



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

В.С. Барашенков, Д.И. Блохинцев, И. Патера, Г.Л. Семашко

P-1458

АНАЛИЗ ИМПУЛЬСНОГО СПЕКТРА
ПРОТОНОВ ОТДАЧИ
В НЕУПРУГИХ P^- -р ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ
ПРИ 7 ГЭВ

Исл. Phys., 1964, v 54, n 3, p 492-496.

Дубна 1963

В.С. Барашенков, Д.И. Блохинцев, И. Патера^x, Г.Л. Семашко

P-1458

2169/1, 18

АНАЛИЗ ИМПУЛЬСНОГО СПЕКТРА
ПРОТОНОВ ОТДАЧИ
В НЕУПРУГИХ П⁻р ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ
ПРИ 7 ГЭВ

Направлено в Nuclear Physics.

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

x) Постоянный адрес: Институт физики, Прага.

Для описания неупругих взаимодействий частиц при больших энергиях ($T \geq 1$ Гэв) в настоящее время широко используется одномезонная полюсная теория. Эта теория пришла на смену статистической теории Ферми после того, как экспериментаторы обнаружили асимметрию угловых распределений рождающихся частиц. Для дальнейшего развития теории, в свою очередь, было чрезвычайно важно установить, где одномезонное приближение противоречит опыту. Однако, несмотря на грубость, это приближение в области ускорительных энергий согласуется со всеми известными экспериментальными данными.

Первое указание на возможное расхождение эксперимента и теории было получено в работе группы Векслера^{/1/}. В этой работе было впервые надежно установлено существование двух максимумов в импульсных спектрах Λ -гиперонов, образующихся в π^-p взаимодействиях при $T = 7$ Гэв. Однако в наших работах^{/2,3/} показано, что в пределах экспериментальных ошибок такой характер спектров Λ -гиперонов можно объяснить резонансами в периферических $\pi-k$ взаимодействиях.

Почти одновременно в работе^{/4/} дополнительные максимумы были обнаружены и в спектрах протонов отдачи. По сравнению со спектром Λ -гиперонов анализ протонных спектров более прост, так как в этом случае надо учитывать всего лишь две одномезонные диаграммы, причем одна из них дает значительно меньший вклад, чем другая^{/5/} (см. рис. 1).

На рис. 2 результаты теоретического расчета импульсного спектра протонов сравниваются с экспериментальной гистограммой из работы^{/4/}. На этом рисунке приведен нормированный на единицу суммарный теоретический спектр

$$W(p) = W_1(p) + W_2(p) = \frac{(d\sigma_{\pi N} / dp)}{\sigma_{\pi N}}$$

где

$$\sigma_{\pi N}^{\pi N} = \int (d\sigma_1 / \Phi) \Phi + \int (d\sigma_2 / dp) dp = 0,04 g^2 \frac{\sigma_{\pi\pi}}{\pi N N} + 0,25 \frac{\sigma_{\pi\pi}}{t} \quad (*)$$

- полное сечение неупругих π^-p взаимодействий, $\frac{\sigma_{\pi\pi}}{t}$ - средняя величина полного сечения $\pi-\pi$ взаимодействий, $g^2 = 15$ - постоянная пион-нуклонного взаимодействия. Этот спектр вычислен тем же методом, что и спектр Λ -частиц в работах^{/2,3/}. Приведены также парциальные спектры

$$W_i(p) = \frac{(d\sigma_i / dp)}{\sigma_{\pi N}}$$

соответствующие одномезонным диаграммам M_1 и M_2 .

Существенно, что первая из этих диаграмм дает спектр, пропорциональный сечению $\pi-\pi$ взаимодействий $\sigma^{\pi\pi}(\omega)$ ^{xx)}, в то время как спектр, соответствующий диаграмме M_2 , зависит лишь от среднего значения $\bar{\sigma}_t^{\pi\pi}$, так как сечение $\pi-\pi$ взаимодействий в этом случае входит под знаком интеграла (ср. формулы (1) и (2) в работе ^{13/}).

Спектры на рис. 2 вычислены в предположении, что в наиболее существенной области энергий $\omega \approx 0,5-3$ Гэв сечение $\sigma_t^{\pi\pi}(\omega)$ очень мало отличается от среднего значения $\bar{\sigma}_t^{\pi\pi}$. Как видно, при этом условии нельзя получить спектр с двумя максимумами.

Расчеты показывают, что образование передачи четырехмерного импульса промежуточного π -мезона ($\Delta \leq \Delta^*$) оставляет почти неизменным положение максимума в спектре $W_2(p)$ и сдвигает его в спектре $W_1(p)$ (см. рис. 1). При соответствующем подборе величины Δ^* можно получить спектр $W(p)$ с двумя максимумами. Однако теоретическое сечение $\sigma_{In}^{\pi N}$ в этом случае оказывается намного меньше экспериментального (если только не предполагать, что сечение $\bar{\sigma}_t^{\pi\pi}$ на несколько порядков превосходит сечение $\pi-N$ взаимодействий, что противоречит другим оценкам (см. ^{16/})).

В рамках одномезонной теории согласие экспериментальных и теоретических спектров протонов можно получить лишь при учете энергетической зависимости сечения $\pi-\pi$ взаимодействий.

На рис. 3 приведена величина отношения $\sigma_t^{\pi\pi}(\omega)/\bar{\sigma}_t^{\pi\pi}$, полученная из условия, чтобы теоретический спектр $W(p)$ на рис. 1 наилучшим образом согласовался с экспериментальной гистограммой. Вполне отчетливо проявляются три пика. Если учесть размазку энергии пучка первичных π^- -мезонов $\Delta T \approx \pm 1$ Гэв, то энергия двухмезонной системы, соответствующая этим пикам, $\omega \approx 2,5-3$; $1,5-2,5$ и $0,2-0,9$ Гэв.

В области $\omega \approx 0,2-0,9$ Гэв хорошо известны $\pi-\pi$ резонансы ρ и ξ ^{xx)}.

Пик при $\omega \approx 1,5-2,5$ Гэв является не очень достоверным, так как соответствующий ему максимум в экспериментальной гистограмме при $p \approx 1,1$ Гэв совпадает с максимумом в спектре $W(p)$ и расхождение между экспериментальной и теоретической кривыми в этом интервале импульсов в значительной степени может быть обусловлено ошибками измерений ^{xxx)}.

x) $\omega = \omega(T, p)$ — полная энергия частиц в верхнем вертексе диаграммы M_1 (в системе их центра масс).

xx) Эти резонансы играют основную роль, когда энергия первичных π -мезонов $T < 5$ Гэв; с ростом энергии T увеличивается относительный вклад $\pi-\pi$ взаимодействий при больших значениях ω .

xxx) Вместе с тем следует отметить, что из анализа взаимодействий космических лучей очень большой энергии недавно были получены указания о существовании короткоживущей бозонной частицы с нулевым барионным числом и массой, несколько большей массы двух нуклонов ^{17/}. Если такая частица действительно существует, она должна давать вклад во второй пик на рис. 3.

Что касается пика при $\omega \approx 2,5-3$ Гэв, то никаких указаний на существование $\pi-\pi$ резонанса в этой области энергий в настоящее время не имеется. Возможно, это связано с тем, что эффективные массы пионных систем в области $M \geq 2$ Гэв практически еще не исследованы. Однако имеется и другая возможность, заключающаяся в том, что расхождение экспериментальных и теоретических спектров может быть обусловлено неприменимостью самой одномезонной теории.

Дальнейшее исследование этого вопроса представляет первостепенный интерес.

В частности, если дополнительные максимумы в спектре протонов отдачи обусловлены $\pi-\pi$ резонансами, то по мере увеличения энергии пучка первичных π -мезонов, эти максимумы должны сдвигаться в сторону больших импульсов. Так максимум, который при $T = 7$ Гэв расположен в области $p \approx 0,3-0,4$ Гэв/с, при $T = 10$ и 16 Гэв будет наблюдаться соответственно при $p \approx 1$ и 2 Гэв/с.

Импульсный спектр протонов отдачи в неупругих π^-p взаимодействиях при $T = 16$ Гэв исследовался в работе ^{18/}. Результаты измерений приведены на рис. 4. Как видно из сравнения с рис. 2, максимумы в спектре действительно сдвинулись в область больших импульсов. Однако статистика проанализированных протонов очень мала и более определенных заключений сделать пока еще нельзя.

Так как структура протонных спектров наблюдается как в звездах с малым числом лучей, так и в многолучевых звездах ^{14/}, следует ожидать, что соответствующие им резонансные $\pi-\pi$ состояния, если они действительно существуют, с большой вероятностью распадаются на четыре и большее число мезонов; изотопический спин этих состояний $I \geq 1$.

В заключение отметим, что из сравнения теоретического сечения $\pi-N$ взаимодействия с его экспериментальным значением $\sigma_{In}^{\pi N} \approx 24$ мб следует, что в области порядка нескольких Гэв средняя величина сечения $\pi-\pi$ взаимодействия $\bar{\sigma}_t^{\pi\pi} \approx 30$ мб. Эта величина приблизительно в два раза превосходит асимптотическое значение $\sigma_t^{\pi\pi} \approx 15$ мб, полученное из квазиклассических соображений и на основе полюсов Редже ^{16,9/}.

Один из авторов (В.С.Б.) благодарит за гостеприимство дирекцию Института физики и математики Молдавской Академии наук, где частично была выполнена настоящая работа.

Л и т е р а т у р а

1. V. A. Belyakov, Wang Yung chang, V. I. Veksler, N. M. Viryasov, I. Vrana, Du Yuan-cai, Kim Hi In, E. N. Kladnitskaya, A. A. Kuznetsov, A. Mihul, Nguyen Dinh Tu, I. Patera, V. N. Penev, E. S. Sokolova, M. I. Soloviev, T. Hofmohl, Tshen Lin yen, M. Schneberger. Proc. of the 11-th Intern. Conference on High Energy Phys., CERN, 1962, p. 252.

2. V.S.Barashenkov, D.I.Blokhintsev, E.K.Mihul, O.Patera, G.L.Semashko. Nucl. Phys.
3. В.С.Барашенков, Д.И.Блохинцев, Э.К.Михул, И.Патера, Г.Л.Семашко. ЖЭТФ, 45, 381 (1963).
4. K.Lanius, Proc. of the 11-th Intern. Confer. on High Energy Phys. CERN, 1962, p. 617.
5. Д.И.Блохинцев, В.С.Барашенков, Ван Жун, Э.К.Михул, Хуан Цзу-чжань, Ху Ши-кэ. ЖЭТФ, 42, 217 (1962).
6. V.S.Barashenkov, Fortschritte d. Phys. (в печати).
7. S.Hasegawa, Prog. Theor. Phys. 29, 128 (1963).
8. S.J.Goldsack, L.Riddiford, B.Tallini, B.R.French, W.W.Neale, J.R.Norbury, I.O.Skillicorn, W.T.Davies, M.Derrick, J.H.Mulvey, D.Radojicic, Nuovo Cim. 23, 941 (1942).
9. V.S.Barashenkov, V.M.Maltsev, Fortschritte d. Phys. 9, 549 (1962).

Рукопись поступила в издательский отдел
19 ноября 1963 г.

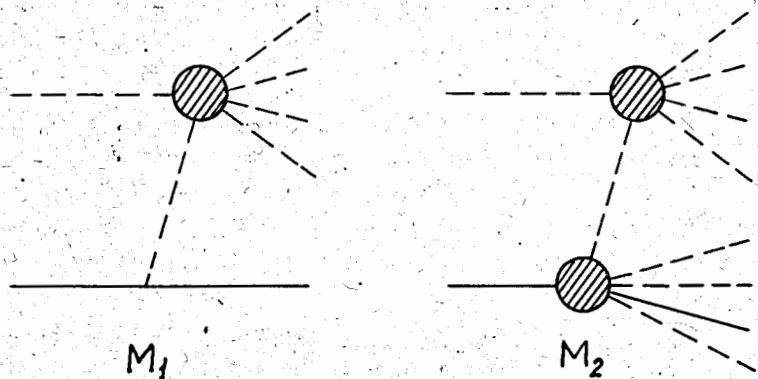


Рис. 1. Одномезонные диаграммы неупругих π -N взаимодействий. В нашей работе^{1/5/} уже отмечался преобладающий вклад диаграммы M_1 . Из формулы (*) видно, что этот вклад более чем вдвое превышает вклад диаграммы M_2 ; $\sigma_1 = 2\sigma_2$.

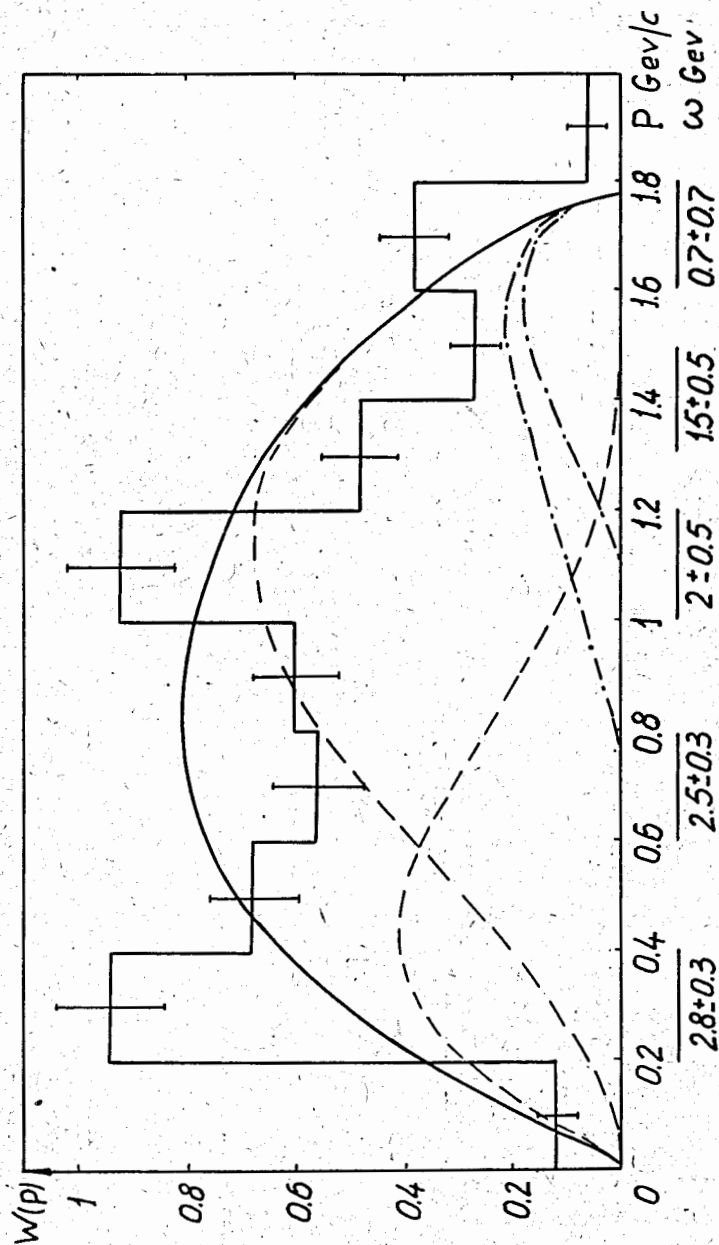


Рис. 2. Спектр протонов отдачи в неупругих π^- -p взаимодействиях при $T = 7$ Гэв. Сплошной кривой указан нормированный на единицу суммарный теоретический спектр $W(p)$. Пунктиром указаны парциальные спектры $W(p)$. Штрих-пунктирные кривые - спектр $W(p)$, полученный при обрезании передачи четырехмерного импульса промежуточного мезона на значении $\Delta = 0,5$ и $\Delta = 0,3$ (соответственно, верхняя и нижняя кривые). Гистограмма - нормированный на единицу экспериментальный спектр из работы^{1/4/}. Кроме шкалы импульсов p указана также шкала соответствующих им энергий пионной системы ω с учетом энергетической размазки пучка первичных π^- -мезонов ($T = 7 \pm 1$ Гэв)^{1/2}. Все спектры приведены в системе центра масс сталкивающихся π^- -мезона и протона.

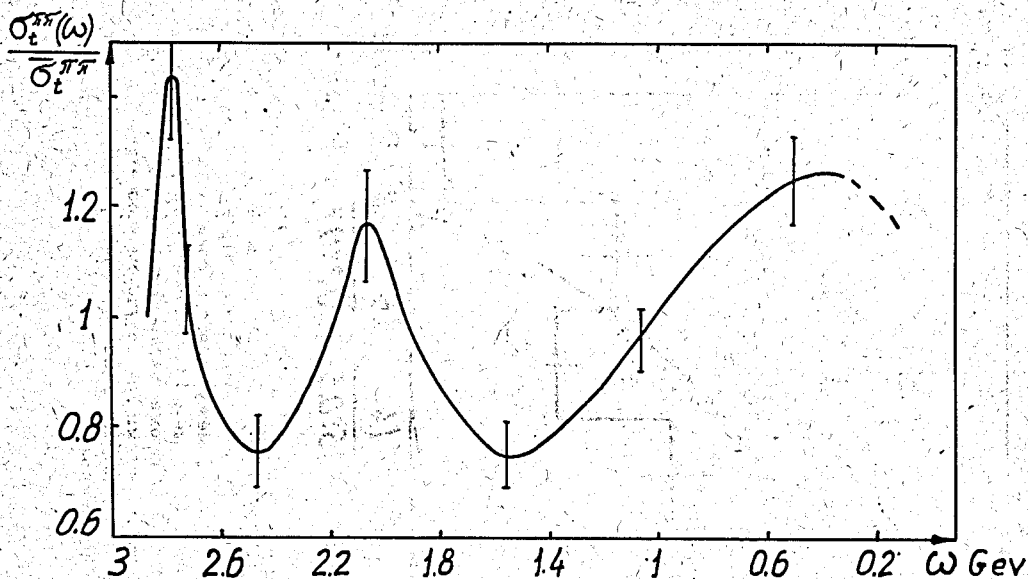


Рис. 3. Энергетическая зависимость сечения π - π взаимодействий, необходимая для согласования экспериментального импульсного спектра протонов отдачи с результатами расчетов по одномезонной полюсной теории. Значения ω вычислены в предположении, что энергия первичных π^- -мезонов T точно равна 7 Гэв, без учета размазки ΔT .

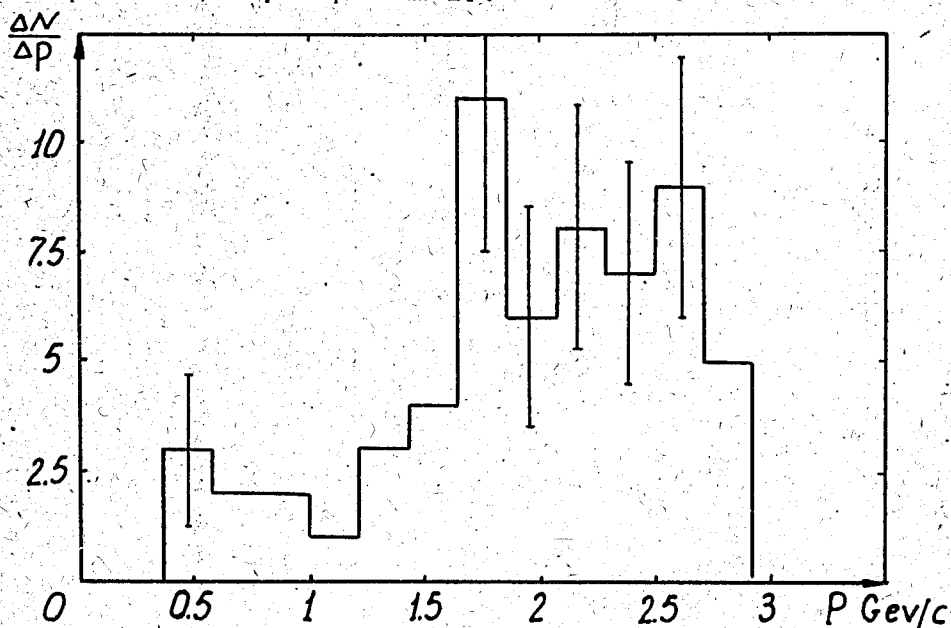


Рис. 4. Импульсный спектр протонов отдачи в неупругих взаимодействиях при $T = 16$ Гэв, полученный суммированием экспериментальных данных из работы¹⁹⁷. Ошибки - среднестатистические. Система центра масс.