

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

ДУБНА



П-405

1/11-75

P1 - 9204

4666/2-75

Я.Плота, З.Стругальский

К ВОПРОСУ

О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ЧАСТИЦ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

С ЯДРАМИ АТОМОВ

**1975**

P1 - 9204

Я.Плюта, З.Стругальский

К ВОПРОСУ  
О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ЧАСТИЦ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ  
С ЯДРАМИ АТОМОВ

*Направлено в ЯФ*

## 1. Введение

В настоящей работе проведен анализ экспериментальных результатов выполненного нами исследования процесса взаимодействия  $\pi$ -мезонов высоких энергий с атомными ядрами ксенона.

В отличие от других работ, посвященных изучению процесса взаимодействия частица - ядро, здесь используются специфические условия исследования, сулящие надежду на получение более четкой экспериментальной информации. Хорошо определенная налетающая частица взаимодействует с хорошо определенным ядром-мишенью, с ядром ксенона. Среди вторичных продуктов реакции регистрируются с почти 100%-ной эффективностью обильно рождаемые частицы -  $\pi^0$ -мезоны в диапазоне энергий от 0 до максимальных встречаемых, в полном телесном угле; определяются импульсы со средней точностью около 10% и углы эмиссии каждого из зарегистрированных  $\pi^0$ -мезонов с точностью  $\pm 0,5 \div 2^\circ$ . Кроме этого, регистрируются обильно эмиттированные в исследуемых реакциях протоны, вплоть до их кинетических энергий около 350 МэВ, и определяются их энергии с точностью несколько процентов и углы их эмиссии с точностью  $\pm 1-5^\circ$ . В диапазоне значений кинетических энергий протонов 20-200 МэВ имеется возможность их наблюдения и измерения их энергии и углов в полном телесном угле.

Что касается исходного теоретического материала, с которым проводится сравнение экспериментальных результатов, по существу сравнение более качественного, чем количественного характера, то он относится к модели внутриядерного каскада<sup>1/</sup>. В основе этой модели

лежит предположение, что средний свободный пробег системы рожденных на каком-то нуклоне в ядре частиц меньше их потенциального пути взаимодействия в этом родительском ядре. Это предположение содержит в себе принятие определенного механизма взаимодействия двух адронов и определенной общей структуры ядра мишени. Именно, взаимодействие должно быть достаточно кратковременным и структура ядра с точки зрения этой реакции должна напоминать сконденсированный нуклонный газ. В последнее время было обнаружено четкое расхождение экспериментальных результатов и предсказаний этой модели в области высоких энергий /больше нескольких десятков ГэВ/2/.

При таких больших энергиях эффект релятивистского удлинения времени ведет к тому, что возникающие в первом акте взаимодействия с ядром вторичные пионы не взаимодействуют в этом ядре как отдельные частицы. Мерой удлинения времени может служить  $\gamma$ -фактор Лоренца системы центра масс соударяющихся частиц по отношению к лабораторной системе. Поэтому основные положения модели следует сопоставлять с результатами эксперимента при низших энергиях, где  $\gamma$ -фактор Лоренца имеет значение, близкое 1, но не при столь низких, чтобы не могло происходить в ядре образование вторичных частиц, если оно в действительности может происходить.

Сравнение результатов расчета в рамках модели с результатами экспериментов в области нескольких ГэВ, по-видимому, более целесообразно для выявления, соответствует ли модель действительности. При этих именно энергиях проводятся наши сравнения /в области от 2 до 10 ГэВ/. Основной же наш экспериментальный материал относится к взаимодействиям при 3,5 ГэВ/с.

## 2. Методика эксперимента

Экспериментальные характеристики процесса взаимодействия быстрых  $\pi$ -мезонов с ядром ксенона были получены с помощью ксеноновых пузырьковых камер: 26-

литровой камеры ЛВЭ ОИЯИ и 180-литровой камеры ИТЭФ. Главный экспериментальный материал составляли снимки со 180-литровой камеры, облученной в пучке  $\pi^-$ -мезонов с импульсом 3,5 ГэВ/с.

Более подробно методика /выбор критерия отбора событий при просмотре снимков, способ измерения геометрии событий, а также измерения импульсных и угловых характеристик  $\pi^0$ -мезонов и протонов/ описана в наших прежних работах /3-6/.

## 3. Экспериментальные данные

При просмотре свыше 10 000 снимков со 180-литровой камеры, облученной в пучке  $\pi^-$ -мезонов с импульсом 3,5 ГэВ/с, были отобраны 2058 событий  $\pi^- + \text{Xe}$  взаимодействий, удовлетворяющих определенным критериям просмотра. Были приняты такие критерии, которые обеспечивали объективный отбор всех ядерных событий без всякой выборки; если во взаимодействии не рождались вторичные частицы и трек пучковой частицы отклонялся на угол не менее  $2^\circ$ , то такой случай квалифицировался как случай взаимодействия. Для анализа полученных на этом материале экспериментальных данных были привлечены также экспериментальные данные, относящиеся к реакциям  $\pi^+ + \text{Xe}$  при 2,34 ГэВ/с и  $\pi^- + \text{Xe}$  при 5 и 9 ГэВ/с.

Многие из результатов, касающиеся в основном характеристик рожденных  $\pi^0$ -мезонов и эмиттированных протонов, были опубликованы ранее /3-6/. Здесь приводятся в основном новые, до сих пор не опубликованные данные и в связи с необходимостью интерпретации этих новых данных воспроизводится некоторая уже известная информация /3-6/.

На рис. 1-7 показана серия тех экспериментальных результатов, которые используются для анализа правильности модели внутриядерного каскада. На этих рисунках нанесены соответствующие гистограммы и кривые, полученные из расчета в рамках этой модели. О них будем говорить при необходимости подробнее в параграфе, посвященном обсуждению экспериментальных данных.

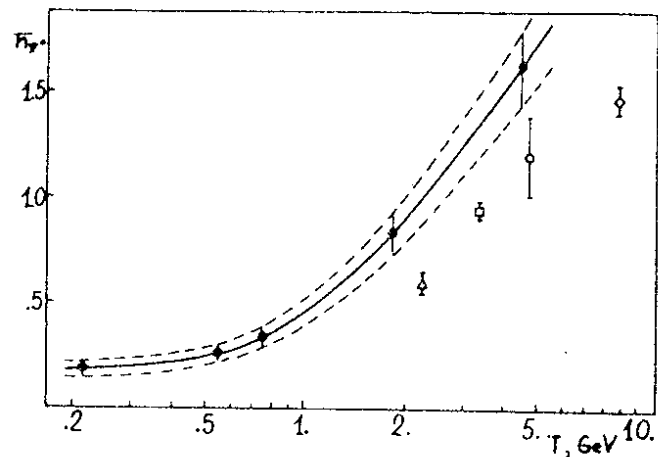


Рис. 1. Зависимость от энергии  $T$  среднего числа  $\pi^0$ -мезонов, испускаемых в реакциях быстрых  $\pi^-$ -мезонов с ядрами ксенона.  $\Delta, \square, \diamond, \circ$  - экспериментальные точки;  $\bullet$  - предсказания модели внутриядерного каскада.

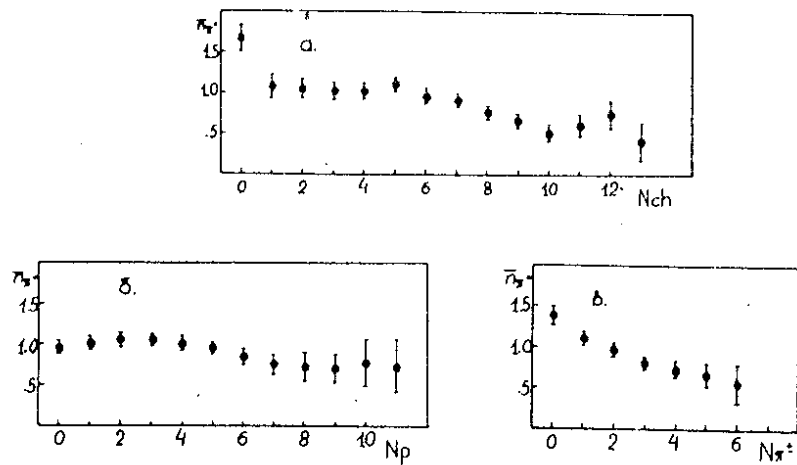


Рис. 2. Зависимость средних кратностей эмиссии  $\pi^0$ -мезонов  $N_{\pi^0}$  во взаимодействиях  $\pi^- + \text{Xe}$  при 3,5 ГэВ/с и  $\pi^- + \text{Xe}$  при 2,34 ГэВ/с от: а/ числа заряженных продуктов реакций  $N_{ch}$ ; б/ от числа протонов  $N_p$ ; в/ от числа  $\pi^\pm$ -мезонов  $N_{\pi^\pm}$ .

На рис. 1 представлена зависимость средней кратности  $\pi^0$ -мезонов от кинетической энергии для  $\pi^+ \text{Xe}$  взаимодействий из диапазона энергий от 2,34 до 9 ГэВ. Кривая была получена на основании работ Барашенкова и Тонеева [1].

На рис. 2 представлена зависимость средней кратности  $\pi^0$ -мезонов от кратности других продуктов реакции, на рис. 2а - от числа заряженных частиц  $N_{ch}$ , на рис. 2б - от числа эмиттированных протонов, на рис. 2в - от числа  $\pi^\pm$ -мезонов.

На рис. 3 показано распределение кинетических энергий  $\pi^0$ -мезонов, рожденных в реакциях  $\pi^- + \text{Xe}$  при

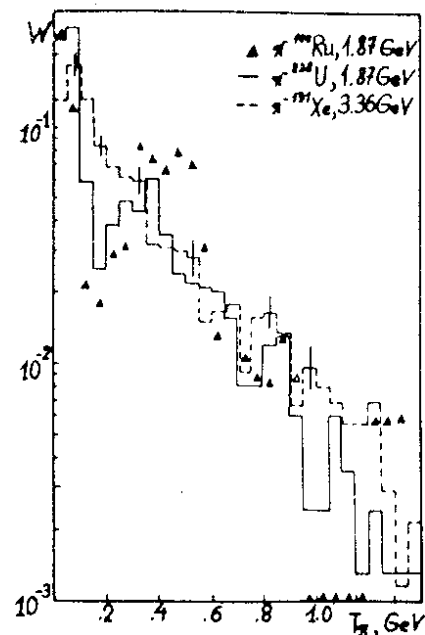


Рис. 3. Распределение  $\pi^0$ -мезонов из реакции  $\pi^- + \text{Xe}$  при 3,5 ГэВ/с по кинетическим энергиям  $T_{\pi^0}$ . Для сравнения приведены распределения, полученные из расчета по модели внутриядерного каскада для реакции  $\pi^- + {}^{238}\text{U}$  [1] и для реакции  $\pi^- + {}^{100}\text{Ru}$  [8]. Распределения взаимно нормированы.

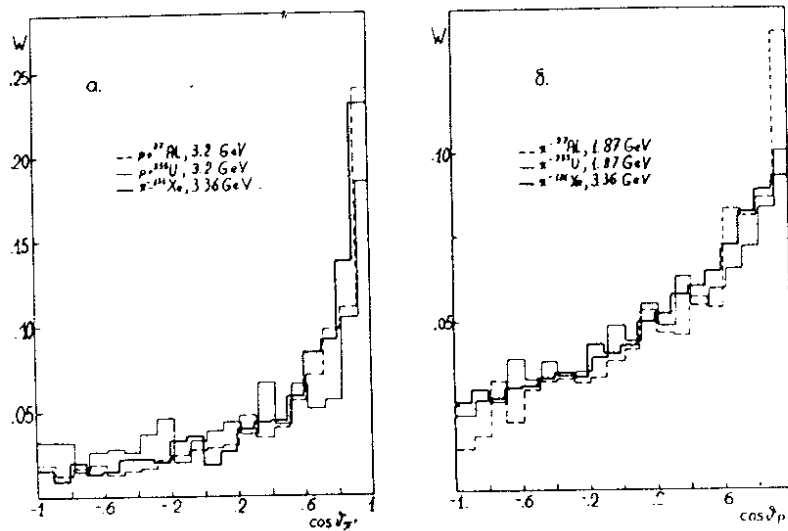


Рис. 4. Распределения  $\pi^0$ -мезонов и протонов из реакции  $\pi^- + \text{Xe}$  при 3,5 ГэВ/с по косинусам углов эмиссии. Для сравнения приведены соответствующие распределения, полученные из расчета по методу внутриядерного каскада.

3,5 ГэВ/с, в сопоставлении с предсказаниями модели внутриядерного каскада для двух разных ядер мишеней: для  $^{100}\text{Ru}$  и для  $^{238}\text{U}$ .

На рис. 4 приведены распределения косинусов углов эмиссии  $\pi^0$ -мезонов и протонов в сравнении с соответствующими результатами расчетов по модели внутриядерного каскада.

На рис. 5 представлена зависимость среднего значения быстроты /рапидити/  $\bar{Y}_{\pi^0}$   $\pi^0$ -мезонов от числа протонов.

На рис. 6 даны зависимости средних импульсов  $\bar{P}_p$  и средних косинусов углов эмиссии  $\overline{\cos \theta_p}$  протонов от числа протонов  $N_p$ .

#### 4. Обсуждение экспериментальных данных

Из-за неточностей расчетов по модели внутриядерного каскада, возникающих главным образом от большой

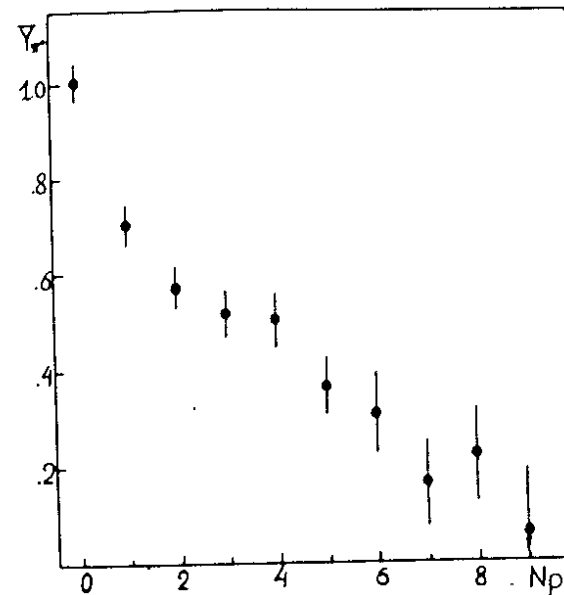


Рис. 5. Зависимость среднего значения быстроты  $\bar{Y}_{\pi^0}$   $\pi^0$ -мезонов от числа эмиссированных протонов  $N_p$ .

неопределенности исходных данных, сравнение результатов эксперимента с результатами расчета может иметь лишь качественный характер и должно относиться к самым основным исходным положениям модели.

Из рис. 1 следует указание, что имеется четко заметная меньшая интенсивность рождения  $\pi^0$ -мезонов в сравнении с предсказанной с помощью модели. Из рис. 2 видны отрицательные корреляции между кратностями эмиссии  $\pi^0$ -мезонов и разных заряженных частиц; сильнее всего они для зависимости  $\bar{n}_{\pi^0}$  от  $N_{\pi^\pm}$ . Падение средней кратности  $\pi^0$ -мезонов с ростом  $N_p$  может быть следствием известного процесса поглощения медленных  $\pi$ -мезонов в ядре. Этот процесс мог бы объяснить, по крайней мере качественно, также меньшее по сравнению с предсказанным моделью значение средней кратности нейтральных  $\pi$ -мезонов. Известно, что максимум поглощения  $\pi$ -мезонов приходится на диапазон энергий 100-200 МэВ.

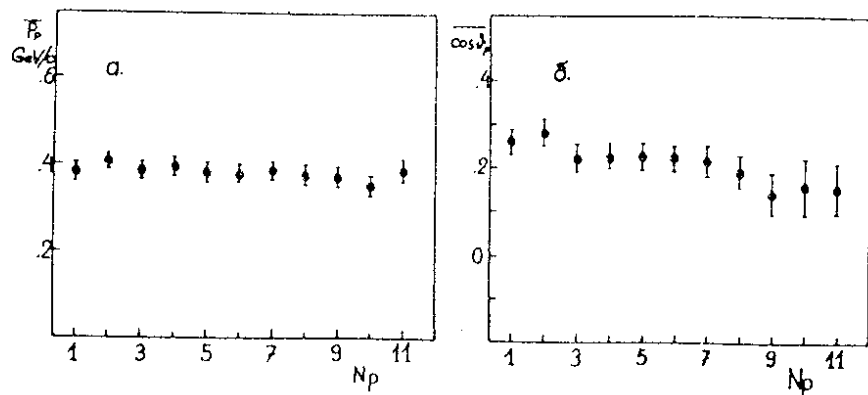


Рис. 6. Зависимости средних импульсов  $P_p$  и среднего косинуса угла эмиссии  $\cos \theta_p$  протонов от числа протонов  $N_p$ .

Для выяснения этой проблемы послужил результат, показанный на рис. 3. На этом рисунке сравниваются распределения кинетических энергий  $\pi^0$ -мезонов, полученные из расчета для реакций  $\pi^- + U^{1/2}$  и  $\pi^- + Ru^{1/8}$  при 1,87 ГэВ/с, с распределением, полученным на опыте. Общий ход всех распределений почти одинаков, за исключением области энергий около 200 МэВ. В расчетных данных виден четко минимум в распределениях в районе 100±200 МэВ, связанный с процессом поглощения и резонансного рассеяния пионов в ядре. Такой минимум не наблюдается в экспериментальном распределении. Также в распределении  $\pi^0$ -мезонов по импульсам при 2,34 ГэВ/с не наблюдается никакой нерегулярности<sup>[9]</sup>.

В настоящее время не хватает обстоятельных экспериментальных данных о распределении кратностей  $\pi^0$ -мезонов в области энергий несколько ГэВ в элементарных взаимодействиях, с которыми можно было бы сравнить наши данные. Такое сравнение позволило бы выяснить, не является ли распределение кратностей  $\pi^0$ -мезонов в ядерных взаимодействиях близким к распределению их кратностей в элементарных взаимодействиях. Имеется, однако, и феноменологическая модель<sup>[10]</sup>, опирающаяся на предположение о том, что кратность всех частиц, эмиттированных в неупругих элементарных

взаимодействиях, можно описать формулой Чижевского и Рыбицкого<sup>[11]</sup> и вероятности соответствующих каналов реакции остаются в согласии с гипотезой изоспиновой независимости. Можно показать, рис. 7, что экспериментальные точки, полученные для  $\pi^0$ -мезонов из  $\pi + Xe$  взаимодействий, хорошо укладываются на прямую, рассчитанную по этой модели для элементарных взаимодействий. Следует сказать, что модель эта предвидит также отрицательные корреляции между кратностями  $\pi^0$ -мезонов и  $\pi^-$ -мезонов при энергиях несколько ГэВ.

В противоположность выше описанным расхождениям между экспериментальными результатами и результатами расчета, наблюдается качественное согласие между экспериментом и расчетом для распределений  $\pi^0$ -мезонов и протонов по углам их эмиссии, рис. 4.

Влияние ядерных процессов на кинематические характеристики продуктов  $\pi + Xe$  взаимодействий видно из рис. 5. Среднее значение быстроты  $\bar{Y}$  для  $N_p = 0$  в границах ошибок равно скорости системы  $\pi$ -нуклон в лабораторной системе. С увеличением числа протонов  $N_p$  ки-

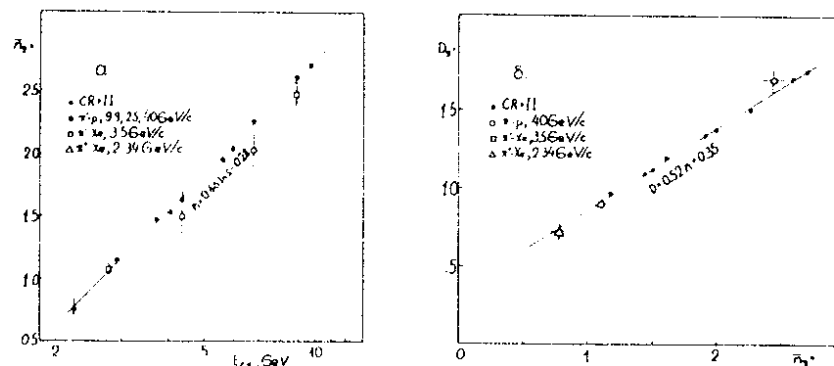


Рис. 7. Сравнение параметров распределения кратностей  $\pi^0$ -мезонов, рожденных в  $\pi + Xe$  взаимодействиях, с параметрами, предсказанными моделью для элементарных взаимодействий<sup>[10]</sup>.  $T$  - кинетическая энергия первичных пионов;  $N_{\pi^0}$  - средняя кратность;  $D_{\pi^0}$  - дисперсия. Приведена также одна точка для  $\pi^- + P$  взаимодействия при 40 ГэВ/с<sup>[12]</sup>.

нематические характеристики  $\pi^0$ -мезонов, рожденных в ядерных взаимодействиях, расходятся с характеристиками для элементарных взаимодействий. Вместе с возрастанием числа протонов видно четкое изменение углового распределения  $\pi^0$ -мезонов.

Как следует из рис. 6, как средний импульс  $\bar{P}_p$ , так и средний угол эмиссии протонов почти не зависят от числа протонов  $N_p$ . Этот результат также не согласуется с предсказанием модели внутриядерного каскада, в которой вместе с возрастанием числа выбиваемых протонов уменьшается их средний импульс и увеличивается средний угол эмиссии.

На основании вышесказанного можно выделить следующие результаты проведенного анализа:

1. Наблюдаются четкие качественные различия между предсказаниями модели внутриядерного каскада и экспериментальными данными относительно кратности рождения  $\pi^0$ -мезонов.

2. Характеристики кратностей  $\pi^0$ -мезонов согласуются с феноменологической моделью акта элементарных  $\pi$ -нуклонных взаимодействий.

3. Зависимость энергетических и угловых характеристик протонов от кратности их эмиссии не согласуется качественно с предсказаниями модели внутриядерного каскада.

4. Угловые распределения  $\pi^0$ -мезонов и протонов качественно согласуются с предсказаниями модели внутриядерного каскада.

Приведенные выше результаты ведут к заключению, что хотя и наблюдается влияние внутриядерных процессов на кинематические характеристики рожденных и эмиттированных в реакциях  $\pi$ -мезонов с ядром продуктов, однако не наблюдается влияния вторичных актов взаимодействий на генерацию или абсорбцию  $\pi^0$ -мезонов. Параметры распределения  $\pi^0$ -мезонов по кратностям находятся в согласии с предположением о том, что  $\pi^0$ -мезоны рождаются в одном квазиэлементарном акте взаимодействия, в то время как заметного образования вторичных частиц, а также абсорбции не происходит.

1. В.С. Барашенков, В.Д. Тонеев. Взаимодействия высокоэнергетических частиц и атомных ядер с ядрами. Москва, Атомиздат, 1972.
2. K. Gottfried. *Phys. Rev. Lett.*, 32, 957 (1974).
3. Я. Плюма, З. Стругальский. ОИЯИ, P1-7399, Дубна, 1973.
4. Я. Плюма, З. Стругальский. ОИЯИ, P1-7398, Дубна, 1973.
5. З. Стругальский, Я. Плюма. ЯФ, 20, 4, 504 /1974/.
6. К. Мюллер, Я. Плюма, В. Пэриш, З. Стругальский. ОИЯИ, P1-9083, Дубна, 1975.
7. F. Buckling, K. Kajantie. *Particle Kinematics*, J. Wiley and Sons, London, N. Y., Sydney, Toronto, 1972.
8. H. W. Bertini. Report ORNL-TM, 2699, Oak Ridge, 1969.
9. Б. Словинский, З. Стругальский. ОИЯИ, P1-3822, Дубна, 1968.
10. M. Bardadin-Otwinowska, H. Bialkowska, J. Gajewski, R. Gokteli, S. Otwinowski, W. Wojcik. *Acta Physica Polonica*, B4, 561 (1973).
11. O. Czyzewski, K. Rybicki. *Nucl. Phys.*, B47, 633 (1972).
12. Н. Ангелов, В. Г. Гришин, П. К. Керачев. ОИЯИ, P1-7844, Дубна, 1974.

Рукопись поступила в издательский отдел  
29 сентября 1975 года.