

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



3634/2-76

13/1x-76

P1 - 9806

0-927

Л.С.Охрименко, Я.Плюта, Б.Словинский, Б.Среднява,
З.Стругальский

ИССЛЕДОВАНИЕ МАСШТАБНЫХ СВОЙСТВ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ ПРОТОНОВ,
ИСПУСКАЕМЫХ В π - Хе ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ
ПРИ 2,34 И 3,5 ГЭВ/С

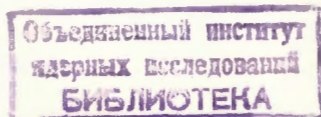
1976

P1 - 9806

Л.С.Охрименко, Я.Плюта, Б.Словинский, Б.Среднява,
З.Стругальский

ИССЛЕДОВАНИЕ МАСШТАБНЫХ СВОЙСТВ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СПЕКТРОВ ПРОТОНОВ,
ИСПУСКАЕМЫХ В π - Хе ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ
ПРИ 2,34 И 3,5 ГЭВ/С

Направлено на XVIII Международную конференцию
по физике высоких энергий (Тбилиси, 15-21 июля, 1976 г.)



1. Введение

Одной из интересных задач в ядерной физике высоких энергий и релятивистской ядерной физике последних лет стало изучение таких взаимодействий быстрых адронов с атомными ядрами, в которых испускаются частицы, имеющие значения углов эмиссии и импульсов, недопустимые с точки зрения кинематики соударений со свободными нуклонами /так называемая кумулятивная эмиссия частиц/. В результате выполненных экспериментальных исследований, носящих преимущественно фрагментарный характер /например, ^{1/} /, были установлены основные особенности этого процесса ^{1-3/}:

1. Энергетический спектр эмиттируемых адронов удовлетворительно описывается экспоненциальной функцией

$$E_t \frac{d^3\sigma}{dp^3} = a \cdot \exp(-E_k/\epsilon_0), E_t, E_k, p$$
 - полная энергия,

кинетическая энергия и импульс в лабораторной системе отсчета /лаб./ испускаемой частицы; ϵ_0, a - параметры.

2. Параметр наклона ϵ_0 проявляет некоторую зависимость от угла эмиссии и сорта падающих частиц, начиная с ~ 1 ГэВ, а также от ядра мишени в случае эмиссии протонов. Для пионов ϵ_0 несколько падает с ростом атомного номера А. Параметр ϵ_0 больше для частиц с большей массой. Наконец, ϵ_0 не зависит от множественности вторичных заряженных частиц ^{4/}.

3. Параметр a не зависит от энергии и сорта первичных частиц для испускаемых протонов, но сильно зависит от сорта вылетающих частиц и пропорционален $-A$ для пионов и протонов.

Перечисленные особенности нельзя объяснить влиянием эффектов, обусловленных фермиевским движением внутриядерных нуклонов, которые не обладают свойством масштабной инвариантности^{/5/}. Учет многократного рассеяния внутри ядра также не в состоянии удовлетворительно объяснить наблюдаемое явление, так как, по видимому, отсутствует корреляция между характеристиками т.н. кумулятивных частиц и свойствами рождаемых во взаимодействии π -мезонов^{/6/}. Не описывает явления кумулятивной эмиссии частиц также каскадно-испарительная модель.

Было выдвинуто предположение о том, что эмиссия сверхбарьерных частиц обусловлена локальными свойствами ядерной материи^{/2,7/}. В предположении кварково-партоновой структуры атомного ядра и при использовании аналогии с процессом образования адронов при больших передачах импульсов было получено качественное согласие с некоторыми экспериментально установленными закономерностями процесса кумулятивной эмиссии адронов^{/3/}. Имеется также надежда на объяснение явления ядерного скейлинга сверхбарьерных протонов в рамках предравновесного подхода^{/8,9/}. Для решения вопроса о механизме кумулятивного испускания частиц необходимо, однако, более подробно изучить характеристики адронов, эмиттируемых в области фрагментации ядрамишени, а не только в кумулятивной области.

В настоящей работе приведены основные результаты исследования энергетических спектров протонов, образованных в $\pi^+ \text{Xe}$ -взаимодействиях при 2,34 ГэВ/с и $\pi^- \text{Xe}$ -взаимодействиях при 3,5 ГэВ/с. Изучалась зависимость релятивистски-инвариантного эффективного сечения эмиссии протонов с энергией $E_k = 30 \div 200$ МэВ от множественности и угла их эмиссии. Работа выполнена на снимках с 26-литровой и 180-литровой ксеноновых пузырьковых камер. Методические вопросы, относящиеся к данной теме, изложены нами ранее^{/10,11/}.

2. Зависимость энергетических спектров протонов от угла эмиссии

Энергетические спектры протонов из реакций:



$k = 1 \div 10$, при 2,34 ГэВ/с и



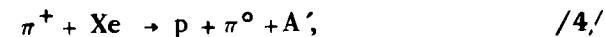
$k = 1 \div 14$, при 3,5 ГэВ/с выражены в виде релятивистски-

инвариантного эффективного сечения, $\frac{E_t}{\sigma_{in}} \frac{d^3\sigma}{dp^3}$,

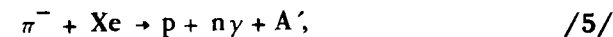
которое удовлетворительно можно описать экспоненциальной зависимостью

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

σ_{in} - полное сечение неупругих процессов. В случае реакции /1/ интервал значений кинетических энергий, на который распространяется аппроксимация /3/, равен $E_k = 30 \div 150$ МэВ. Для реакции /2/ $E_k = 30 \div 200$ МэВ. Кроме этого, изучались следующие каналы реакции:



A' - остаточное ядро, при 2,34 ГэВ/с и



$n = 1 \div 12$, при 3,5 ГэВ/с.

На рис. 1 показана зависимость параметра наклона ϵ_0 функции /3/ от угла Θ_p эмиссии протонов в лаб., испускаемых во всех $\pi^- \text{Xe}$ взаимодействиях при 2,34 и

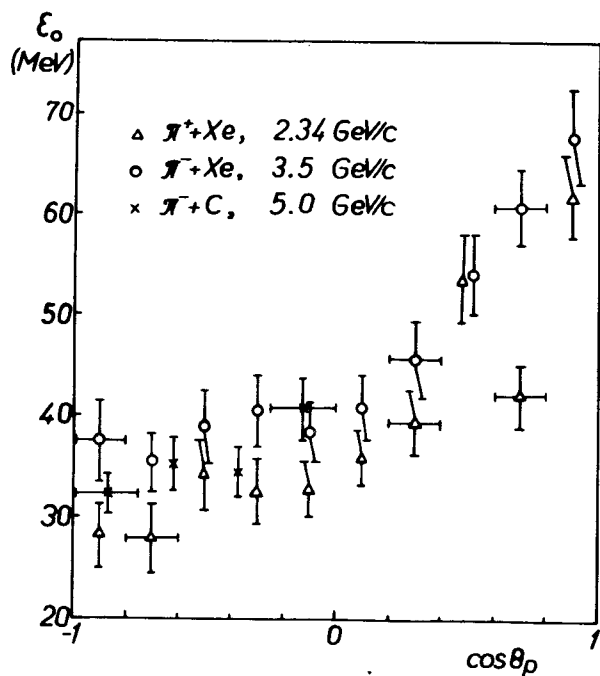


Рис. 1. Зависимость параметра наклона ϵ_0 функции /3/, описывающей энергетические спектры протонов из реакций π^+ -Xe при 2,34 ГэВ/с и π^- -Xe при 3,5 ГэВ/с, от угла эмиссии θ_p протонов в лаб. Приведены также данные, относящиеся к π^- -C¹²-взаимодействиям при 5 ГэВ/с^{12/}.

3,5 ГэВ/с, независимо от числа k . Приведены там также аналогичные данные, относящиеся к π^- -C¹² взаимодействиям при 5 ГэВ/с^{12/}. Видно, что при $\cos\theta_p \leq 0$ не наблюдается статистически значимой зависимости параметра ϵ_0 от $\cos\theta_p$ в случае π^- -Xe взаимодействий, в то время как при $\cos\theta_p > 0$ ϵ_0 сильно растет с уменьшением угла θ_p . Значения ϵ_0 , относящиеся к π^\pm -Xe взаимодействиям при 2,34 ГэВ/с, меньше, в среднем, примерно на 10% соответствующих значений ϵ_0 для протонов из π^- -Xe взаимодействий при 3,5 ГэВ/с во всем диапазоне углов эмиссии. Учтены при этом возможные систематические экспериментальные ошибки, которые не превышают ~10%^{11/}.

3. Зависимость энергетических спектров протонов от множественности их эмиссии

На рис. 2 приведены значения параметра наклона ϵ_0 функции /3/, аппроксимирующей энергетические спектры протонов, эмиттируемых назад ($\cos\theta_p \leq 0$) в реакциях /1/, /2/, /4/ и /5/, в зависимости от числа протонов, испускаемых в этих реакциях. Аналогичные данные для случая $\cos\theta_p > 0$ представлены на рис. 3. Можно заметить, что как при $\cos\theta_p \leq 0$, так и при $\cos\theta_p > 0$ параметр ϵ_0 уменьшается с ростом числа k и достигает, по-видимому, асимптотического значения уже при

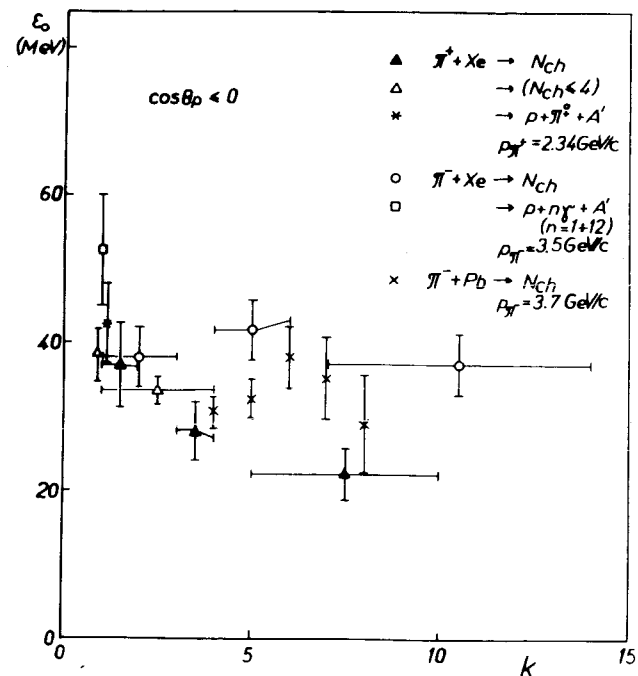


Рис. 2. Зависимость параметра ϵ_0 функции /3/ от числа k протонов, эмиттируемых назад в π^+ -Xe взаимодействиях при 2,34 ГэВ/с и π^- -Xe взаимодействиях при 3,5 ГэВ/с. Приведены также значения ϵ_0 для протонов, испускаемых в различных по числу вторичных заряженных частиц π^- -Pb взаимодействиях при 3,7 ГэВ/с^{4/}.

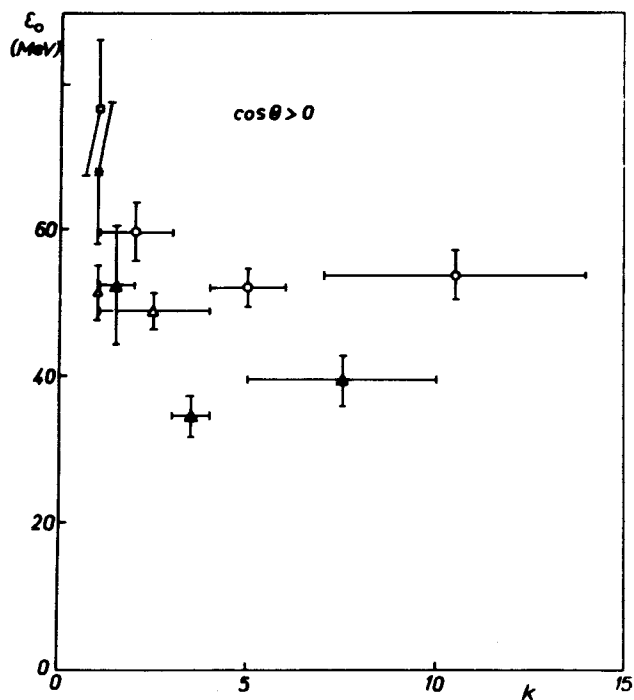


Рис. 3. То же, что и на рис. 2, но для $\cos \Theta_p > 0$.

$k \geq 3$, в то время как при $k=1$ доминирует влияние от прямых ядерных процессов. На рис. 2 показаны дополнительно значения параметра наклона ϵ_0 , относящиеся к реакции $\pi^- + \text{Pb}$ при $3,7 \text{ ГэВ/с}$, в которой изучалась, в частности, зависимость ϵ_0 от числа N_3 вторичных заряженных частиц ^{4/}. Видно, что вывод о независимости ϵ_0 от N_3 справедлив только для асимптотической области значений N_3 или k . Следует, однако, отметить, что исследование фермиевского движения внутриядерных нуклонов ядра ксенона, выполненное с использованием реакции квазиупругого рассеяния ^{13/} типа ^{4/}, привело к оценке дисперсии распределения импульса нуклонов периферической области ядра ксенона ^{14/}, превышающей аналогичные данные для различных ядер, полу-

ченные в других экспериментах ^{15/}. Таким образом, и в каналах реакции типа ^{4/} существенную роль играют процессы, обуславливающие эмиссию сверхбарьерных протонов в π -Xe взаимодействиях.

4. Выводы

На основании результатов исследования энергетических спектров протонов, испускаемых в π^+ -Xe взаимодействиях при $2,34 \text{ ГэВ/с}$ и π^- -Xe взаимодействиях при $3,5 \text{ ГэВ/с}$, можно сделать следующие выводы:

1. Энергетические спектры протонов, выраженные через релятивистски-инвариантное дифференциальное эффективное сечение, $E_t \frac{d^3\sigma}{dp^3}$, удовлетворительно опи-

сывает экспоненциальная функция ^{8/} в интервале значений кинетических энергий протонов $E_k = 30 \div 150 \text{ МэВ}$ в π^+ -Xe взаимодействиях при $2,34 \text{ ГэВ/с}$ и в интервале энергий протонов $E_k = 30 \div 200 \text{ МэВ}$ для π^- -Xe взаимодействий при $3,5 \text{ ГэВ/с}$. В последнем случае лучшее согласие аппроксимирующей функции с экспериментальными данными получается в интервале $E_k = 50 \div 200 \text{ МэВ}$,

в то время как при $E_k < 50 \text{ МэВ}$ значения $E_t \frac{d^3\sigma}{dp^3}$ больше, чем это следует из формулы ^{3/}. Такое поведение эффективного сечения предусматривает модель кумулятивной эмиссии, предполагающая рассеяние на когерентной флюктуации ядерной материи ^{3/}.

2. Параметр наклона ϵ_0 функции ^{3/} не проявляет статистически значимой зависимости от угла эмиссии Θ_p протонов при $\cos \Theta_p \leq 0$ и быстро растет при уменьшении Θ_p в интервале $\cos \Theta_p > 0$, что может быть связано с влиянием прямых ядерных процессов. Значения ϵ_0 для протонов из реакции π^+ -Xe при $2,34 \text{ ГэВ/с}$ во всей области изменения $\cos \Theta_p$ меньше, чем в π^- -Xe взаимодействиях при $3,5 \text{ ГэВ/с}$, в среднем не менее чем на

~10%. В сопоставлении с результатами других экспериментов^{/1/} это может свидетельствовать о том, что явление ядерного скейлинга в случае средних и тяжелых ядер устанавливается при несколько больших значениях энергии взаимодействия /~ 3 ГэВ/, что не противоречит соответствующим теоретическим предсказаниям^{/3/}.

3. Параметр ϵ_0 не зависит от числа k испускаемых протонов в широком интервале значений k , за исключением минимальных, при которых доминируют прямые ядерные процессы.

В заключение следует отметить, что возможность единого описания энергетических спектров протонов, испускаемых в области фрагментации ядра-мишени независимо от углов их эмиссии, может указывать на существование одного механизма образования таких протонов - механизма распадного характера. В этом отношении кажется более предпочтительным подход, предполагающий предравновесную эмиссию из возбуждения многочастичных состояний в ядре^{/8,9/}.

Литература

1. Т.А.Лексин. Ядерный скейлинг. В кн. Элементарные частицы. Третья школа физики ИТЭФ. Выпуск 2. Атомиздат, М., 1975, стр. 5-17.
2. А.М.Балдин. Доклад на VI Международной конференции по физике высоких энергий и структуре ядра. Санта-фе, США, 9 июня 1975 г. Препринт ОИЯИ, Е2-9138, Дубна, 1975.
3. А.В.Ефремов. Препринт ОИЯИ, Е2-9529, Дубна, 1976.
4. А.В.Арефьев и др. Препринт ИТЭФ-109, Москва, 1975.
5. А.М.Балдин и др. Препринт ОИЯИ, 1-8249, Дубна, 1974.
6. Сотрудничество. Препринт ОИЯИ, Р1-8566, Дубна, 1975.
7. А.М.Балдин. Краткие сообщения по физике АН СССР. ФИАН, 1, 36 /1971/.
8. J.J.Griffin. Phys.Rev.Lett., 17, 478 /1966/; M.Blann, in Proc. of the Europhys. Study Conf. on Intermediate Processes in Nuclear Reactions, Plitvice Lakes,

Yugoslavia (aug. 31- Sept. 5, 1972). Ed. by N.Cindro, P.Kuliscic, T.Meyer-Kuckuk.

9. В.Д.Тонеев. Препринт ОИЯИ, Р4-9483, Дубна, 1976; Препринт ОИЯИ, Е4-9489, Дубна, 1976.
10. Б.Словинский, З.Стругальский. Препринт ОИЯИ, Р1-9614, Дубна, 1976.
11. Л.С.Охрименко, Я.Плюта, Б.Словинский, З.Стругальский. Препринт ОИЯИ, Р1-9692, Дубна, 1976.
12. Ю.А.Будагов и др. Препринт ОИЯИ, Р1-8977, Дубна, 1975.
13. G.Jacob, Th.A.J.Maris. Rev.Mod.Phys., 38, No. 1, 121 /1966/; 45, No. 1, 6 /1973/.
14. Б.Словинский. ЯФ, 19, вып. 3, 495 /1974/.
15. Б.Словинский, Б.Среднява, З.Стругальский. Препринт ОИЯИ, Р1-9350, Дубна, 1975; Препринт ОИЯИ, Р1-9413, Дубна, 1975.

Рукопись поступила в издательский отдел
21 мая 1976 года.