

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

В.В. Глаголев

2362

НЕУПРУГИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
 π^- -МЕЗОНОВ С НУКЛОНАМИ
ПРИ ЭНЕРГИИ 7 ГЭВ

Специальность № 040 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1985

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель:

Кандидат физико-математических наук К.Д.Толстов.

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук В.С.Барашенков,

доктор физико-математических наук А.О.Вайсенберг.

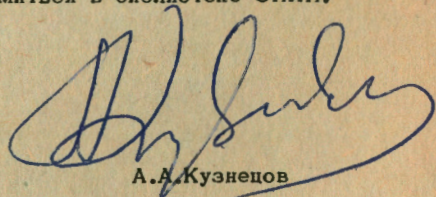
Ведущее предприятие: Лаборатория ядерных проблем Объединенного института ядерных исследований.

Автореферат разослан *26 апреля* 1968 г.

Защита диссертации состоится *6 мая* 1968 г. на заседании совета Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований, г.Дубна.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь совета



А.А.Кузнецов

В.В. Глаголев

2362

НЕУПРУГИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
 π^- -МЕЗОНОВ С НУКЛОНАМИ
ПРИ ЭНЕРГИИ 7 ГЭВ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Научный руководитель -
кандидат физико-математических наук

К.Д. Толстов

Дубна 1965

В основу реферируемой диссертации положен экспериментальный материал по неупругим взаимодействиям π^- -мезонов импульса 7 Гэв/с с нуклонами, полученный методикой ядерных фотоэмульсий. Эта работа, которая была одной из первых по данной тематике на синхрофазотроне в Дубне, проводилась коллективом группы научно-экспериментального отдела Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Первоначальные результаты были доложены на Киевской конференции по физике частиц высоких энергий в 1959 г.^{/1/} и на конференции в Рочестере (США) в 1960 г.^{/2/}.

Более полные экспериментальные результаты, основные выводы и сопоставления с другими работами опубликованы в статьях^{/3-7/}.

Аналогичные исследования в лабораториях стран-участниц ОИЯИ - Чехословакии, ГДР, Венгрии, КНР^{/8-10/}, а также результаты других экспериментов (см., например^{/11,12/}), подтвердили основные выводы нашей работы.

В первой главе содержится краткий обзор экспериментальных и теоретических работ, посвященных вопросам изучения структуры нуклона и механизма неупругих πN - столкновений.

Известный к началу настоящей работы экспериментальный материал в области импульсов π^- -мезонов выше 1,5 Гэв/с фактически исчерпывался работами^{/13,14/}, выполненными на статистике около 200 случаев. В последних впервые появились качественные указания на асимметрию вылета протонов и π^- -мезонов в с.д.и. πN .

Статистическая теория множественного рождения частиц Ферми, применявшаяся для описания общих характеристик столкновений (сначала NN , а затем и πN), не могла объяснить возникшей асимметрии, а также дала значительное расхождение с опытом при объяснении множественности вторичных частиц в процессах аннигиляции и сечений генерации странных частиц в неупругих столкновениях.

Первоначальный вариант теории Ферми претерпел ряд изменений, которые были связаны со структурными представлениями о нуклоне. Поэтому один из параграфов (§ 3) посвящен вопросам изучения электромагнитной и ядерной структуры нуклона.

Разделение нуклона на области различной структуры в значительной степени поддерживается предложенной Чу для объяснения аномалии в магнитных моментах нуклонов математической формулировкой идеи Юкавы а также результатами опытов Хофштадтера.

Рассмотрение πN -рассеяния в области 1–5 Гэв методом квазиклассического приближения^{/15/} тоже показало тенденцию к возникновению черноты в центре нуклона.

Вышеуказанные факты, а также обнаружение нуклонных и мезонных изобарных состояний привели к ряду модификаций статистической теории.

С.З. Беленький и др.^{/16/} ввели в расчеты по статистической теории наряду с π -мезонами, нуклонами и странными частицами изобарные состояния нуклонов.

В ряде работ (В.С. Барашенков, В.И. Руськин и др.) анализировалось введение в статистическую теорию множественного рождения мезонной изобары.

Для объяснения асимметрии вылета вторичных частиц были привлечены структурные представления о нуклоне, рассмотрен класс периферических взаимодействий^{/17,18/}.

Эти модели несколько улучшали качественное согласие теории с экспериментом, однако не могли описать полную картину взаимодействий.

За последнее время широкое применение получила модель обмена одним π -мезоном. Основное применение эта модель нашла для объяснения взаимодействий с рождением одного – двух π -мезонов. Метод Чу и Лоу позволил определять сечения

$\pi\pi$ -взаимодействия, зависимость сечения $\sigma_{\pi\pi}$ от полной энергии в системе центра инерции двух π -мезонов. При попытках применения теории одномезонного обмена к неупругим взаимодействиям при больших энергиях (несколько Гэв) встретились трудности, связанные с неоднозначностью критериев отбора (ограничение малыми передачами импульса нуклону, критерий Треймана-Янга...) и с большей множественностью рождаемых π -мезонов. Результаты нашего и ряда других экспериментов непосредственно указывают на ограниченность области применения этой теории.

Краткое и далеко не полное описание сложившейся ситуации указывает на то, что в настоящее время в свете экспериментальных данных апробирован ряд теоретических моделей, однако нет сколько-нибудь однозначной модели, объясняющей механизм неупругих πN -взаимодействий, а экспериментальные данные нуждаются в дальнейшем последовательном уточнении.

Во второй главе описывается применявшаяся методика и приводятся основные результаты эксперимента.

Камера из 240 слоев ядерной фотоэмульсии НИКФИ-Р толщиной 400 мк и размером $10 \times 20 \text{ см}^2$ была облучена в пучке π^- -мезонов с импульсом $6,8 \pm 0,6$ Гэв/с.

Поиск событий производился в центральной части камеры методом быстрого просмотра вдоль следа, при этом возвращение столика микроскопа в исходное положение

было автоматизировано. Отбор неупругих взаимодействий производился в две стадии: непосредственно при просмотре по известным качественным критериям, а после проведения всех измерений на следах вторичных частиц с помощью предельных кинематических соотношений.

Все следы с $I \geq 1,4 I$ плато прослеживались до их остановки либо до выхода из эмульсионной камеры. Останавливающиеся частицы идентифицировались по характеру окончаний их следов (распад, σ^- -звезда, остановка протона...). Частицы, выходящие за пределы камеры, идентифицировались по измерениям средней длины разрывов.

Для идентификации заряженных вторичных частиц с относительной ионизацией $\frac{g}{g_0} < 1,4$ применялся метод $\frac{g}{g_0} = f(\rho\beta)$, основанный на измерениях многократного кулоновского рассеяния на ядрах фотоэмульсии и измерениях ионизации. При этом для надежного разделения протонов и π -мезонов особенно точными должны были быть ионизационные измерения, которые осложнились падением чувствительности в поверхностных слоях фотоэмульсии. Измерения проводились, как правило, в ряде соседних слоев, и результаты суммировались.

Величина $\rho\beta$ определялась из измерений среднего угла многократного кулоновского рассеяния $\bar{\alpha} = \frac{kzt^{1/2}}{\rho\beta}$ координатным методом с постоянной длиной ячейки t , равной 500 или 1000 мк. Суммировались результаты измерений, произведенных в соседних слоях фотоэмульсии. При определении $\rho\beta$ вводились поправки на ложное рассеяние и шумы отсчета и зерен. Шумы столиков измерительных микроскопов, использовавшихся в работе, были малы и не учитывались.

В нашей работе мы ограничивались измерениями следов с углом наклона к плоскости эмульсии $\leq 5^\circ$. При этом влияние дисторсии было малым, так как вычисление $\rho\beta$ из вторых и третьих разностей давало близкие результаты. Вследствие ограничения малыми углами погружения для измеряемых релятивистских частиц вводились соответствующие геометрические поправки. Все измерения ионизации и многократного рассеяния дублировались. Результаты дублирования удовлетворительно согласовались.

В работе показано, что все частицы в области $\rho\beta$ с от 1,5 до 2,7 Гэв (область пересечения кривых $\frac{g}{g_0} = f(\rho\beta)$ для протона и π -мезона) можно было считать π -мезонами.

После всех проведенных измерений, идентификации частиц и отбора событий по кинематическим критериям для анализа было отобрано 535 неупругих $\pi^- N$ -взаимодействий.

Распределение событий по числу заряженных вторичных частиц согласуется с данными более поздних работ и с расчетами по статистической теории множественного рождения.

Угловые распределения π -мезонов показывают асимметрию (отношение числа π -мезонов, вылетевших вперед, к числу вылетевших назад $a = \frac{\bar{n}}{n}$) в с.п.и. πN : $a = 1,56 \pm 0,10$ для всех событий.

Средний импульс π -мезонов в с.п.и. $\bar{p} = 0,53 \pm 0,03$ Гэв/с. Наблюдается смягчение спектра с ростом множественности.

В с.п.и. πN почти все протоны летят в заднюю полусферу, т.е. сохраняют направление первоначального движения. При этом в пределах статистических ошибок средний угол вылета не изменяется с ростом числа вторичных заряженных частиц во взаимодействии ($\bar{\theta} = 138_{-11}^{+19}$). Средний импульс протонов ($0,89 \pm 0,04$) Гэв/с, средние поперечные импульсы протонов ($0,37 \pm 0,04$) Гэв/с и π^- -мезонов ($0,31 \pm 0,02$) Гэв/с также не изменяются с изменением множественности событий.

Средний поперечный импульс нуклона, как показало сравнение результатов нашей работы с другими экспериментами, сохраняется в большом интервале энергий падающего π -мезона.

Угловые и импульсные распределения вторичных частиц в лабораторной системе координат использовались при планировании ряда экспериментов.

Сравнение с более поздними работами по $\pi^- N$ -взаимодействиям в области энергий ≈ 7 Гэв показало согласие всех основных экспериментальных результатов. Однако в ряде работ авторы настаивали на существовании двух максимумов в импульсном спектре протонов в с.п.и. πN . Показано, что в настоящее время нет экспериментальных оснований для заключения о "двугорбом" характере импульсного спектра протонов.

В третьей главе обсуждаются некоторые результаты эксперимента.

Показано, что распределение взаимодействий по числу заряженных частиц, соотношение между числом заряженных и нейтральных π -мезонов, импульсные спектры частиц описываются статистической теорией множественного рождения.

Для объяснения асимметрии угловых распределений предполагается существование периферических взаимодействий /17/. Полученная величина асимметрии вылета протонов $a = 0,1 \pm 0,1$ указывает на большую долю периферических взаимодействий ($\geq 60\%$ от всех неупругих столкновений). При этом отсутствие событий с большой передачей импульса нуклону, большой множественностью вторичных частиц указывает на незначительный вклад центральных столкновений.

На основании соотношения неопределенности, с учетом того, что распределение поперечных импульсов протонов является двумерным максвелловским,

$$w(p_{\perp}) = \frac{2}{\langle p_{\perp}^2 \rangle} p_{\perp} \exp\left(-\frac{p_{\perp}^2}{\langle p_{\perp}^2 \rangle}\right),$$

оценен радиус области взаимодействия:

$$\langle r_{\perp}^2 \rangle^{\frac{1}{2}} = (0,48 \pm 0,05) \cdot 10^{-13} \text{ см.}$$

Полученное в эксперименте постоянство поперечного импульса нуклона, возможно, является следствием сохранения области взаимодействия, которая в основном определяется структурой нуклона и слабо зависит от налетающей частицы и ее энергии.

В исследуемой области энергий протон в большинстве случаев является частицей из первого акта взаимодействия, о чем говорит малая величина сечения образования гиперонов, а также проведенная в работе оценка доли нуклонных изобарных состояний. На основе кинематического рассмотрения показано, что верхняя граница доли образования нуклонных изобар в $\pi^- N$ -столкновениях при 7 Гэв/с с массой 1,24 Гэв и выше, распадающихся на π -мезон и нуклон, составляет $\approx 15\%$.

На основании полученной величины асимметрии разлета π -мезонов в с.п.и. πN проведена оценка средней эффективной массы мишени. Отыскивалась система центра инерции $\pi m_{\text{эф}}$, в которой разлет π -мезонов был бы изотропным. Используя соотношение /18/

$$a = \frac{1 + \frac{\beta}{v}}{1 - \frac{\beta}{v}}, \text{ где}$$

v - скорость π -мезонов в с.п.и. $\pi m_{\text{эф}}$, принятая равной 0,86, β - скорость с.п.и. $\pi m_{\text{эф}}$ относительно с.п.и. πN , получили эффективное значение β и затем величину $m_{\text{эф}} = (4,3 \pm 0,3) m_{\pi}$.

Для проверки этого результата проведен анализ угловых и импульсных распределений вторичных π -мезонов в системах центра инерции $\pi m_{\text{эф}}$, πk , πN . Из приведенной ниже таблицы видно, что наиболее симметричной относительно вылета вторичных π -мезонов должна быть система, близкая к с.п.и. πk

Т а б л и ц а

с.п.и.	$a = \frac{\bar{n}}{n}$	$\langle E_{\pi} \rangle$ Гэв для частиц, вылетающих вперед	$\langle E_{\pi} \rangle$ Гэв для частиц, вылетающих назад
$\pi m_{\text{эф}}$	$0,38 \pm 0,04$	$0,38 \pm 0,03$	$0,73 \pm 0,08$
πk	$0,80 \pm 0,09$	$0,51 \pm 0,03$	$0,53 \pm 0,05$
πN	$1,56 \pm 0,10$	$0,57 \pm 0,03$	$0,49 \pm 0,05$

Проведено рассмотрение кинематики процесса πN -столкновения в предположениях:

- а) взаимодействие падающего π -мезона происходит не с нуклоном как с целым, а с мезонным образованием массы $m_{\text{эф}}$.
- б) разлет вторичных π -мезонов в с.п.и. $\pi m_{\text{эф}}$ происходит изотропно со средней энергией $\langle E_{\pi} \rangle \approx 0,5$ Гэв.

Получена зависимость коэффициента асимметрии $a = \frac{\bar{p}}{p}$ в с.п.и. πN от энергии падающего π -мезона для различных значений эффективной массы мишени $m_{\text{эф}}$ (см. рисунок)

Показано, что в указанных предположениях имеет место асимптотическое поведение коэффициента асимметрии. Приведенные на рисунке экспериментальные значения a указывают на возможное сохранение величины $m_{\text{эф}} = 4 m_{\pi}$ с ростом энергии падающего π -мезона.

Полученные значения величины $m_{\text{эф}}$, а также распределение событий по массам мишени ($\bar{M}_t = 0,43 \pm 0,04 \text{ Гэв/с}^2$) указывают на большой вклад неодномезонных взаимодействий.

Основные выводы

1. Угловые распределения протонов имеют резкую асимметрию в с.п.и. πN :
 $a = \frac{\bar{p}}{p} = 0,1 \pm 0,1$ (почти все вылетают в заднюю полусферу).

Угловые распределения, средние импульсы, средние поперечные импульсы протонов, а также средние массы мишени \bar{M}_t , вычисленные по характеристикам протонов, не зависят в пределах ошибок от числа вторичных заряженных частиц во взаимодействии.

Не наблюдается больших передач импульса нуклому. Таким образом, данные по протонам свидетельствуют о преобладании периферических взаимодействий.

2. Показано, что доля образования нуклонных изобарных состояний, распадающихся на π -мезон и нуклон, мала (не более 15%), т.е. большинство регистрируемых протонов являются частицами из первого акта взаимодействия. На этом основании из среднего поперечного импульса протонов $\bar{p}_1 = (0,37 \pm 0,04) \text{ Гэв/с}$ оценены размеры области взаимодействия $\langle r^2 \rangle^{1/2} = (0,48 \pm 0,05) 10^{-13} \text{ см}$.

Величина \bar{p}_1 сохраняется в большом интервале энергий падающего π -мезона, что может свидетельствовать о постоянстве области взаимодействия.

3. Угловые распределения вторичных π -мезонов асимметричны в с.п.и. πN :
 $a = 1,58 \pm 0,10$.

Средние характеристики π -мезонов изменяются с увеличением множественности заряженных частиц во взаимодействии - коэффициент асимметрии уменьшается от $2,2 \pm 0,3$ для 1-2-лучевых событий до $1,0 \pm 0,1$ для 5-8-лучевых, несколько смягчается импульсный спектр π -мезонов. Эти изменения, наряду с "устойчивостью" характеристик протонов, подчеркивают периферический характер взаимодействий.

4. Средняя величина эффективной массы мишени, оцененная различными способами (по протонам отдачи, из величины асимметрии π -мезонов, из распределения по Q для пар π -мезонов), заключена в пределах $(3 \div 4) m_{\pi}$, что указывает на

механизм взаимодействия, отличный для большинства событий от обмена одним π -мезоном.

5. В предположении, что взаимодействие происходит не с нуклоном как с целым, а с мезонным образованием массы $m_{\text{эф}}$ и что разлет вторичных частиц в с.п.и. πN изотропен, получен асимптотический характер зависимости коэффициента асимметрии в с.п.и. πN от энергии падающего π -мезона.

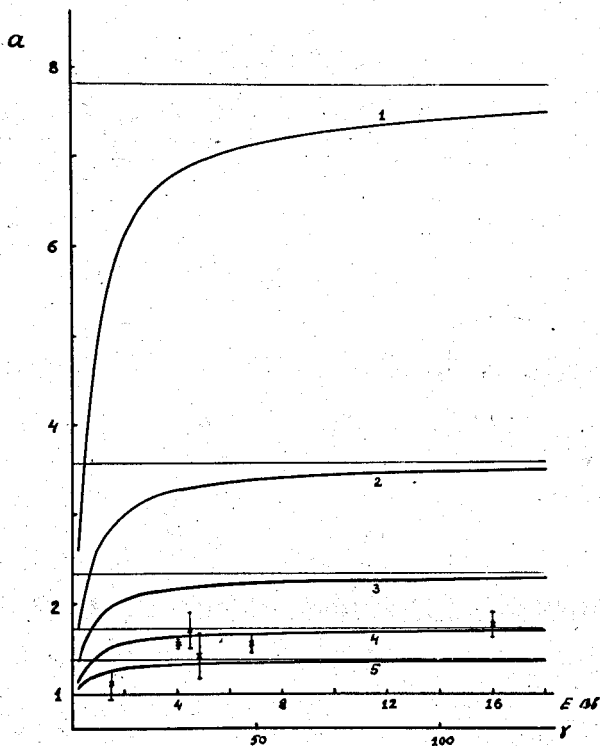
Сравнение этих расчетов с известными экспериментальными данными по коэффициентам асимметрии в области до 16 Гэв указывает на возможное сохранение средней эффективной массы мишени с ростом энергии.

Л и т е р а т у р а

1. В.А. Беляков, Ван Шу-фень, В.В. Глаголев, Н. Далхажав, Л.Ф. Кириллова, Р.М. Лебедев, Н.Н. Мельникова, В.А. Никитин, В.А. Свиридов, М. Сук, К.Д. Толстов. Девятая международная конференция по физике частиц высоких энергий, Киев, 1958.
2. V.Petrzlika, Proc. of the 1960 Ann. Intern. Conf. on High Energy Physics at Rochester, 82.
3. В.А. Беляков, Ван Шу-фень, В.В. Глаголев, Н. Далхажав, Р.М. Лебедев, Н.Н. Мельникова, В.А. Никитин, В. Петржилка, В.А. Свиридов, М. Сук, К.Д. Толстов. ЖЭТФ, **39**, 937 (1960).
4. V.V.Glagolev, V.Petrzlika, K.D.Tolstov. Nucl. Phys., **34**, 126 (1961).
5. В.В. Глаголев, В.А. Свиридов. Препринт ОИЯИ, 553, стр. 31, Дубна, 1960.
6. Ван Шу-фень, В.В. Глаголев, Н. Далхажав, М. Сук. Препринт ОИЯИ, 553, стр. 21, 1960.
7. I.Ciulli, V.V.Glagolev, V.A.Nikitin, V.Petrzlika, V.A.Sviridov and K.D.Tolstov. Nuovo Cimento, **25**, 1196 (1962).
8. J.Bohm, V.Petrzlika, M.Suk. Czech. J. Phys., **B 13**, 703 (1963).
9. C.Grote, J.Klabuhn, U.Krecker, U.Kundt, K.Lanius and H.W.Meier. Nucl. Phys., **34**, 659 (1962).
10. G.Bosoki, E.Fenives, A.Frenkel, E.Gombosi, P.Suranyi. Nuovo Cimento, **24**, 29 (1962).
11. Н.Г. Биргер, Ван Ган-чан, Ван Шу-цзен, Дин Да-пао, Ю.В. Катышев, Е.Н. Кладникая, Д.К. Копылова, В.Б. Любимов, Нгуен Дин Ты, А.В. Никитин, М.И. Подгорский, Ю.А. Смородян, М.И. Соловьев, З. Трка. ЖЭТФ, **41**, 1461 (1961).
12. М.С. Айнутдинов, С.М. Зомбковский, С.Я. Никитин, Я.М. Селектор, В.Н. Шуляченко. ЖЭТФ, **44**, 413 (1963).
13. W.D.Walker. Phys.Rev., **108**, 872 (1957).
14. G.Maenchen, W.B.Fowler, W.M.Powell, R.W.Wright. Phys. Rev., **108**, 850 (1957).
15. Д.И. Блохинцев, В.С. Барашенков, В.Г. Гришин. ЖЭТФ, **33**, 1248 (1957).

16. С.З. Беленький, В.М. Максименко, А.И. Никишев, И.Л. Розенталь. УФН, 62, 2 (1957).
17. V.I.Veksler. Proc. of the 1960 Ann. Intern. Conf. on High Energy Physics at Rochester, 810.
18. V.S.Barashenkov. Nucl. Phys., 15, 486 (1960).

Рукопись поступила в издательский отдел
18 сентября 1965 г.



Зависимость коэффициента асимметрии α от энергии падающего π -мезона в л.с. В качестве параметра взята масса мишени в единицах массы π -мезона.