

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

В.М. Мальцев

C346
M-215

1270

МЕХАНИЗМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
БЫСТРЫХ ЧАСТИЦ С ЯДРАМИ

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

Научный руководитель доктор
физико-математических наук

В.С. Барашенков

Дубна 1983 год

В.М. Мальцев

С 346
М-215

1270

1460 68.
МЕХАНИЗМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ
БЫСТРЫХ ЧАСТИЦ С ЯДРАМИ

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

Научный руководитель доктор
физико-математических наук

В.С. Барашенков

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

1. Целью настоящей работы является теоретическое изучение механизма взаимодействия нуклонов и π^- -мезонов с ядрами в области энергий от нескольких сотен Мэв до нескольких десятков Бэв. Т.к. этот вопрос представляет непосредственный интерес, а также очень важен для интерпретации многих явлений при высоких энергиях, то его исследованию посвящено большое число теоретических и экспериментальных работ /библиография приведена, например, в^{17/}.

Обсуждалось два возможных механизма нуклон-ядерных взаимодействий: так называемый механизм трубки и механизм внутриядерного каскада. В первом случае первичная частица взаимодействует сразу со всеми нуклонами трубки, вырезаемой ею в ядерном веществе. В результате образуется единая возбужденная система, которая далее распадается. Во втором случае происходит взаимодействие первичной частицы с одним из нуклонов ядра и последующие лавнообразные взаимодействия образующихся при столкновениях частиц.

Особый интерес представляет изучение периферических взаимодействий частиц с ядрами и выбивание осколков.

Работа содержит три главы. В первой главе рассматривается взаимодействие частицы с ядрами при средних энергиях $T \leq 1$ Бэв/. Вторая глава посвящена взаимодействию частицы при высоких энергиях $T > 1$ Бэв/, когда становятся существенными процессы множественного образования частиц. Наконец, в третьей главе рассмотрены прямые ядерные реакции в области высоких энергий. В приложении приведены оценки генерации γ -квантов, нейтрино и μ^- -мезонов в неупругих взаимодействиях частиц при очень больших энергиях.

2. При бомбардировке углерода протонами с энергией 660 Мэв наблюдалось уменьшение относительного выхода π^+ -мезонов к π^- -мезонам по сравнению с соответствующей величиной для водорода. Отсюда можно заключить, что для образованных внутри ядра пионов становятся существенными вторичные эффекты взаимодействия их с ядреными нуклонами. Для того, чтобы изучить влияние этих эффектов, в частности, упругого рассеяния, перезарядки, поглощения пионов и роли принципа Паули, был рассмотрен внутриядерный каскад в углероде, генерируемый протонами с энергией 660 Мэв^{1/}.

Для расчета была использована упрощенная модель ядра, в которой плотность ядерного вещества полагалась постоянной и не учитывалось внутриядерное движение. Закон сохранения энергии был выполнен в среднем.

Задача решалась в два этапа: рассматривался процесс образования пионов без учета рассеяния и с учетом его. Результаты затем сравнивались. Таким образом, расчет был произведен относительным методом: изучалось, например, не непосредственно угловое распределение пионов, а изменение его из-за рассеяния, благодаря чему указанные выше упрощения не могли заметно исказить окончательные результаты.

Результаты учета вторичных процессов взаимодействия пионов в ядре, полученные при расчете внутриядерного каскада указанным методом, позволяют не только объяснить наблюдавшееся уменьшение относительного выхода π^+ -мезонов к π^- -мезонам с ростом атомного веса ядра-мишени, но и предсказать резкое падение этого отношения в области больших углов в с.п.и. Предсказываемое расчетом увеличение асимметрии углового распределения пионов в с.п.и., за счет вторичных процессов взаимодействия, качественно согласуется с экспериментальными данными^{/2/}.

3. Расчет процесса неупругого взаимодействия с ядром быстрого нуклона или пиона предполагает, что известны вводимые извне исходные данные: характеристики упругих и неупругих взаимодействий с нуклонами ядра частиц, участвующих в процессе. Однако, если в области средних энергий, меньших 1 Бэв, характеристики элементарных актов нуклон-нуклонного и пион-нуклонного взаимодействий достаточно хорошо изучены экспериментально, то в области высоких энергий ситуация существенно иная. Экспериментальные данные имеют характер отрывочной информации об элементарных актах взаимодействия с нуклонами нуклонов, пионов и, особенно, странных частиц в отдельных точках энергетического интервала /см. обзоры^{/3,4/}. Без привлечения теоретических соображений этих данных в ряде случаев оказывается недостаточно для полного описания элементарного акта. В таких случаях использовалась статистическая теория множественного образования частиц и одномезонная полюсная теория периферических взаимодействий. Результаты выполненных таким образом расчетов неупругих взаимодействий^{/5-13/} включены в первый раздел второй главы реферируемой работы.

Второй раздел этой главы посвящен изучению механизма взаимодействия с ядрами фотоэмульсии протонов с энергиями 9 Бэв и 25 Бэв. Для сравнения с данными фотоэмульсионных работ были выполнены расчеты внутриядерных каскадов, генерируемых быстрыми протонами, в среднем легком и среднем тяжелом ядрах фотоэмульсии^{/14-16/}. В данных расчетах, кроме обычно принимаемых во внимание законов сохранения барионного и электрического зарядов, закон сохранения энергии был выполнен для каждого элементарного акта взаимодействия. Хотя законом сохранения импульса при этом пренебрегалось, он все-таки проявлялся при лоренцовских преобразованиях энергии и импульса. Распределение плотности ядерного вещества было принято таким, как это следует из экспериментов по рассеянию быстрых электронов на ядрах. Образование странных частиц в этих расчетах не рассматривалось.

В развитии каскада принимали участие пять сортов частиц: нейтроны, протоны, нейтральные и заряженные пионы. Однако для сопоставления с эмульсионными данными конечные результаты были представлены как энергетические и угловые распределения π^- -частиц /протоны с энергией, большей 500 Мэв, и заряженные пионы с энергией, большей 80 Мэв/ и π^+ -частиц /протоны с энергией 30 - 500 Мэв и заряженные пионы с энергией 15-80 Мэв/, а также средние множественности этих групп частиц.

Удовлетворительное согласие расчетных величин с экспериментальными, которое наблюдается при сравнении результатов расчета с экспериментальными данными^{/17,18/}, позволяет утверждать, что механизм внутриядерного каскада реализуется, по крайней мере, до энергии 25 Бэв. Наоборот, расчеты по модели ядерной трубки приводят к противоречию с экспериментом.

В третьем разделе второй главы рассмотрены внутриядерные каскады с участием K^- -мезонов и гиперонов. За начальные частицы, генерирующие такие каскады в ядре углерода, были взяты π^- -мезоны с энергиями 7 Бэв и 18 Бэв. Это позволяет сравнить результаты расчета с экспериментальными данными^{/19/}.

Из-за усреднения по изотопическому спину в расчете каскада принимали участие пять сортов частиц: нуклоны n - и K^- -мезоны, Λ и Σ^- -гипероны. Взаимодействие каждой частицы с нуклонами ядра было задано возможными каналами реакции, разрешенными законами сохранения энергии, барионного заряда и странности. В отличие от предыдущего расчета, в качестве ядерной модели была использована модель ферми-газа, с равномерной плотностью заполняющего объем ядра-мишени. Однако, несмотря на некоторые различия, обусловленные специфичностью расчета, общая схема вычислений была такой же, как для расчета пион-нуклонного каскада. И в этом случае эксперимент и теория хорошо согласуются.

4. В последней главе рассмотрены детали нуклон-ядерных взаимодействий, которые не объясняются каскадным механизмом в его обычной трактовке: аномальное сечение рождения дейтронов при энергиях $T \geq 400$ Мэв^{/16;20/}, аномальные сечения для реакций типа $(p, p\pi^+)$ ^{/21/} и т.д. Для объяснения этих явлений использовалась теория прямых ядерных реакций. Применение диаграммной техники позволяет в этом случае связать между собой различные процессы, исключить трудносчитаемые узлы и определить относительный выход реакции. Таким путем для нуклон-ядерных взаимодействий рассчитаны отношения чисел рождающихся дейтронов к протонам при энергии 25 Бэв и вычислено полное сечение реакции $(p, p\pi^+)$ от порога до 28 Бэв. Результаты расчетов близки к известным экспериментальным данным.

5. В приложении приведены результаты расчета вероятностей генерации γ -квантов, μ^- -мезонов и нейтрино при очень больших энергиях^{/22/}. Эти данные представляют интерес для оценки интенсивностей пучков частиц в существующих и проектируемых ускорителях.

Все численные расчеты были выполнены на электронных счетных машинах Вычислительного Центра ОИЯИ.

Полученные результаты опубликованы в работах^{/1,3,5-17,20,22/} и доложены на конференции по ядерной спектроскопии в Ленинграде в 1962 году и на конференции по ядерной химии в Москве в 1963 году.

Л и т е р а т у р а

1. В.М. Мальцев, Ю.Д. Прокошкин. ЖЭТФ, **38**, 1625 /1960/.
2. А.А. Тяпкин, М.С. Козодаев, Ю.П. Прокошкин. ДАН **100**, 689 /1955/.
3. V.S.Barashenkov, V.M.Maltsev. Fortsch. d. Phys. **9**, 549 (1961).
4. V.S.Barashenkov. Fortsch. d. Phys. **10**, 205 (1962).
5. V.S.Barashenkov, V.M.Maltsev. Acta Phys. Pol. **17**, 177 (1958).
6. V.S.Barashenkov, V.M.Maltsev. Acta Phys. Pol. **17**, 397 (1958).
7. В.С. Барашенков, В.М. Мальцев. ЖЭТФ, **38**, 933 /1959/.

8. В.С. Барашенков, В.М. Мальцев. ЖЭТФ, 37, 884' /1959/.
9. V.S.Barashenkov, V.M.Maltsev, E.K.Mihul. Nucl. Phys. 13, 583 (1959).
10. В.С. Барашенков, В.М. Мальцев, Э.К. Михул. ЖЭТФ, 37, 1484 /1959/.
11. V.S.Barashenkov, V.M.Maltsev. Nucl. Phys. 17, 377 (1960).
12. В.С. Барашенков, Ван Пэй, В.М. Мальцев. ЖЭТФ, 38, 850 /1960/.
13. V.S.Barashenkov, V.M.Maltsev. Huang Tsu tsan, Acta Phys. Pol. 23, (1963).
14. В.С. Барашенков, В.М. Мальцев, Э.К. Михул. Атомная энергия 10, 156 /1961/.
15. V.S.Barashenkov, V.M.Maltsev, E.K.Mihul. Nucl. Phys. 24, 642 (1961).
16. В.С. Барашенков, В.М. Мальцев. Изв. АН СССР 24, 1069 /1962/. Серия физическая.
17. V.S.Barashenkov, V.A.Beliakov et al. Nucl. Phys. 14, 522 (1959/60).
18. Y.K.Lim. Nuovo Cim. 26, 1221 (1962).
19. V.A.Beliakov, Wang Yung Chang et al. Internat. Conference on High Energy Phys., Geneva (1962).
20. V.S.Barashenkov, V.M.Maltsev. Nucl. Phys. 34, 644 (1962).
21. V.S.Barashenkov, V.M.Maltsev. Acta Phys. Pol. Suppl. 22, 173 (1962).
22. В.С. Барашенков, В.М. Мальцев. Атомная энергия 13, 221 / 1962/.

Рукопись поступила в издательский отдел
22 апреля 1963 года.