



ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

С346

М-348

Ю.А. Матуленко

1548

ИЗМЕРЕНИЕ ПОЛНЫХ СЕЧЕНИЙ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ π^- -МЕЗОНОВ С ПРОТОНАМИ
В ИНТЕРВАЛЕ ИМПУЛЬСОВ 3,4-9,2 БЭВ/С

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Научный руководитель -
кандидат физико-математических
н а у к

А.Л. Любимов

Дубна 1964

Ю.А. Матуленко

1548

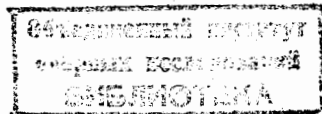
С 346
М-348

ИЗМЕРЕНИЕ ПОЛНЫХ СЕЧЕНИЙ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ π^- -МЕЗОНОВ С ПРОТОНАМИ
В ИНТЕРВАЛЕ ИМПУЛЬСОВ 3,4-9,2 БЭВ/С

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Научный руководитель -
кандидат физико-математических
н а у к

А.Л. Любимов



Дубна 1984

1863 88

В диссертации описаны опыты по измерению полных сечений взаимодействия π^- -мезонов с протонами в интервале импульсов 3,4-9,2 Бэв/с, выполненные на синхротроне ОИЯИ в 1960-1961 годах. Ко времени проведения этих измерений было принято считать, что асимптотическое поведение полных сечений взаимодействия π^- -мезонов с протонами, то есть постоянство этих сечений, а также равенство сечений для π^- и π^+ -мезонов начинается при энергии около 3 Бэв, Имевшиеся в то время немногочисленные экспериментальные данные не противоречили такому утверждению. Измерения, описанные в данной работе, были предприняты с целью выяснения поведения полных сечений π^-p -взаимодействия от энергии для энергий 3-9 Бэв, а также уточнения абсолютных значений и сравнения их с величинами полных сечений взаимодействия π^+ -мезонов с протонами. Такая задача обуславливала высокие требования к точности измерения, учету поправок и статистической обработке результатов.

Диссертация состоит из четырех глав и приложения.

В первой главе рассматриваются теоретические предсказания поведения полных сечений взаимодействия при высоких энергиях.

На основе дисперсионных соотношений Померанчук доказал^{/1/} асимптотическое равенство полных сечений взаимодействия частиц и античастиц с одной и той же частицей. Этот же результат получен на основе аналитических свойств амплитуды рассеяния^{/2/}. В ряде работ результаты Померанчука были несколько детализированы, в частности, найдены ограничения на характер убывания разности полных сечений частиц и античастиц с ростом энергии^{/3/}.

Рассмотрение, основанное на гипотезе движущихся полюсов в комплексной плоскости углового момента, дало конкретные предсказания поведения полных сечений при высоких энергиях и связь между полными сечениями для различных процессов. В работе Удгаонкара^{/4/} приводятся аналитические зависимости полных сечений взаимодействия различных частиц от энергии, полученные в предположении, что особенностями в комплексной плоскости углового момента, определяющими поведение амплитуды рассеяния, являются полюса.

Во второй главе описываются измерения полных сечений взаимодействия π^- -мезонов и поправок, которые учитывались при обработке результатов. Измерения полных сечений взаимодействия производились методом ослабления пучка для шести различных значений импульса налетающих π^- -мезонов. Измерения проводились в двух различ-

ных пучках. При измерениях полных сечений для импульсов 3,4; 3,9 и 4,9 Бэв/с использовалась вакуумная жидководородная мишень длиной 188 см ($11,7 \text{ г/см}^2$) и объемом 54 литра. Толщина стенок по пучку составляла величину $0,6 \text{ г/см}^2$ нержавеющей стали. Измерения полных сечений для импульсов 7,0; 8,4 и 9,2 Бэв/с проводились с помощью разностного метода, по разности ослабления пучка π^- -мезонов полиэтиленом и углеродом. Содержание углерода в мишенях было одинаковым. Полиэтиленовая мишень содержала $3,40 \text{ г/см}^2$ водорода.

Для регистрации частиц, падающих на мишень, использовался телескоп из трех сцинтилляционных счетчиков, включенных на совпадения. Поток π^- -мезонов, прошедших через мишень без взаимодействия или рассеявшихся на малый угол, регистрировался несколькими сцинтилляционными счетчиками, которые были видны из мишени под различными телесными углами. Эти счетчики включались на совпадения с мониторными счетчиками.

Импульс π^- -мезонов для значений импульса 7,0–9,2 Бэв/с определялся методом токнесущей проволоки, для 3,4–4,9 Бэв/с – по экстраполяции эффективности порогового газового черенковского счетчика к нулевому значению, как описано в работе ^{15/}.

При определении сечения вносились поправки, учитывающие выбывание π^- -мезонов из пучка за счет многократного кулоновского рассеяния и содержание в нем μ^- -мезонов. Выбывание за счет многократного кулоновского рассеяния определялось по ослаблению пучка π^- -мезонов поглотителем из тяжелого вещества, эквивалентным водородной мишени по кулоновскому рассеянию, то есть имеющим такую же толщину в t -единицах. Толщина свинцового поглотителя, эквивалентная 188 см жидкого водорода, была равна 1 мм. Содержание μ^- -мезонов в пучке определялось по поглощению π^- -мезонов за счет ядерного взаимодействия. Геометрия опыта выбиралась такой, чтобы ослабление за счет ядерного взаимодействия было большим, а за счет многократного рассеяния – малым.

В третьей главе описывается обработка экспериментальных данных. Сечения, вычисленные для конечных телесных углов с поправками на многократное кулоновское рассеяние и содержание μ^- -мезонов в пучке π^- -мезонов, экстраполировались к нулевому телесному углу с помощью метода наименьших квадратов с учетом корреляции измерений. Для всех импульсов экстраполяция проводилась по прямой линии, так как вклад квадратичного члена, по-видимому, должен быть малым. Это проверялось для импульса 7,0 Бэв/с. В этом случае, действительно, минимум оценки дисперсии, найденной из отклонения экспериментальных точек от линии регрессии, соответствует линейной экстраполяции.

Экстраполяция сечений к нулевому телесному углу показана на рис. 1. Полученные значения полных сечений взаимодействия π^- -мезонов с протонами приведены в следующей таблице.

Р Бэв/с	мбн
3,4	31,3 ± 0,6
3,9	30,5 ± 0,4
4,9	29,7 ± 0,4
7,0	28,2 ± 1,0
8,4	28,7 ± 2,3
9,2	25 ± 4

В четвертой главе обсуждаются результаты измерений. Величины полных сечений взаимодействия π^- -мезонов с протонами хорошо согласуются с измерениями, выполненными одновременно или позже в других лабораториях. Величина сечения для импульса π^- -мезонов 3,4 Бэв/с совпадает со значением, полученным путем экстраполяции совокупности экспериментальных данных, полученных при меньших энергиях^{/6/}. Эта величина равна 31,1 мбн. Для значений импульса выше 4,5 Бэв/с результаты данной работы хорошо согласуются с измерениями проведенными в ЦЕРНе^{/7/}. В 1962 году опубликованы результаты измерений полных сечений π^-p взаимодействия, выполненных в Беркли для интервала импульсов 2-4,9 Бэв/с^{/8/}. Результаты этой работы находятся в хорошем согласии с нашими измерениями, но имеют меньшую точность вследствие того, что выполнены разностным методом.

Данные настоящей работы указывают, что в изучаемом интервале энергий полные сечения взаимодействия π^- -мезонов с протонами уменьшаются с увеличением энергии. Достоверность такого утверждения можно оценить количественно. Для этого представим зависимость полного сечения от энергии в виде: $\sigma = A + B \frac{\pi}{E}$. Выбранная аналитическая зависимость хорошо удовлетворяет экспериментальным результатам. Величины A и B , найденные методом наименьших квадратов, имеют следующие значения: $A = (25,7 \pm 1,4)$ мбн, $B = (135 \pm 41)$ мбн. Вероятность того, что сечение не падает с ростом энергии, составляет величину порядка 10^{-3} .

Для выяснения поведения полных сечений π^- -мезонов с протонами при энергиях π^- -мезонов выше 3 Бэв была рассмотрена совокупность имеющихся экспериментальных данных. В качестве основы для анализа использовалась аналитическая зависимость полных сечений от энергий в форме, предложенной Удгаонкар^{/4/}. Согласно этой работе, сумму и разность полных сечений взаимодействия π^- - и π^+ -мезонов с протонами можно представить в виде:

$$\begin{aligned} \sigma_i(\pi^-p) + \sigma_i(\pi^+p) &= a + b \gamma^{a_{\text{ABC}}(0) - 1}, \\ \sigma_i(\pi^-p) - \sigma_i(\pi^+p) &= c \gamma^{a_p(0) - 1}. \end{aligned}$$

Если эти зависимости описывают поведение полных сечений взаимодействия π^- -мезонов с протонами, то они должны быть справедливыми только при достаточно высоких энергиях. Поэтому в качестве основы для сравнения проведен анализ величин полных сечений π^-p взаимодействия для интервала импульсов 4,5-20 Бэв/с, полученных в работах ^{/7,9/}. Данные этих работ в настоящее время являются наиболее точными при столь высоких энергиях. Кроме того, эти данные удобны для анализа по формулам Удгаонкара, так как содержат полные сечения для положительных и отрицательных π^- -мезонов. Анализ данных, полученных в работах ^{/7,9/}, приводится в приложении.

В результате проведенного анализа получены следующие значения коэффициентов и показателей степени:

$$\begin{aligned} a &= 47,70 \pm 1,34 \text{ мбн}, & c &= 24 \pm 19 \text{ мбн}, \\ b &= 518 \pm 462 \text{ мбн}, & \alpha_p(0) &= 0,37 \pm 0,19, \\ \alpha_{ABC}(0) &= -0,12 \pm 0,29, \end{aligned}$$

Найденная зависимость полных сечений взаимодействия π^- -мезонов с протонами от энергии представлена на рис. 2, где по оси абсцисс отложена величина $\gamma^{-2} = \frac{m}{E}$. На этом же рисунке нанесен коридор ошибок, а также результаты измерений, полученные в данной работе и в работе ^{/8/}.

Из приведенных результатов видно, что поведение полных сечений взаимодействия π^- -мезонов с протонами для энергий выше 4 Бэв хорошо согласуется с найденной аналитической зависимостью полных сечений взаимодействия от энергии. Для энергий ниже 4 Бэв наблюдается заметное отклонение экспериментальных значений от величин, полученных путем экстраполяции результатов измерений при более высоких энергиях, следующей из описания поведения полных сечений с помощью зависимостей, предложенных в работе ^{/4/}.

Сравнение величин полных сечений взаимодействия π^- -мезонов, полученных в данной работе, и π^+ -мезонов, приведенных в работах ^{/10,11/}, показывает, что разница этих сечений составляет величину порядка 2,5 мбн при энергии 5 Бэв. Зная разность полных сечений взаимодействия, при некоторых предположениях можно оценить сечение перезарядки.

При условии, что отношение полных сечений перезарядки и упругого рассеяния равно отношению их дифференциальных сечений для нулевого угла

$$\frac{\sigma_n}{\sigma_r} = \frac{|A_n(0)|^2}{|A_y(0)|^2}$$

и, принимая во внимание равенство $A_n = \frac{1}{\sqrt{2}}(A^- - A^+)$, следующее из изотопических соотношений, получим:

$$\frac{\sigma_n}{\sigma_y} = \frac{1}{2} \left| \frac{A^- - A^+}{A} \right|$$

Здесь A^+ и A^- - амплитуды упругого рассеяния для процессов π^+ и π^- .
Если амплитуды упругого рассеяния чисто мнимые, то, используя оптическую теорему, имеем:

$$\frac{\sigma_n}{\sigma_y} = \frac{1}{2} \left(\frac{\sigma_i^- - \sigma_i^+}{\sigma_i} \right)^2$$

Последнее соотношение позволяет оценить характер зависимости сечения перезарядки от энергии на основе концепции полюсов Редже.

Полные сечения взаимодействия стремятся к постоянному пределу. Сечение упругого рассеяния должно медленно изменяться с энергией ($\sigma_y \sim 1/\ln E$), а разность полных сечений взаимодействия отрицательных и положительных мезонов с протонами пропорциональна $E^{\alpha_p(0)-1}$. Последняя зависимость определяет поведение сечения перезарядки при больших энергиях. Таким образом, сечение перезарядки должно убывать с ростом энергии пропорционально $E^{-[\alpha_p(\sigma)-1]}$.

Зная разность полных сечений при энергии 5 Бэв, равную 2,5 мбн, и сечение упругого рассеяния $\sigma_y = 5,5$ мбн^{/12/}, можно получить оценку сечения перезарядки, которая будет иметь величину $\sigma_n \sim 0,02$ мбн.

К р а т к и е в ы в о д ы

1. В настоящей работе показано, что полное сечение взаимодействия π^- -мезонов с протонами убывает с ростом энергии в интервале 3,4-9,2 Бэв/с. Изменение сечения в этом интервале составляет величину 10%.

2. Полученные в настоящей работе значения полных сечений взаимодействия π^- -мезонов с протонами хорошо согласуются с результатами измерений, полученными одновременно или позже в других лабораториях.

3. Сравнение результатов измерений со значениями полных сечений в работах^{/7,9/} показывает, что поведение полных сечений взаимодействия π^- -мезонов с протонами в зависимости от энергии для энергий выше 4 Бэв, хорошо описывается формулами, предложенными Удгаонкаром. Для меньших энергий наблюдаются заметные отклонения от указанной зависимости.

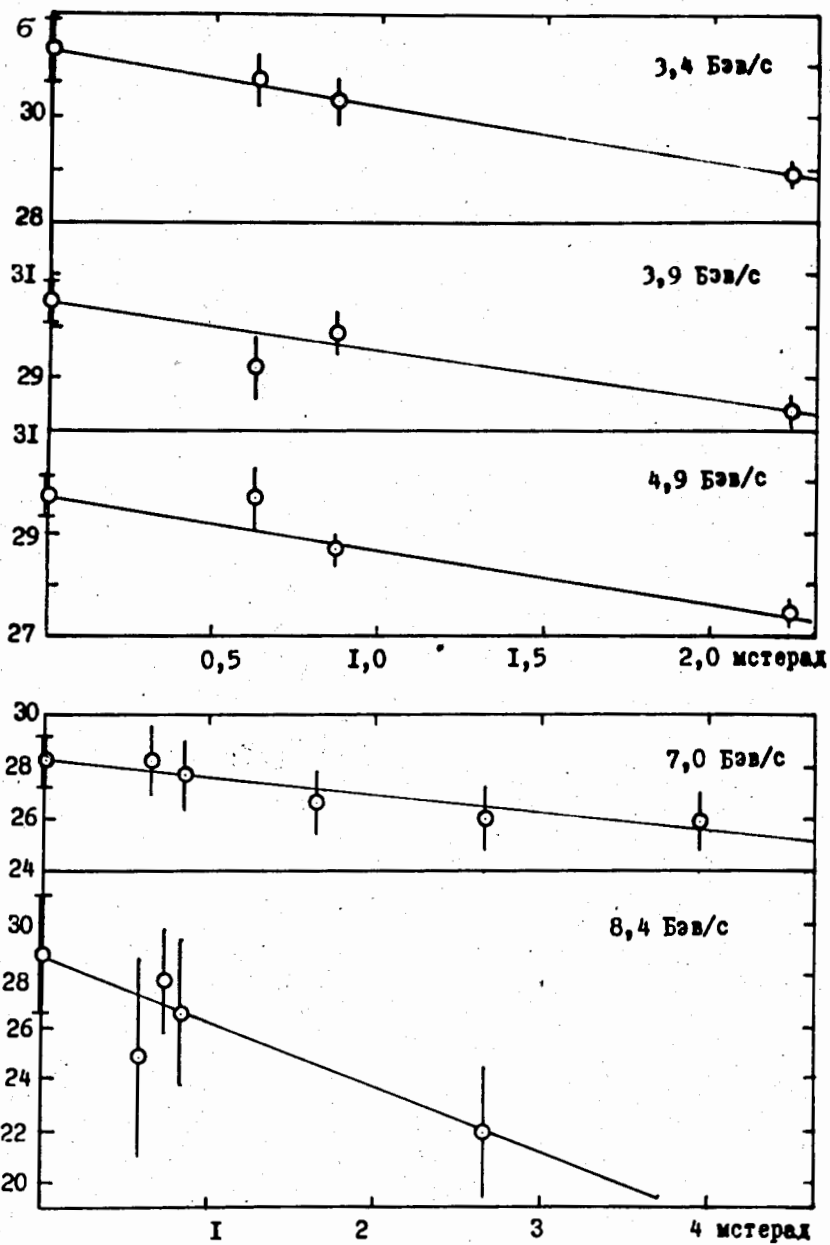
4. Результаты данной работы совместно с измерениями полных сечений взаимодействия π^+ -мезонов с протонами^{/10,11/} показывают, что разность сечений взаимодействия π^- и π^+ -мезонов с протонами в исследуемой области энергий составляет величину порядка 2 мбн.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах^{/13,14/}.

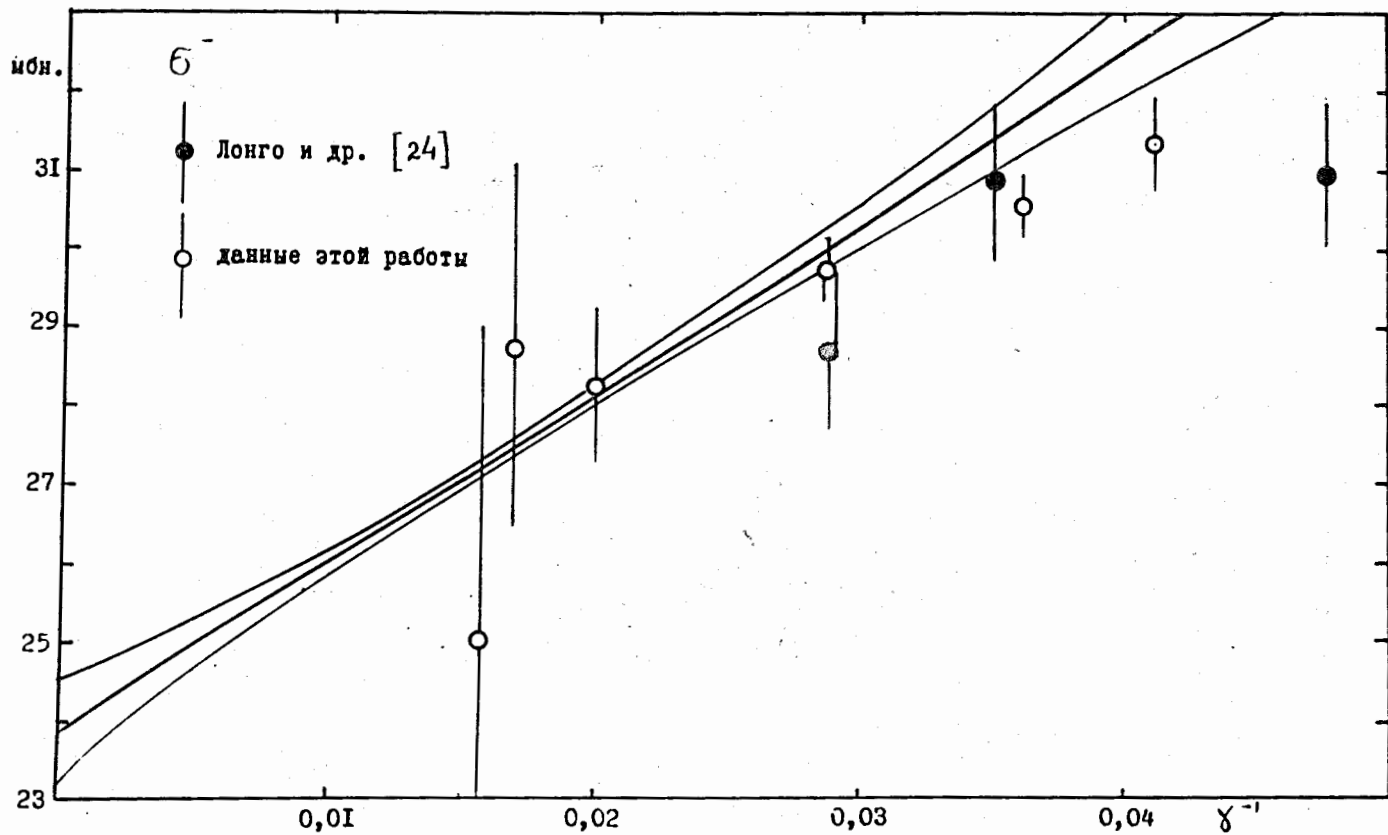
Л и т е р а т у р а

1. И.Я.Померанчук. ЖЭТФ, 34, 3, 725 (1958).
2. Н.Н.Мейман. ЖЭТФ, 43, 8, 2277 (1982).
3. D.Amati, M.Fierz and V.Glaser. Phys. Rev. Lett., 4,2,89 (1960).
4. M.Udgaonkar. Phys. Rev. Lett., 8, 142 (1962).
5. А.Н.Беляков, А.С.Вовенко, А.Д.Кириллов, Б.А.Кулаков, А.Л.Любимов, Ю.А.Матуленко, И.А.Савин. ПТЭ, 1, 32 (1981).
6. Н.П.Клепиков, В.А.Мещеряков, С.Н.Соколов. Препринт ОИЯИ Д-584, Дубна,1980.
7. G. von Dardel R.Mermod, P.A.Piroque, M.Vivargent, G.Weber, K.Winter. Phys. Rev.Lett., 7, 127 (1961).
8. M.J.Longo and B.J.Moyer. Phys. Rev. Lett., 9, 466 (1962).
9. G. von Dardel, D.Dekkers, R.Mermod, M.Vivargent, G.Weber and K.Winter. Phys. Rev. Lett., 8, 173 (1962).
10. M.J.Longo and B.J.Moyer. Phys. Rev., 125, 701 (1962).
11. A.S.Vovenko, B.A.Kulakov, M.F.Likhachev, J.A.Matulenko, J.A.Savin, E.V.Smirnov and V.S.Stavinski 1962 International Conference on High-Energy Physics at CERN
12. В.С.Барашенков, В.М.Мальцев. Препринт ОИЯИ Р-724, Дубна, 1961.
13. A.S.Vovenko, B.A.Kulakov, A.L.Lubimov, Y.A.Matulenko, I.A.Savin, E.V.Smirnov and M.D.Shafranov. Proc. of the 1960 Ann. Intern. Conf. on High Energy Physics at Rochester, Univ. of Rochester, 1960, 433.
14. А.С.Вовенко, Л.Б.Голованов, Б.А.Кулаков, А.Л.Любимов, Ю.А.Матуленко, И.А.Савин, Е.В.Смирнов. ЖЭТФ, 42, 3, 715 (1962).

Рукопись поступила в издательский отдел
24 января 1984 г.



Р и с. 1. Экстраполяция результатов измерений к нулевому телесному углу.



Р и с. 2. Зависимость полных сечений взаимодействия π^- -мезонов с протонами от γ^{-1} .