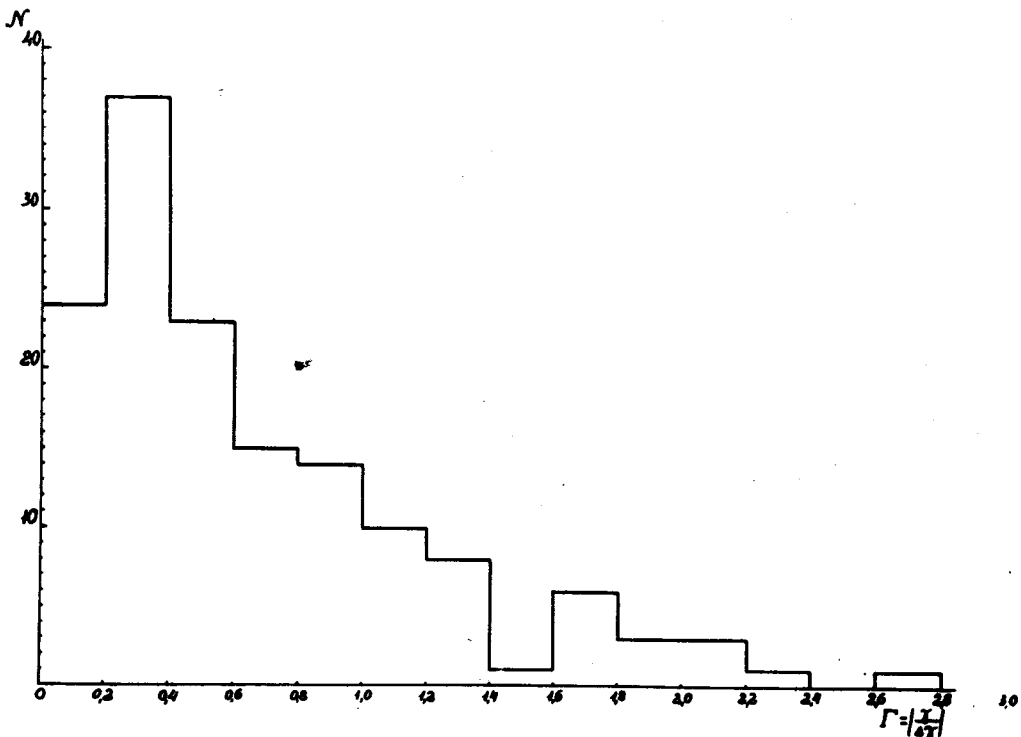


Рис. 2. Распределение случаев упругого рассеяния по  $\Gamma = |\chi/\Delta\gamma|$ , где  $\chi$  - угол некомпланарности,  $\Delta\gamma$  - его ошибка.

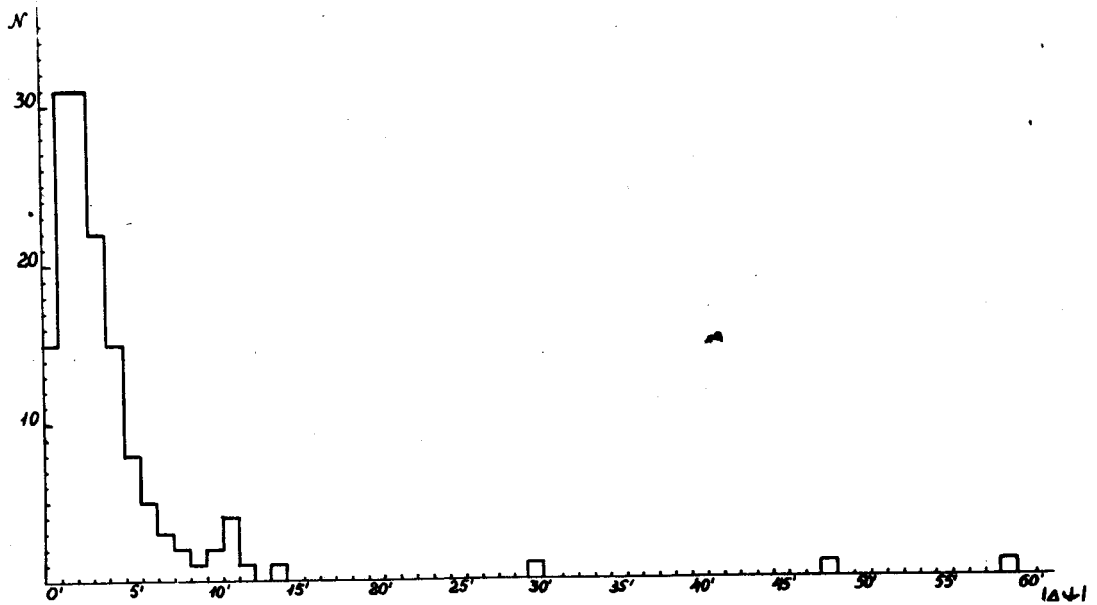


Рис. 3. Распределение случаев отобранных по первым двум критериям  $|R-\psi|$  и компланарность/ по  $|\Delta\psi|$ .

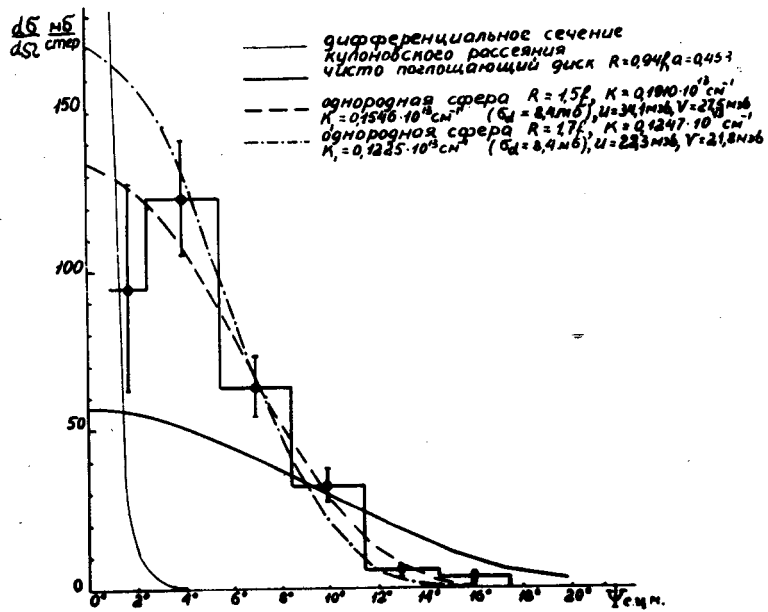


Рис. 4. Дифференциальное сечение упругого рассеяния протонов с энергией 8,5 Бэв на протонах в с.ц.м.