

C346
Г-859

В.Г. Гришин

1182

УПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ
П-МЕЗОНОВ И НУКЛОНОВ
ПРИ БОЛЬШИХ ЭНЕРГИЯХ

Автореферат диссертации, представленной на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук

Научный руководитель,
старший научный сотрудник
кандидат физико-математических наук

М.И. Подгорецкий

Дубна 1963 год

В.Г. Гришин

1182

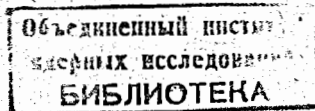
С 346
Г- 859

УПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ
П-МЕЗОНОВ И НУКЛОНОВ
ПРИ БОЛЬШИХ ЭНЕРГИЯХ

1359
Автореферат диссертации, представленной на соискание
ученой степени кандидата физико-математических наук

Научный руководитель,
старший научный сотрудник
кандидат физико-математических наук

М.И. Подгорецкий



Дубна 1963 год

Исследование структуры элементарных частиц и ядер является одной из основных проблем физики высоких энергий. В настоящее время наиболее полная информация имеется об электромагнитной структуре нуклонов и ядер, которая получена, в основном, в опытах по рассеянию на них электронов высокой энергии. Эти эксперименты позволили определить электромагнитный формфактор нуклона и распределение заряда в различных ядрах.

Аналогичные опыты с сильно взаимодействующими частицами дают возможность получить некоторые сведения о ядерной структуре частиц. В настоящее время имеются далеко неполные данные по рассеянию нуклонов, антипротонов и мезонов на нуклонах при высоких энергиях, которые, однако, позволили сделать ряд интересных выводов о размерах области взаимодействия частиц и о характере ядерных сил. Еще меньше экспериментальных данных имеется по рассеянию пионов и нуклонов на ядрах. Анализ опытных данных, ввиду отсутствия теории ядерных сил, в основном, проводится с помощью феноменологических моделей, которые позволяют выявить общие, характерные черты для процессов сильного взаимодействия.

Реферируемая диссертация посвящена некоторым экспериментальным и теоретическим вопросам упругого рассеяния π -мезонов и нуклонов при больших энергиях. Диссертация состоит из четырех глав и приложения.

В первой и во второй главах рассматриваются вопросы, связанные с рассеянием элементарных частиц на ядрах.

В первой главе кратко изложены основные положения оптической модели ядра, которая успешно применяется при анализе рассеяния элементарных частиц на ядрах^{/1/}. Естественным развитием этой модели при высоких энергиях является модель независимых частиц^{/2/}. Она позволяет связать показатель преломления ядерного вещества n с характеристиками двухчастичного взаимодействия:

$$n = 1 + \frac{2\pi\rho(r)}{Ak_0^2} [Zf_{Np}(0) + (A-Z)f_{Nn}(0)]. \quad (1)$$

Здесь A - и Z - атомный номер и заряд ядра, $\rho(r)$ - плотность нуклонов в ядре, k - волновой вектор падающей частицы в пустоте, $f_{Np}(0)$ и $f_{Nn}(0)$ - амплитуды рассеяния на нулевой угол падающих частиц на свободном протоне и нейтроне^{/1,2/}. Эта формула была выведена для случая, когда взаимодействие

элементарных частиц не зависит от их спинов. Если же имеется спиновое взаимодействие (например, в NN -соударениях), то формула (1) остается справедливой, если ядро имеет спин, равный нулю. Однако в этом случае вместо амплитуды рассеяния $f_{NN}(0)$ следует брать только ее бесспиновую часть. Таким образом, эксперименты по рассеянию частиц на ядрах со спином, равным нулю, могут дать информацию о бесспиновой части амплитуды рассеяния.

При выводе формулы (1) было также сделано предположение об изотропности рассеяния падающих частиц на свободных нуклонах в области углов $\theta \lesssim \frac{1}{k_0 R}$ (R - радиус ядра), на которые, в основном, и происходит рассеяние частиц на ядрах^{х)}. Однако при больших энергиях и в этом интервале углов наблюдается отклонение от изотропности в рассеянии элементарных частиц. Нам был учтен этот эффект в рамках оптической модели ядра^{13/}. Полученное выражение для амплитуды рассеяния частиц на ядрах

$$f(\theta) = \frac{f_{NN}(\theta)}{f_{NN}(0)} f_{об.}(\theta) \quad (2)$$

отличается от обычно употребляемого выражения $f_{об.}(\theta)$ множителем $\frac{f_{NN}(\theta)}{f_{NN}(0)}$. Результаты анализа экспериментальных данных меняются при учете анизотропии в рассеянии элементарных частиц (формула (2)).

В этой же главе приведены расчеты интерференции кулоновского и ядерного взаимодействия при рассеянии пионов и нуклонов на ядрах в интервале энергий от 3 до 8 Бэв^{14/}. Расчеты проведены в различных предположениях о величине реальной части амплитуды πN и NN -взаимодействия. Для иллюстрации приведем результаты расчетов для рассеяния протонов на легких и тяжелых ядрах эмульсии при $E_p = 8,7$ Бэв (рис. 1). Как видно из рисунка, интерференция играет существенную роль в интервале углов $0-1^\circ$. Исследование ее характера позволяет судить о величине и знаке реальной части амплитуды NN -рассеяния.

Во второй главе описано экспериментальное исследование упругого рассеяния π^- -мезонов с импульсом 8,8 Бэв/с на углероде^{15/}.

При изучении упругого рассеяния быстрых частиц ($E \geq 1$ Бэв) возникает ряд методических трудностей. Основная - заключается в том, что регистрировать рассеяние на столь малые углы ($0-1^\circ$) очень трудно. При исследовании рассеяния π^- -мезонов на ядрах углерода в пропановой пузырьковой камере нами был использован метод, аналогичный способу измерения многократного рассеяния. Этот метод позволил регистрировать случаи рассеяния на угол $0,3^\circ$ и выше. Было проведено обсуждение других процессов, которые могут имитировать случаи упру-

х) В дальнейшем для краткости мы будем говорить просто об изотропном или анизотропном характере рассеяния элементарных частиц, подразумевая под этим характером рассеяния в области углов $\theta \lesssim \frac{1}{k_0 R}$.

гого рассеяния и оценен их вклад в отобранный экспериментальный материал. На рис. 2 показаны результаты опыта. Теоретические кривые 1, 2, 3 рассчитаны по оптической модели ядра в предположении, что $Re f_{\pi N}(0)$ равна соответственно

$$5,0 \cdot 10^{-13} \text{ см}, -6,9 \cdot 10^{-13} \text{ см} \text{ и } 0.$$

Расчет кривых 1-3 проводился с учетом анизотропии в πN -рассеянии. Пунктирной линией на рис. 2 представлены результаты вычислений с $Re f_{\pi N}(0)$ без учета этого эффекта. Сравнение экспериментальных данных с теоретическими кривыми по критерию χ^2 показало, что они согласуются с рассчитанными кривыми для значений $Re f_{\pi N}(0)$.

$$5,0 \times 10^{-13} \text{ см}, 0 \text{ и } -6,9 \cdot 10^{-13} \text{ см}$$

соответственно с вероятностью 0,05; 0,02 и 0,05. Отсюда можно ограничить возможные значения реальной части амплитуды πN -рассеяния пределами

$$5,0 \cdot 10^{-13} \text{ см} \geq Re f_{\pi N}(0) \geq -6,9 \cdot 10^{-13} \text{ см}.$$

Соответствующие значения эффективного потенциала взаимодействия π -мезон-ядро лежат в интервале:

$$-20 \text{ Мэв} \leq V \text{ эф.} \leq 30 \text{ Мэв}.$$

В этой же главе приводятся результаты исследования упругого рассеяния протонов с энергией 8,7 Бэв на ядрах фотоэмульсии с^{16/}. Они позволяют сделать качественное заключение о наличии реальной части в бесспиновом члене амплитуды NN -рассеяния^{17/}. Этот вывод представляется интересным в связи с результатами опытов по pp -рассеянию, которые приводят к заключению о наличии реальной части в амплитуде pp -рассеяния или о зависимости взаимодействия от спинов сталкивающихся частиц^{17/}. Однако имеющаяся точность опытов по рассеянию протонов на ядрах фотоэмульсии не позволяет сделать выбор между двумя этими возможностями.

В третьей главе изложены методы, позволяющие извлечь некоторые характеристики взаимодействия элементарных частиц из опытов по рассеянию и приведены результаты анализа соответствующих экспериментальных данных.

Проведенный нами фазовый анализ и анализ с помощью оптической модели экспериментальных данных о pp -рассеянии в интервале энергий 2-6 Бэв, имевшихся к концу 1957 года, показал, что для $E_p \lesssim 5$ Бэв амплитуду pp -рассеяния нельзя считать мнимой величиной. Для объяснения этих данных необходимо ввести или $Re f_{NN}(0)$, или зависимость взаимодействия от спинов сталкивающихся частиц^{18/}.

В этой области энергий размеры области πp - и pp -взаимодействия примерно одинаковы и равны^{18/}

Эти выводы были подтверждены более поздними экспериментами /7/.

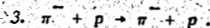
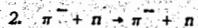
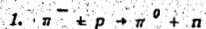
Нами также были выведены формулы, которые позволяют без каких-либо модельных предположений извлечь из экспериментальных данных о полном и дифференциальном сечении рассеяния (σ_s и $\sigma(\theta_1)$) размеры области взаимодействия /10/. В частности, наиболее полезной для применения является неравенство

$$\sum_{l=0}^L (2l+1) [P_l(\cos \theta_1)]^2 \geq \frac{4\pi\sigma(\theta_1)}{\sigma_s} \quad (3)$$

Это выражение является универсальным и пригодно для любого типа сталкивающихся частиц.

Здесь же приведены результаты анализа упругого pp -рассеяния в интервале энергий 2-24 Бэв /11/. Этот анализ показал, что размеры области pp -взаимодействия возрастают с увеличением энергии сталкивающихся частиц в области переданных импульсов 0-700 Мэв/с. Вычислена функция $L(t)$, которая и определяет степень этого возрастания (t - квадрат переданного импульса).

При изучении процессов рассеяния элементарных частиц большой интерес представляют случаи взаимодействия с большой передачей импульса. Примерами таких событий являются реакции рассеяния частиц высокой энергии на углы близкие к 180° . Изучение таких реакций может служить для проверки очень интересных теоретических соображений /12/. Нами изучались следующие реакции рассеяния назад π^- -мезонов с $E = 7-8$ Бэв на нуклонах /13/.



Были получены следующие оценки величины сечений:

$$\sigma_1 (\geq 90^\circ) \leq 0,1$$

$$\sigma_2 (\geq 90^\circ) \leq 0,06$$

$$\sigma_3 (\geq 90^\circ) \leq 0,02$$

Полученные оценки величины сечений для реакций 1 и 2 значительно меньше тех, которые ожидаются если полюсная диаграмма (рис. 3) играет существенную роль в этих процессах. Этот факт, по-видимому, указывает на компенсацию полюсной диаграммы другими возможными процессами.

В четвертой главе описывается постановка опыта по изучению перезарядки π^- -мезонов с энергией 7-8 Бэв на протонах и приводятся его результаты. Для

этого обрабатывались стереоснимки, полученные при облучении 24-литровой пропапановой камеры в магнитном поле π^- -мезонами. Дважды было просмотрено на проекторах около 30000 стереоснимков и найдено 376 ноль-лучевых звезд. Эффективность нахождения этих звезд в результате двукратного просмотра составила 98%. Найденные случаи сопровождалась 198 γ -квантами, которые образовали электронно-позитронные пары в эффективной области камеры. Для каждого γ -кванта, который образовал пару находился статистический вес (W_i). Средняя эффективность регистрации γ -квантов в выбранной области камеры оказалось равна $(10 \pm 0,8)\%$. Полученные угловые и энергетические спектры γ -квантов приведены на рис. 4 и 5. Из этих экспериментальных данных была определена верхняя граница сечения перезарядки. Оценка была сделана тремя различными способами, которые дали одинаковые результаты

$$\sigma_{zz} \leq 0,2 \text{ мбн.}$$

Нами также были проведены оценки нижней границы сечения перезарядки. Оказалось, что величину сечения перезарядки можно ограничить пределами

$$0,01 \text{ мбн.} \leq \sigma_{zz} \leq 0,2$$

В заключение на основании результатов изучения упругого рассеяния π^- -мезонов и нуклонов при больших энергиях можно сделать следующие выводы:

1. При рассмотрении рассеяния быстрых частиц на ядрах в рамках оптической модели ядра следует учитывать анизотропию в рассеянии элементарных частиц. Нами выведены соответствующие формулы с учетом этого эффекта.

2. Экспериментальное изучение упругого рассеяния π^- -мезонов на ядрах углерода показало, что для изучения рассеяния быстрых частиц на малые углы ($\theta \leq 1^\circ$) можно с успехом применять метод, аналогичный способу измерения многократного рассеяния. Применение этой методики позволило определить дифференциальные сечения рассеяния π^- -мезонов и протонов на ядрах. Из экспериментальных данных оказалось возможным получить ограничения на возможные значения реальной части амплитуды πN -рассеяния. Было получено качественно указание на наличие $Re f_{NN}(0)$ при $E_p = 8,7$ Бэв.

3. В амплитуде NN -рассеяния для $E_p = 2-5$ Бэв имеется или вещественная часть в бесспиновом члене или имеются члены, зависящие от спинов сталкивающихся частиц.

4. Получены формулы, позволяющие найти из экспериментальных данных эффективные размеры области взаимодействия частиц без каких-либо модельных представлений.

5. Оценки сечения для πN -рассеяния с большой передачей импульса при $E_p = 7-8$ Бэв показывают, что в этом процессе нет заметного вклада полюсной диаграммы (рис.3).

6. Приведенная экспериментальная оценка верхней границы сечения перезарядки π^- -мезонов с $E = 7-8$ Бэв на протонах и оценки нижней границы этого сечения показывают, что

$$0,01 \text{ мб} \leq \sigma_{\text{ex}} \leq 0,2 \text{ мб}.$$

Основные результаты диссертации опубликованы в работах /3-5/, /8-10/, /13-14/.

Л и т е р а т у р а

1. И.С. Шапиро. УФН т. XXV, 61, 1961 г.
2. R.I. Glauber "Lectures in Theoretical Physics" New York, 315 p., 1959.
3. В.Г. Гришин, М.И. Подгоренский. Препринт ОИЯИ, Р-289, 1959 г. ЖЭТФ, 39, 1953 стр. 1959 г.
4. Б.П. Банник, В.Г. Гришин, Р.Н. Федорова. Препринт ОИЯИ, Д-522, 1960 г. Б.П. Банник, В.Г. Гришин. ЖЭТФ; 39, 94 стр. 1960 г.
5. Б.П. Банник, А.М. Гальпер, В.Г. Гришин, Л.П. Котенко, Л.А. Кузин, Е.П. Кузнецов, Г.И. Мерзон, М.И. Подгоренский, Л.В. Сильвестров. Препринт ОИЯИ, Д-743, 1961 г.; ЖЭТФ, 41, 1394, 1961 г.
6. Б.П. Банник, В.Г. Гришин, Л.В. Сильвестров. ЖЭТФ, 40, 1653, стр. 1961 г.
7. Э.Н. Цыганов. Диссертация ОИЯИ, 1962 г.
8. В.Г. Гришин, И.С. Саятов, И.В. Чувило. ЖЭТФ, 34, 1221, 1958 г. В.Г. Гришин. ЖЭТФ, 35, 501, 1958 г.
9. Д.И. Блохинцев, В.С. Барашенков, В.Г. Гришин. Nuovo Cimento, 9, 249, 1958. ЖЭТФ, 35, 311 стр. 1958 г.
10. В.Г. Гришин, В.И. Огневский. Nucl. Phys. 18, 516, 1960 г. ЖЭТФ, 38, стр. 1008, 1960 г.
11. В.Г. Гришин, Э.Н. Цыганов, А.А. Юлдашев. Препринт ОИЯИ, 1076, 1962 г.
12. Ю.Д. Баюков, Г.А. Лексин, Д.А. Сучков, Я.Я. Шаламов, В.А. Шибанов. ЖЭТФ, 41, 52, 1961 г. Д.И. Блохинцев. ЖЭТФ, 42, 52, 1961 г. G. Chew, S. Frautschi Phys. Rev. Let. 7, 394, 1961.
13. Р.А. Аряпов, В.Г. Гришин, Л.В. Сильвестров, В.Н. Стрельцов. ЖЭТФ, 41, 1331 стр. 1961 г.
14. Р.А. Аряпов, В.Г. Гришин, Л.В. Сильвестров, В.Н. Стрельцов. ЖЭТФ, 43, 394 стр. 1962 г.

Рукопись поступила в издательский отдел
30 января 1963 года.

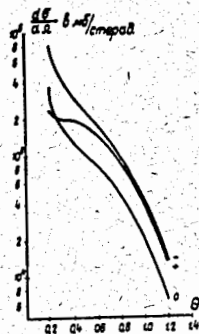


Рис. 1а

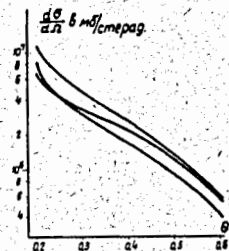


Рис. 1б

Дифференциальные сечения рассеяния протонов с энергией 7,65 Бэв на легких (1а) и тяжелых (1б) ядрах углерода.
Кривые (1), (2) и 0 соответствуют значениям $A_{\text{eff}}(0) = 14,4 \cdot 10^{-19}$ см²; $14,6 \cdot 10^{-19}$ см² и 0.

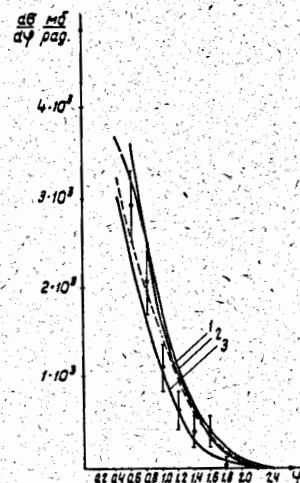


Рис. 2 Дифференциальное сечение упругого рассеяния π^- -мезонов с импульсом 8,8 Бэв/с на ядрах углерода.

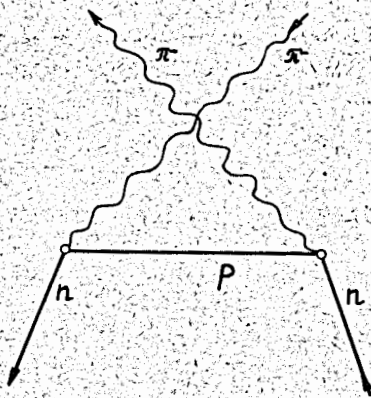


Рис 3

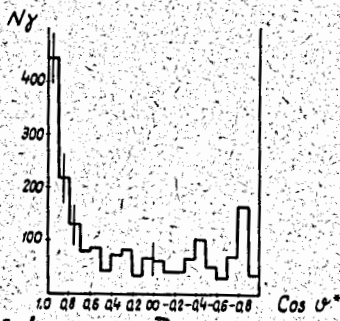


Рис 4 Угловое распределение γ -квантов в системе центра инерции.

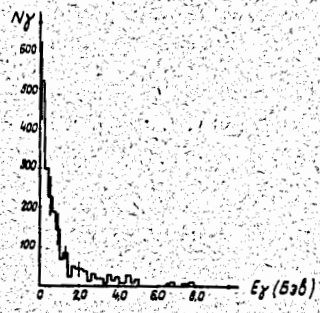


Рис 5 Энергетическое распределение γ -квантов в лабораторной системе.