

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА



g/i - 78

0-927

PI - 10977

Л.С.Охрименко, Я.Плюта, В.Пэрыт, Б.Словинский,  
З.Стругальский, В.Д.Тонеев

204/2-78

УГЛОВЫЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ ПРОТОНОВ,  
ИСПУСКАЕМЫХ В  $\pi$ -He ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ  
ПРИ 2,34 и 3,5 ГэВ/с

1977

P1 - 10977

Л.С.Охрименко, Я.Плюта, В.Пэрыт, Б.Словинский,  
З.Стругальский, В.Д.Тонеев

УГЛОВЫЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СПЕКТРЫ ПРОТОНОВ,  
ИСПУСКАЕМЫХ В  $\pi$ -He ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ  
ПРИ 2,34 и 3,5 ГэВ/с

*Направлено в ЯФ*

Угловые и энергетические спектры протонов, испускаемых  
в  $\pi$ -Xe-взаимодействиях при 2,34 и 3,5 ГэВ/с

Проведен анализ энергетических и угловых распределений  
протонов  $\pi$ -Xe-взаимодействий при 2,34 и 3,5 ГэВ/с.

Экспериментальные данные сравниваются с результатами расчетов  
по каскадно-испарительной модели. Установлено, что эта модель пра-  
вильно описывает изучаемые спектры протонов, а также соответствующи-  
е распределения по числу вторичных заряженных частиц.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

**Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977**

The Angular and Energy Spectra of Protons  
Emitted in  $\pi$ -Xe Interactions at 2.34 and 3.5 GeV/c

The analysis of energy and angular distributions of protons  
emitted in  $\pi$ -Xe interactions at 2.34 and 3.5 GeV/c has been per-  
turbed.

The experimental data have been compared with the results  
of the cascade evaporation model computations.

An agreement of studied distributions with the abovementioned  
model has been found.

The investigation has been performed at the Laboratory  
of High Energies, JINR.

**Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1977**

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящей работе проведен анализ угловых и энергетических распределений протонов, испускаемых во взаимодействиях



при 2,34 и 3,5 ГэВ/с,  $k = 1 \div 14$ . Изучались также распределения по множественности эмиссии вторичных заряженных частиц. Экспериментальные данные получены при помощи 26-литровой ксеноновой пузырьковой камеры /далее: КПК/ ОИЯИ<sup>/1/</sup> и 180-литровой КПК ИТЭФ<sup>/2/</sup>.

Целесообразность использования методики КПК для исследования ядерных взаимодействий в области энергий в несколько ГэВ вытекает из следующих уникальных свойств этого детектора. Во-первых, химическая однородность наполняющего камеру вещества - жидкого ксенона - позволяет изучать столкновения практически /т.е. с вероятностью 99%/ с тяжелой ядерной мишенью - с ядрами ксенона / $A_{\text{Xe}} = 131$ /. Во-вторых, КПК даже небольших размеров является  $4\pi$ -детектором для протонов с энергией  $E_k$ , превышающей испарительную область / $E_k \geq 30$  МэВ/: для 26-литровой КПК -  $E_k = 30 \div 150$  МэВ, для 180-литровой -  $E_k = 30 \div 200$  МэВ. В эти интервалы энергии попадает не менее 90% протонов в результате взаимодействий /1//<sup>3/</sup>. В-третьих, КПК позволяет наблюдать полную картину ядерных взаимодействий вместе со всеми испускаемыми вторичными заряженными частицами и  $\pi^0$ -мезонами.

Перечисленные свойства ксеноновой пузырьковой камеры дают возможность изучить характеристики протонной компоненты адрон-ядерных взаимодействий практически во всей области фрагментации ядра-мишени. Столь полная экспериментальная информация может быть использована для проверки существующих концепций относительно столкновений быстрых адронов с атомными ядрами, а также соответствующих моделей взаимодействий. Ниже угловые и энергетические спектры протонов из /1/ сопоставляются с результатами расчетов, выполненных по каскадно-испарительной модели /далее: КИМ/ <sup>4/</sup>.

Экспериментальный материал и метод исследования описаны ранее <sup>5/</sup>.

## 2. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПО МНОЖЕСТВЕННОСТИ ВТОРИЧНЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

На рис. 1 и 2 приведены распределения  $\pi^+$  - Хе - взаимодействий при 2,34 и 3,5 ГэВ/с по числу  $N_3$  вторичных заряженных частиц. Экспериментальные данные получены в результате анализа 6130 событий  $\pi^+$  - Хе - взаимодействий при 2,34 ГэВ/с и 4908 событий  $\pi^-$  - Хе - взаимодействий при 3,5 ГэВ/с. Показаны также аналогичные распределения, рассчитанные по каскадно-испарительной модели. При этом было разыграно на ЭВМ БЭСМ-6 3738 случаев неупругих  $\pi^+$  - Хе взаимодействий при 2,34 ГэВ/с и 1782 случая неупругих  $\pi^-$  - Хе - взаимодействий при 3,5 ГэВ/с. Условия вывода информации, полученной на основании КИМ, были максимально близки к условиям регистрации событий ядерных взаимодействий в КПК.

Средние значения вторичных заряженных частиц в изучаемых взаимодействиях равны:  $\bar{N}_3 = 4,95 \pm 0,07$  из экспериментальных данных и  $\bar{N}_3^{MC} = 5,15 \pm 0,09$  из расчета для реакции  $\pi^+$  - Хе при 2,34 ГэВ/с, и  $\bar{N}_3 = 4,84 \pm 0,08$  из опыта и  $\bar{N}_3^{MC} = 5,87 \pm 0,15$  из расчета для  $\pi^-$  - Хе - взаимодействий при 3,5 ГэВ/с. В действительности согласие между экспериментальными данными

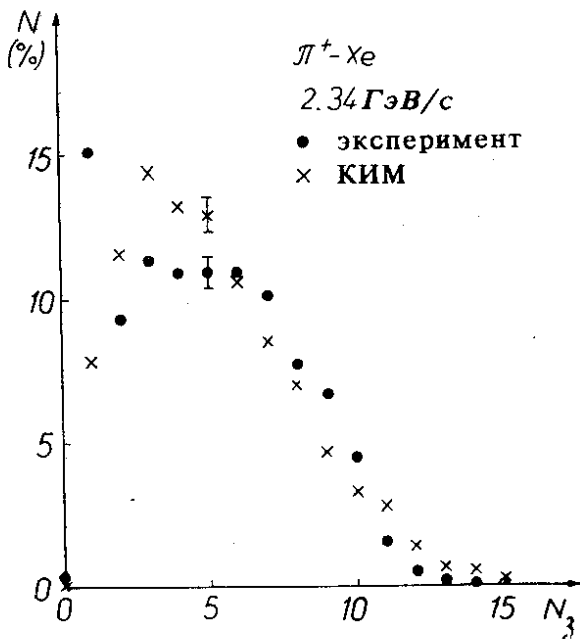


Рис. 1. Распределение случаев  $\pi^+ - \text{Xe}$ -взаимодействий при 2,34 ГэВ/с по числу  $N_3$  вторичных заряженных частиц. Крестиками отмечены результаты расчета по каскадно-испарительной модели.

и результатами расчета по КИМ значительно лучше, чем это следует из приведенных данных, так как при  $N_3 \geq 10$  заметную роль играет взаимное перекрывание следов /особенно коротких/ вторичных заряженных частиц. Кроме того, в случае  $\pi^+ - \text{Xe}$ -взаимодействий при 2,34 ГэВ/с для  $N_3 = 1$  имеется примесь актов упругого рассеяния  $\pi^+$ -мезонов на ядрах ксенона, которая не была учтена при расчете. С учетом этих замечаний вероятность того, что результаты расчета по КИМ согласуются с полученными экспериментальными данными, равна:  $P(\chi_9^2 \geq 4) = 91\%$  для  $\pi^+ - \text{Xe}$ -взаимодействий при 2,34 ГэВ/с и  $P(\chi_{10}^2 \geq 5) = 89\%$  для  $\pi^- - \text{Xe}$ -взаимодействий при 3,5 ГэВ/с, соответственно.

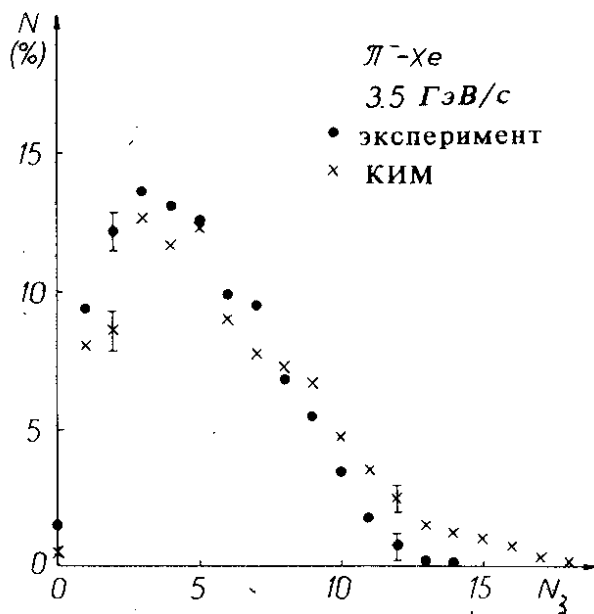


Рис. 2. То же, что на рис. 1, но для  $\pi^-$ -He-взаимодействий при 3,5 ГэВ/с.

### 3. УГЛОВЫЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОТОНОВ

На рис. 3-7 приведены угловые и энергетические распределения протонов из [1], для трех интервалов значений числа  $k$  протонов, имеющих энергию  $E_k \geq 21$  МэВ:  $k \geq 4$ ;  $5 \leq k \leq 7$  и  $k \geq 8$ . Экспериментальные данные сравниваются с результатами расчета, выполненного по КИМ. При этом все, кроме  $\pi^+$ -мезонов, останавливающиеся в камере вторичные заряженные частицы, длина следов которых в КПК не меньше 2 мм, считались протонами. Оказалось, что среди таких частиц имеется, по КИМ: 89,3% протонов, 6,7% -  $\pi^+$ -мезонов, 3% - дейтронов и ~1% более тяжелых частиц в слу-

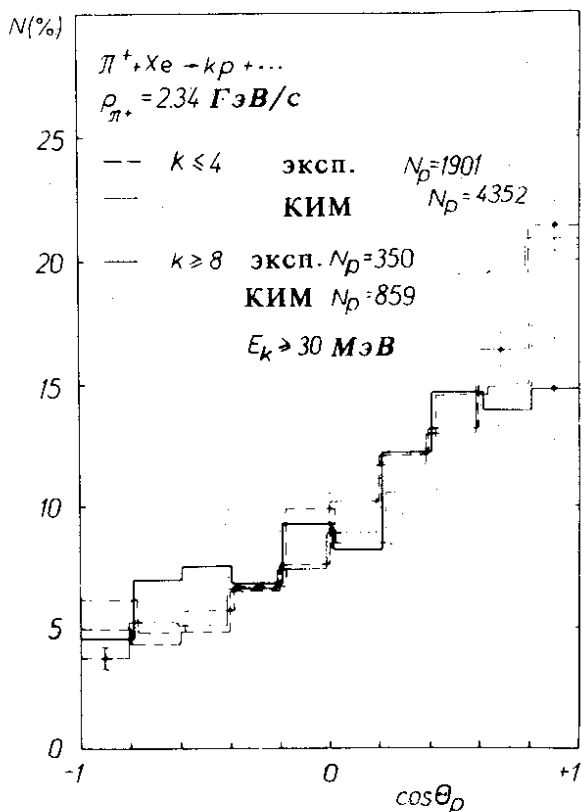


Рис. 3. Угловые распределения протонов с  $E_{k \geq 30}$  МэВ, испускаемых во взаимодействиях  $\pi^+ + \text{Xe} \rightarrow k p + \dots$  при 2,34 ГэВ/с. Экспериментальные данные сравниваются с результатами расчетов по каскадно-испарительной модели.

чае  $\pi^+ - \text{Xe}$  - взаимодействий при 2,34 ГэВ/с. Для  $\pi^- - \text{Xe}$  - взаимодействий при 3,5 ГэВ/с соответствующие оценки таковы: 82,4% - протонов, 11,4% -  $\pi^-$  - мезонов, 4,6% - дейтронов, 1,5% ядер трития и ~ 0,1% ядер гелия. Так как для анализа принимались следы останавливающихся в камере вторичных заряженных частиц, длина которых не менее 5 мм, то доля протонов на несколько процентов больше приведенных оценок.



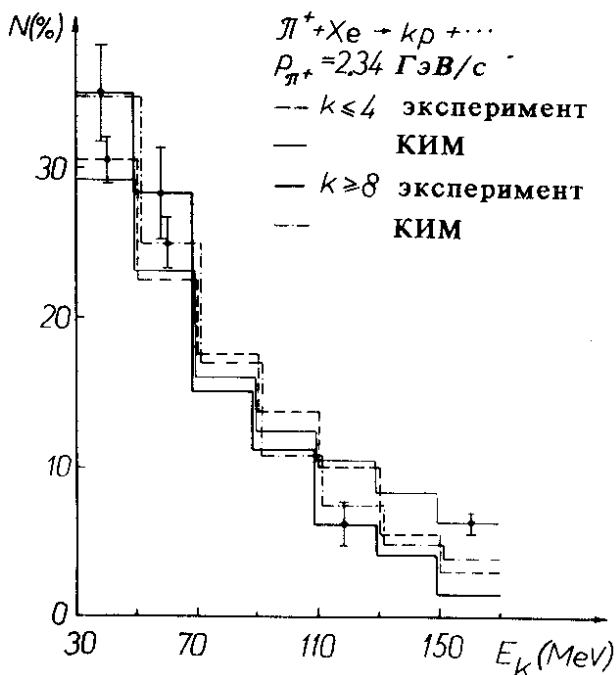


Рис. 4. Распределения протонов, испускаемых во взаимодействиях  $\pi^+ + \text{Xe} \rightarrow k\text{p} + \dots$  при  $2,34 \text{ ГэВ/с}$ , по кинетической энергии  $E_k$  в лаб. с. Экспериментальные данные сравниваются с результатами расчета по каскадно-испарительной модели.

На основании проведенного статистического анализа можно сделать вывод о том, что гистограммы, рассчитанные по КИМ, с вероятностью не менее 50%, аппроксимируют экспериментальные угловые и энергетические распределения. Следует добавить, что углы эмиссии и энергии протонов из /1/ можно считать, даже в случае квазидвухчастичных реакций типа

$$\pi + \text{Xe} \rightarrow \text{p} + \pi + \text{A}' \quad /2/$$

где  $\text{A}'$  - остаточное ядро, независимыми случайными переменными /6/.

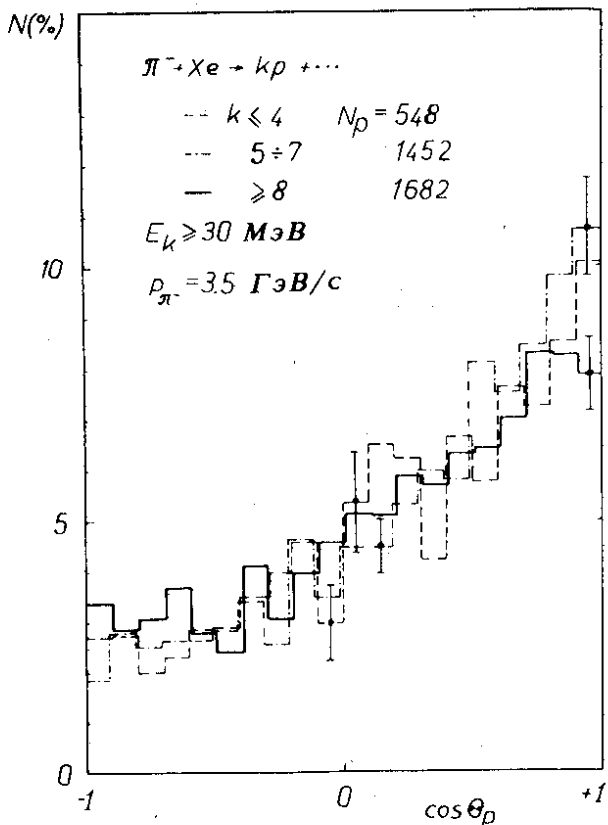


Рис. 5. Угловые распределения протонов с  $E_k \geq 30 \text{ МэВ}$ , испускаемых в различных по числу  $k$  протонов классах  $\pi^-$ -Xe-взаимодействий при  $3,5 \text{ ГэВ/с}$ .

Следовательно, проведенное сравнение экспериментальных данных с результатами расчета эквивалентно сравнению двумерных распределений протонов из /1/ по энергии и углам их эмиссии.

Ранее нами было установлено<sup>15/</sup>, что энергетические спектры протонов, испускаемых во всей области фрагментации ядра-мишени в  $\pi^-$ -Xe-взаимодействиях при

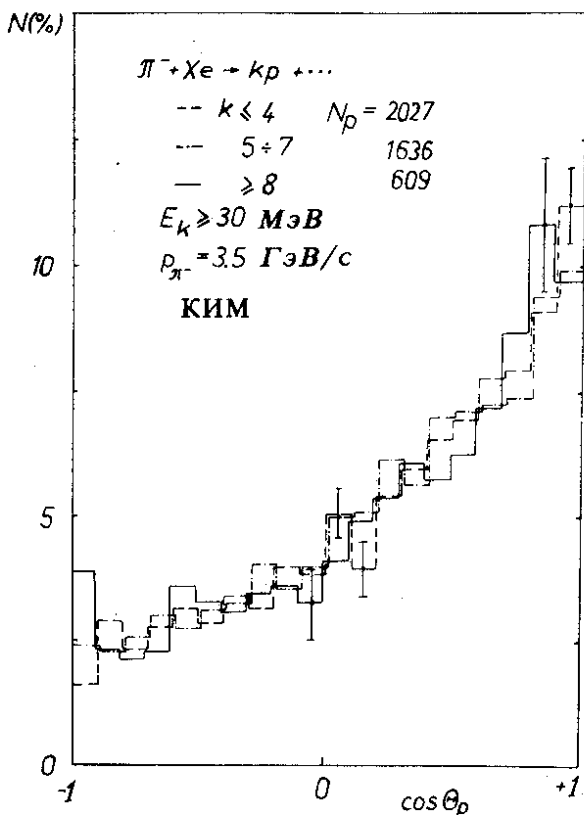


Рис. 6. То же, что на рис. 5, но рассчитанное по каскадно-испарительной модели.

2,34 и 3,5 ГэВ/с, описываются экспоненциальной зависимостью

$$E_t \frac{d^3 \sigma}{dp^3} = a \cdot \exp(-E_k / \epsilon_0). \quad /3/$$

$E_t, p$  - полная энергия и импульс протонов,  $a$  и  $\epsilon_0$  - параметры. Зависимость /3/ удовлетворительно аппроксимирует инклюзивные спектры протонов, сопровождающих взаимодействия  $\pi$ -мезонов и других частиц с различными ядрами, в широком интервале энергий взаимодействующих частиц [7]. Приведенные в настоящей рабо-

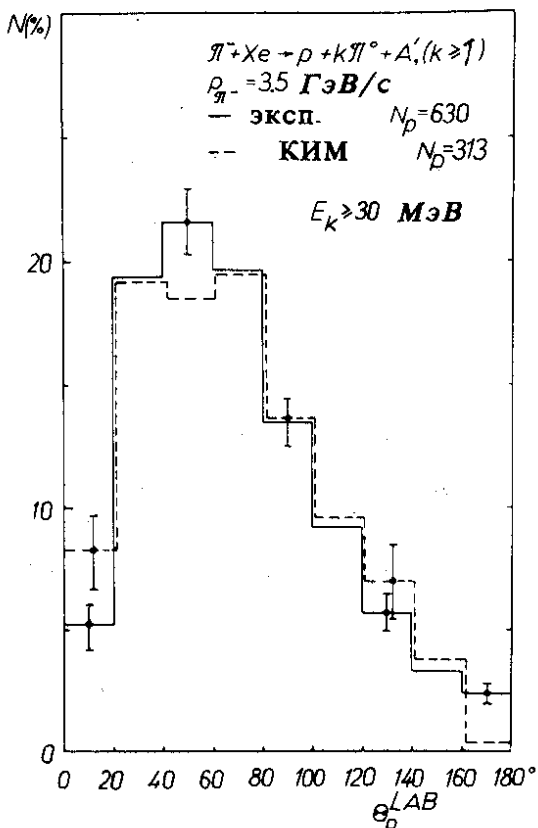


Рис. 7. Сравнение экспериментальных данных по угловому распределению протонов с  $E_k \geq 30 \text{ МэВ}$ , испускаемых во взаимодействиях  $\pi^- + \text{Xe} \rightarrow p + k\pi^0 + A', k \geq 1$ ,  $A'$  - остаточное ядро, при  $3,5 \text{ ГэВ/с}$ , с соответствующими результатами, рассчитанными по каскадно-испарительной модели.

те результаты указывают на то, что такое описание энергетических спектров протонов может содержаться также в КИМ.

В заключение следует подчеркнуть, что столь полная проверка каскадно-испарительной модели выполнена впервые.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kanarek a.o. Conf. on High Energy Accelerat. and Instrumentation. CERN, 1959, p.508.
2. Кузнецов Е.В. и др. ПТЭ, 1970, 2, с.56.
3. Словинский Б. Автореферат диссертации. ОИЯИ, 1-10932, Дубна, 1977.
4. Барашенков В.С., Тонеев В.Д. Взаимодействия высокоэнергетических частиц и ядер с атомными ядрами. Атомиздат, М., 1972; Гудима К.К., Тонеев В.Д. ОИЯИ, Е4-9765, Дубна, 1976; ОИЯИ, Р2-10431, Дубна, 1977.
5. Словинский Б., Стругальский З. ЯФ, 1977, 25, с.613; Плюта Я., Словинский Б., Стругальский З. ОИЯИ, Р1-9692, Дубна, 1976.
6. Словинский Б., Томашевич А. ОИЯИ, Р2-10903, Дубна, 1977.
7. Лексин Г.А. В кн.: Элементарные частицы. Третья школа физики ИТЭФ, т.2, Атомиздат, М., 1975, с.5.

Рукопись поступила в издательский отдел  
28 сентября 1977 года.

---

Вышел в свет очередной номер журнала "Физика элементарных частиц и атомного ядра", том. 8, вып. 5. Подписка на журнал проводится в агентствах и отделениях "Союзпечати", в отделениях связи, а также у общественных распространителей печати.