

7
M-21 571



В.М. Мальцев, Ю.Д. Прокошкин

Д-571

О ВТОРИЧНЫХ ПРОЦЕССАХ
ПРИ ОБРАЗОВАНИИ П-МЕЗОНОВ
НА ЯДРАХ

*жэТФ, 1960, т.39, в.6,
стр. 1625-1629.*

Д-571

В.М. Мальцев, Ю.Д. Прокошкин

О ВТОРИЧНЫХ ПРОЦЕССАХ
ПРИ ОБРАЗОВАНИИ П-МЕЗОНОВ
НА ЯДРАХ

*Вс
2/977*



А н н о т а ц и я

Методом Монте-Карло проведен расчет процесса образования π -мезонов в p-C соударениях при энергии 660 Мэв. Показано, что рассеяние π -мезонов значительно изменяет угловые распределения π -мезонов и отношение выходов положительных и отрицательных π -мезонов. Полученная угловая зависимость этого отношения согласуется с экспериментальными данными.

1. В в е д е н и е

Исследование процессов образования π -мезонов при столкновении нуклонов высокой энергии с ядрами позволяет, в принципе, получить информацию как о нуклон-нуклонном, так и мезон-нуклонном взаимодействии. В рамках существующей теории ядра эта задача, однако, не может быть точно решена, и поэтому приходится пока ограничиваться попытками найти хотя бы приближенное решение. Интерес к такого рода решениям обусловлен тем, что они позволяют получить некоторые сведения о характеристиках нуклон-нуклонных процессов не проводя сложных экспериментов, а исходя из результатов сравнительно более простых исследований взаимодействий нуклонов с ядрами /см., например^{/1-3}. Во всех подобных работах использовалось то обстоятельство, что взаимодействие быстрых частиц с ядерным веществом осуществляется, в основном, путем двухчастичных соударений. Последнее позволяет применять простую оптическую модель ядра, параметры которой, непосредственно связаны с сечениями нуклон-нуклонных и мезон-нуклонных реакций. При этом расчет сводится к определению поправок, учитывающих рассеяние нуклонов на нуклонах ядра и изменение выхода

π -мезонов из-за вторичных процессов: поглощения и рассеяния внутри ядра.

В случае легких ядер, где вторичные эффекты невелики, эти поправки оказываются небольшими для интенсивных реакций /таких, как $p + p \rightarrow \pi^+$ и $p + n \rightarrow \pi^0$ /, вследствие чего удается достаточно точно описывать экспериментальные данные при помощи модели, учитывающей выбывание нуклонов и π -мезонов из процесса мезообразования^{/1/}. Однако при анализе малоинтенсивных реакций /например, $p + n \rightarrow \pi^-$ / такой упрощенной моделью, не принимающей во внимание рассеяние π -мезонов, уже нельзя пользоваться, поскольку даже в легких ядрах относительный выход отрицательных π -мезонов должен существенно увеличиваться за счет рассеяния /с перезарядкой/ нейтральных π -мезонов^{х/}, убыль которых, в свою очередь, пополняется благодаря перезарядке π^+ -мезонов. По этой причине отношение выходов π^+ - и π^- -мезонов Y^+ / Y^- при соударениях протонов со сложным ядром должно быть

^{х/} Если упустить из виду этот процесс, то можно прийти к неправильному выводу о большой величине сечения реакции $p + n \rightarrow \pi^-$ и переоценить вероятность образования π^- -мезонов в состоянии с полным изотопическим спином $T=0$, как это было сделано в работе Ажгирея и др. /4/.

меньшим, чем в случае свободных нуклонов, во-первых, за счет увеличения выхода π^- -мезонов и, во-вторых, за счет сравнительно небольшого уменьшения выхода π^+ -мезонов. Из сказанного выше следует также, что величина Y^+ / Y^- должна быть убывающей функцией веса бомбардируемого ядра. Указанный механизм изменения отношения Y^+ / Y^- по-видимому является основным и объясняет различие в величинах Y^+ / Y^- для дейтерия и углерода^{x/}. Настоящая работа была выполнена с целью количественной проверки этого предположения путем сравнения результатов расчета с существующими экспериментальными данными.

2. Схема расчета

Процесс образования π -мезонов моделировался нами при помощи метода Монте-Карло /см. например,^{/9/}. В качестве мишени было выбрано легкое ядро C_6^{12} , бомбардируемое протонами с энергией 660 Мэв. Оно оказалось удобным потому, что, с одной стороны, вероятность вторичных взаимодействий в таком ядре уже достаточно велика, а с другой стороны, роль многократных соударений еще не существенна, что значительно облегчает расчет.

Поскольку целью расчета являлось выяснение роли вторичных процессов, и в частности-рассеяния, а не получение полной картины образования π -мезонов на ядре, была использована без ущерба для точности упрощенная модель ядра, в которой не учитывалось внутриядерное движение /роль его при указанной выше энергии невелика^{/2/}, а плотность ядерного вещества полагалась постоянной по объему ядра. Не учитывалось также рассеяние бомбардирующих протонов. Задача решалась в две стадии: "разыгрывался" процесс образования π -мезонов без учета рассеяния и с учетом его. Результаты затем сравнивались. Таким образом, расчет был произведен относительным методом: изучалось, например, не само угловое распределение π -мезонов, а изменение его из-за рассеяния в рамках одной и той же модели, благодаря чему указанные выше упрощения не могли заметно исказить окончательные результаты.

^{x/} Как было указано Б.Понтекорво /частное сообщение/, относительный выход отрицательных π -мезонов может увеличиваться также за счет образования их нейтронами отдачи, возникающими в результате рассеяния первичных протонов внутри ядра. Проведенная нами оценка показала, что отношение Y^+ / Y^- уменьшается при этом примерно на 10%. В области более высоких энергий указанный выше процесс должен быть осуществлен.

Расчет производился по следующей схеме /в ячейках блок-схемы указаны наименование процесса и определяемые величины : q - заряд π -мезона, \vec{p} - его импульс, \vec{z} - точка, в которой произошло событие/:

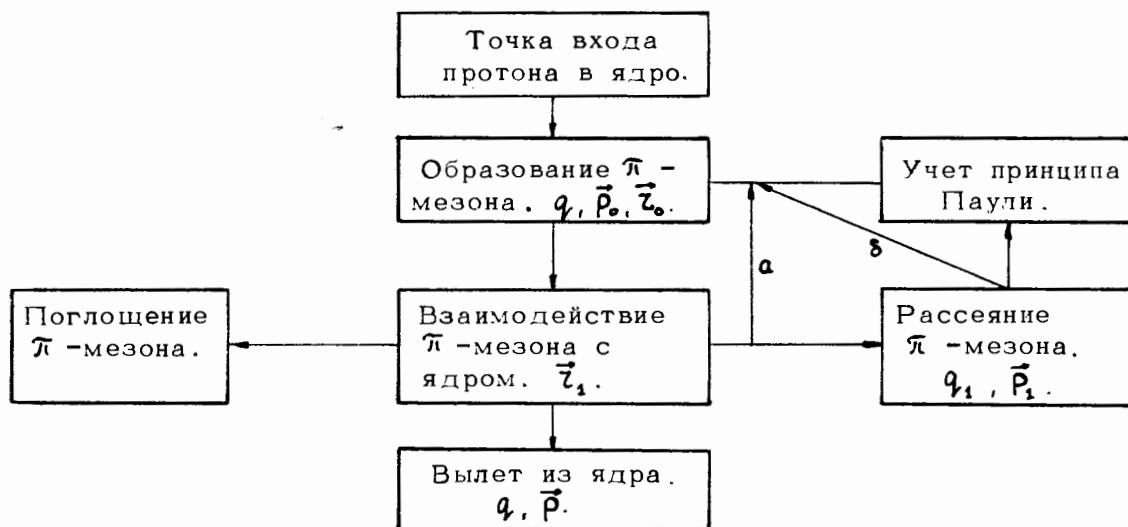


Рис. 1. Схема расчета.

Стрелка "а" на схеме отвечает первой стадии расчета, когда не учитывалось рассеяние π -мезонов. Одновременно оценивалась и роль принципа Паули /вычисление в схеме по стрелке "б" и по основной схеме/. В последнем случае исключались такие события, когда нуклон отдачи при рассеянии имеет энергию, лежащую ниже граничной энергии Ферми. Вычисления были выполнены на электронной машине "Урал". Для определения вероятностей различных процессов были использованы существующие экспериментальные данные о величинах сечений /см. Литературу в работах ^{12,9}/. Всего было "разыграно" 500 случаев рождения π -мезона внутри ядра. Из них 314 мезонов вышло из ядра, не испытывая вторичных взаимодействий, и всего 15 мезонов провзаимодействовали с нуклонами ядра дважды.

3. Результаты расчета и обсуждение

а/ Изменение полных сечений.

При соударении протонов с энергией 660 Мэв со свободными протоном и нейтроном π -мезоны разных знаков заряда образуются в следующих пропорциях: $Y^+/Y^0 = 1,70 \pm 0,12$ по данным^{/10/} и $Y^+/Y^- = 9,0 \pm 0,8$ по данным^{/5,6,8,10/}. Проведенное моделирование показало, что в результате рассеяния с перезарядкой величина первого отношения, как и следовало ожидать, изменяется незначительно: для углерода $Y^+/Y^0 = 1,6$. В то же время отношение выходов положительных и отрицательных π -мезонов уменьшается в $1,5 \pm 0,1$ раза:

$$Y^+/Y^- = 6,1 \pm 0,6.$$

Эта величина хорошо согласуется с экспериментально найденным значением $Y^+/Y^- = 6,2 \pm 0,5$ ^{/5-8/}.

Влияние принципа Паули при столь больших, как в нашем случае, энергиях π -мезонов оказалось незначительным. Лишь 15% всех актов рассеяния не смогли осуществиться из-за действия этого "запрета".

б/ Изменение угловых распределений.

Рассеяние родившихся π -мезонов на нуклонах ядра приводит к уменьшению асимметрии углового распределения π -мезонов относительно 90° в лабораторной системе координат. Соответственно этому должна увеличиваться асимметрия углового распределения π -мезонов в системе центра масс /с.ц.м./ сталкивающихся нуклонов, $f(\theta)$, которое и без учета рассеяния π -мезонов должно быть существенно асимметричным благодаря рассеянию протонов и поглощению π -мезонов^{/11/}. Если характеризовать асимметрию углового распределения величиной $\eta = [f(180^\circ) - f(0^\circ)] / f(90^\circ)$, то, как видно из рис. 2, где приведены результаты расчета, увеличение асимметрии из-за рассеяния π -мезонов достигает примерно 30% для случая образования нейтральных π -мезонов и составляет заметную долю экспериментально наблюдаемой для углерода величины $\eta = 80-100\%$ ^{/11/}. Отсюда следует, что даже в случае интенсивных реакций, протекающих в легких ядрах,

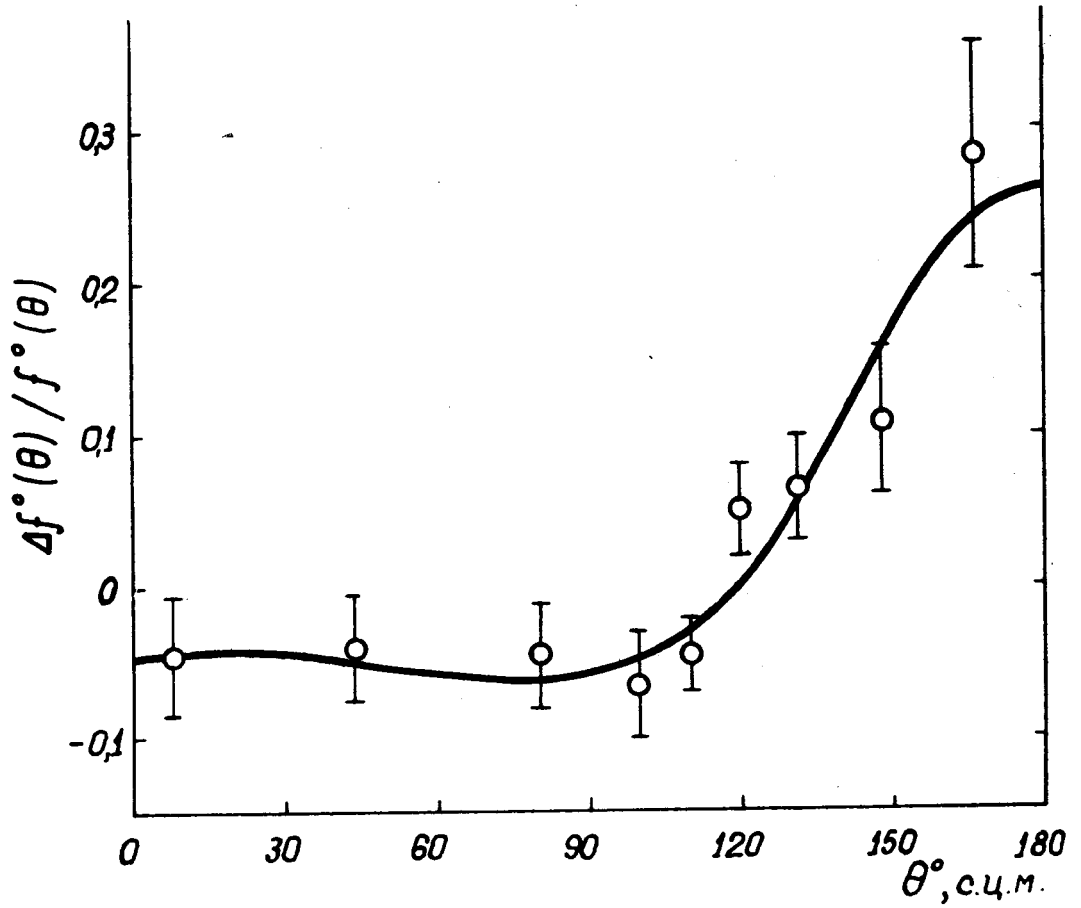


Рис. 2. Относительное изменение углового распределения π^0 -мезонов $f^\circ(\theta)$ в результате рассеяния. ϕ - получено методом Монте-Карло. Аппроксимирующая кривая, проведенная способом наименьших квадратов, представляет собой полином третьей степени от $\cos \theta$.

нельзя игнорировать процессы рассеяния при расчете угловых распределений π^- -мезонов^{x/}. Если же рассматривать угловые распределения малоинтенсивных реакций / $p + n \rightarrow \pi^-$ в нашем случае/, то здесь процессы рассеяния играют уже определяющую роль. В частности, они приводят к резкому падению величины отношения $Y^+/Y^-(\theta)$ в области больших углов /см.рис.3/. Как видно из этого рисунка, вычисленные и измеренные под разными углами величины отношений $Y^+/Y^-(\theta)$ хорошо согласуются между собой. Было бы желательно экспериментально проследить предсказываемое расчетом быстрое уменьшение величины $Y^+/Y^-(\theta)$ в области углов 120-180°. Представляет интерес также экспериментальное сравнение асимметрий угловых распределений π^- - и π^+ - /или π^0 - /мезонов. Моделирование показало, что вследствие рассеяния асимметрия углового распределения π^- -мезонов, образованных на углероде, оказывается на 20-30% большей, чем в случае π^+ -мезонов.

З а к л ю ч е н и е

Проведенное выше сравнение результатов расчета методом Монте-Карло с экспериментальными данными показало, что для объяснения наблюдаемой картины образования π^- -мезонов на легких ядрах может быть с успехом использована простая модель ядра, учитывающая рассеяние образующихся в ядре π^- -мезонов. Переходя к тяжелым ядрам, следует заметить, что здесь процессы рассеяния должны играть еще большую роль. Вследствие этого с увеличением веса ядра должно наблюдаться уменьшение величины отношения Y^+/Y^- и появление еще более резкой зависимости величины $Y^+/Y^-(\theta)$ от угла, а также быстрый рост асимметрии углового распределения π^- -мезонов η . Последний вывод находится в качественной согласии с экспериментальными данными^{/11/}. Следует отметить, что в работе Метрополиса и др.^{/9/} был получен противоположный результат: вычисленная ими величина η для

^{x/} Сравнение рис. 2 настоящей работы с рис. 5 работы^{/1/} показывает, что изменения углового распределения π^- -мезонов, вызванные рассеянием и поглощением, носят примерно одинаковый характер. Это позволяет учесть влияние рассеяния мезонов на их угловое распределение в модели, использованной в работе^{/1/}, путем небольшого увеличения коэффициента поглощения мезонов в ядре.

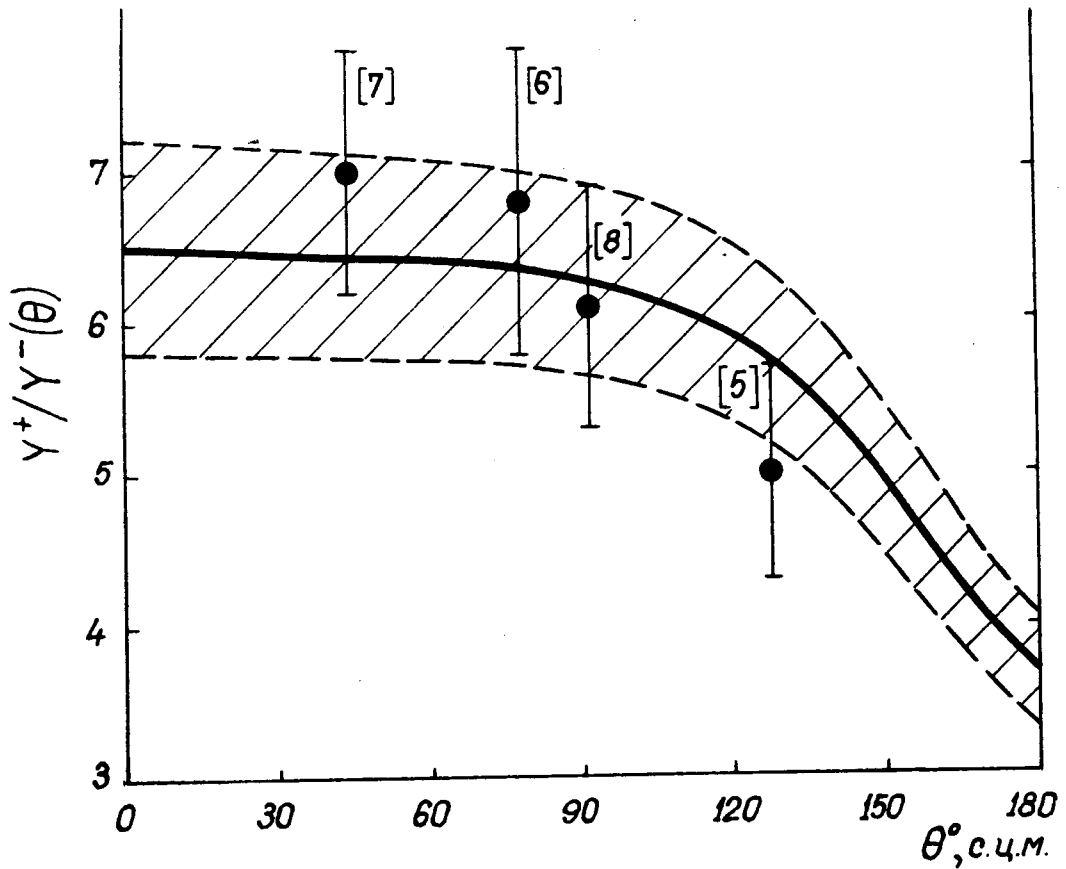


Рис. 3. Отношение выходов π^+ - и π^- -мезонов $Y^+/Y^-(\theta)$ под разными углами для углерода. Сплошная кривая - результат расчета методом Монте-Карло. Пунктиром указан коридор ошибок. \blacksquare - экспериментальные данные.

алюминия /при энергии 460 Мэв/ оказалась большей, чем для свинца. Возможно, что это является следствием малой статистической точности расчета.

В заключение один из авторов /Ю.Д.П./ пользуется случаем поблагодарить Б.Понтекорво за полезные обсуждения.

Рукопись поступила в издательский отдел
20 июля 1960 года.

Л и т е р а т у р а

1. Yu. D. Prokoshkin. Proc. CERN Symposium, 2, 385, 1956.
2. A. M. Segar, R. Rubinstein, Nucl. Phys., 14, 222, 1959.
3. Ю.Д.Прокошкин. ЖЭТФ, 38, 455, 1960 г.
4. Л.С.Ажгирей, И.К.Взоров, В.П.Зрелов, М.Г.Мещеряков, В.И.Петрухин. ЖЭТФ, 34, 1357, 1958.
5. В.М.Сидоров. ЖЭТФ, 28, 727, 1955.
6. А.Г.Мешковский, Ю.С.Плигин, Я.Я.Шаламов, В.А.Шебанов. ЖЭТФ, 32, 1328, 1957.
7. М.Г.Мещеряков, И.К.Взоров, В.П.Зрелов, Б.С.Неганов, А.Ф.Шабудин. ЖЭТФ, 31, 55, 1956.
8. В.Г.Вовченко, Г.Гельфер, А.С.Кузнецов, М.Г.Мещеряков, В.Святковский. /частное сообщение/.
9. N. Metropolis, R. Bivins, M. Storm, J. M. Miller, G. Friedlander, A. Turkevich. Phys. Rev., 110, 204, 1958.
10. А.Ф.Дунайцев, Ю.Д.Прокошкин. ЖЭТФ, 38, 747, 1960.
11. А.А.Тяпкин, М.С.Козодаев, Ю.Д.Прокошкин. ДАН СССР, 100, 689, 1955.