

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

2414/83

10/5-83

P1-83-68

З.Стругальский, А.Т.Абросимов, К.Восинская,
А.Н.Ильина, К.Миллер, Л.С.Охрименко,
Т.Павляк, Я.Плюта, В.Пэрыт, Б.Среднява

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
СТОЛКНОВЕНИЙ ПИОН-КСЕНОН ПРИ 3,5 ГэВ/с
Энергетические и импульсные спектры
испущенных протонов.

1. ВВЕДЕНИЕ

В данной работе представлены результаты исследований энергетических и импульсных спектров быстрых протонов, с кинетическими энергиями больше 20 МэВ, испускаемых в столкновениях пион-ксенон при импульсе 3,5 ГэВ/с. Эти исследования были приняты с целью получения сведений о связи наблюдаемой эмиссии протонов с процессом рождения частиц. Активно изучались случаи столкновений пион-ксенон, сопровождаемые интенсивным испусканием быстрых нуклонов без рождения частиц. Полученные и опубликованные ^{/1-3/} результаты позволяют сделать вывод о независимости процессов эмиссии протонов и рождения частиц ^{/4,5/}. Однако необходимо дальнейшее подтверждение этого факта. Кроме того, информация экспериментального характера об испускании протонов нужна для разработки метода использования ядра-мишени в качестве детектора в физике высоких энергий ^{/5-6/}. Полученные в настоящей работе экспериментальные данные полезны также для количественного анализа процесса испускания нуклонов, сопровождающих столкновение адрон-ядро ^{/5/}.

2. ЭКСПЕРИМЕНТ

Использованные в настоящей исследовании случаи столкновений адрон-ядро были зарегистрированы в 180-литровой ксеноновой пучковой камере ^{/8/} размерами 103 x 44 x 40 см³, без магнитного поля.

2.1. Пучок и облучение

Камера облучалась в пучке отрицательно заряженных пионов с импульсом 3,5 ГэВ/с. Через утонченную часть передней стенки камеры размером 11 x 22 мм², расположенную по центру камеры перпендикулярно к ее оси вдоль длины, впускалось не более пяти пионов за цикл. Такие условия облучения при исследованиях с помощью данной камеры позволяют хорошо воспроизвести пространственную картину событий.

2.2. Просмотр снимков и измерения

В ходе двукратного просмотра камерных снимков отбирались случаи взаимодействий пион-ксенон, которые наблюдались в центральном объеме камеры заданного размера, определяемого возможностью идентификации вторичных частиц с достаточно высокой эффективностью. Если прямолинейный след первичного пиона резко отклонялся на угол не меньше 2° или переходил в пучок расходя-

щихся треков, или же оканчивался в камере, то этот случай рассматривался как столкновение пиона с ядром атома ксенона, без сопровождения или в сопровождении вторичных частиц. Эффективность обнаружения случаев столкновения пион-ксенон, зарегистрированных в камере, составила 99,5%.

Вторичные нейтральные пионы любой кинетической энергии, включая нулевую, регистрируются в ксеноновой пузырьковой камере по хорошо наблюдаемым следам электронно-позитронных пар конверсии и по электронно-фотонным ливням от гамма-квантов, появляющихся при распадах нейтральных пионов.

Минимальная энергия гамма-квантов, обнаруживаемых с постоянной эффективностью, составляет около 5 МэВ. Положительно заряженные пионы, остановившиеся в камере, идентифицировались по характерной последовательности следов, оставляемых продуктами распада.

Следы заряженных частиц длиной больше 5 мм хорошо наблюдаемы в камере и обнаруживаются с эффективностью близкой 100%. Этой минимальной длине соответствуют кинетические энергии регистрируемых протонов, составляющие примерно 20 МэВ, и заряженных пионов, составляющие примерно 10 МэВ. Наблюдаемы и следы меньшей длины, однако эффективность наблюдения в таком случае не была постоянной.

Протоны с кинетическими энергиями от 20 до ~200 МэВ, вторичные пионы: положительно заряженные с кинетическими энергиями от 0 до ~100 МэВ, и нейтральные пионы с любой кинетической энергией, включая 0 МэВ, регистрируются в нашей камере с эффективностью, близкой к 100% в полном телесном угле 4π .

Среди зарегистрированных событий приблизительно 5% составляют случаи, в которых следы остановившихся отрицательно заряженных пионов и протонов неразличимы. От числа всех зарегистрированных протонных следов это составляет приблизительно 2%. Приведенные оценки получены при анализе данных экспериментов, выполненных с помощью фотоэмульсий, облученных отрицательно заряженными пионами ^{9/}. Содержание следов дейтерия, трития, альфа-частиц среди следов, отнесенных при идентификации к следам протонов, по оценкам, составляет не больше 10%, но эти оценки относятся к случаям, когда след короче 5 мм. В настоящем эксперименте анализировались частицы, оставившие следы длиннее 5 мм.

Точность определения энергии протонов из зависимости пробег-энергия ^{10/} составляет 10% для протонов с кинетической энергией 15 МэВ и 1% для протонов с кинетической энергией 200 МэВ. Углы испускания протонов измерялись с ошибкой ~1-8°. В большинстве случаев средняя точность измерения энергии протонов - 4%, ошибка в определении угла их испускания - около 3°. Точность определения этим способом энергий заряженных пионов почти такая же. Точность определения энергий нейтральных пионов ^{11/} составляет в среднем около 12%. Ошибка определения угла испускания пиона, заряженного или нейтрального, составляет около 1°.

Было оценено ^{1-8/}, что свыше 90% всех испущенных протонов останавливается в камере.

Таким образом, при идентификации вторичные частицы распределялись по следующим группам: а/ заряженные вторичные частицы, остановившиеся в камере без взаимодействия или распада. Они были отнесены к протонам; б/ заряженные вторичные продукты, взаимодействующие со средой в камере или покидающие ее. Они считались заряженными пионами; в/ положительно заряженные пионы, останавливающиеся в камере; г/ нейтральные пионы или частицы, распадающиеся на гамма-кванты, инициирующие электронно-позитронные пары или ливни. Следует отметить, что среди частиц, зачисленных к группе а/, имеется: /1-2/% примеси отрицательно заряженных пионов и около 10% примеси более тяжелых частиц ^{12-13/}; в группе б/ примесь протонов составляет /10 ÷ 20/%.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

В результате просмотра 75000 снимков было отобрано 6301 событие. В среднем на одно взаимодействие испускается $\langle n_p \rangle = 2,94$ протона. Полный набор анализируемых протонов составляет 18351.

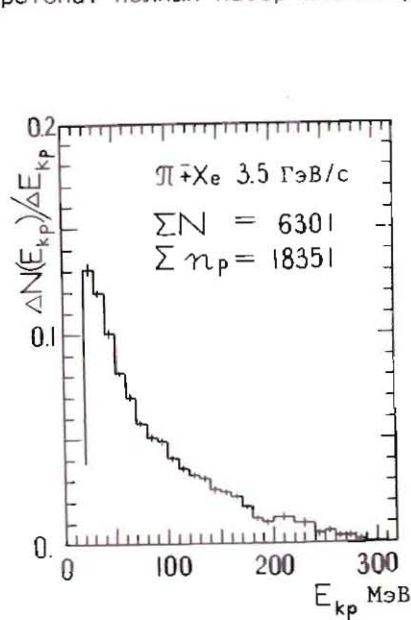


Рис.1. Спектр кинетических энергий протонов $N(E_{kp})$, испущенных из ядра-мишени при столкновениях отрицательно заряженных пионов с импульсом 3,5 ГэВ/с с ядрами ксенона.

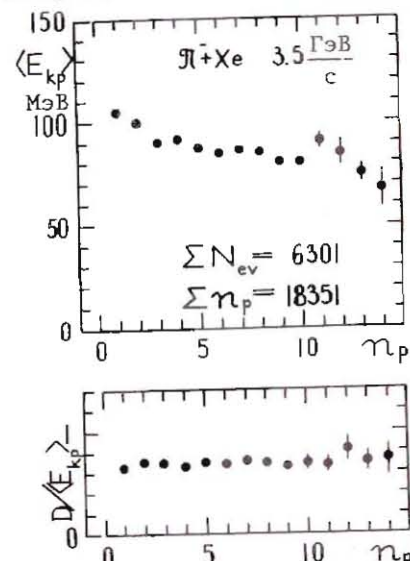


Рис.2. Зависимости средней кинетической энергии протонов $\langle E_{kp} \rangle$ и соответствующей нормированной дисперсии $D/\langle E_{kp} \rangle$ от кратности n_p протонов, испущенных из ядра-мишени при столкновениях отрицательно заряженных пионов с импульсом 3,5 ГэВ/с с ядрами ксенона.

На рис.1-11 приведены результаты эксперимента: энергетические и импульсные спектры для полного набора событий 6301 и отдельно для классов событий с различным числом протонов $n_p = 1, 2, 3, \dots, 8, \geq 9$; распределения для протонов, испущенных в переднюю "F" и заднюю "B" полусферы.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

4.1. Энергетические спектры испущенных протонов

4.1.1. Кинетическая энергия испущенных протонов - не больше 300 МэВ. Энергетический спектр гладкий /рис.1/. Среднее значение кинетической энергии $\langle E_{kp} \rangle = 89,2$ МэВ.

4.1.2. Средняя кинетическая энергия протонов $\langle E_{kp} \rangle$ слабо меняется с ростом кратности n_p от $\langle E_{kp} \rangle = 105,8$ МэВ в случае $n_p = 1$ до $\langle E_{kp} \rangle = 84,7$ МэВ при $n_p = 8$ /рис.2/.

4.1.3. Распределения протонов по кинетическим энергиям почти независимы от кратности протонов n_p /рис.2 и рис.4/, хотя не исключено, что в спектрах протонов с разными кратностями, например, при $n_p = 7$, наблюдаются нерегулярности в диапазоне энергий $E_{kp} = 80 \div 110$ МэВ и $130 \div 160$ МэВ /рис.4/.

4.1.4. Энергетические спектры протонов, испущенных в переднюю и заднюю полусферы, существенно различны /рис.3/.

4.2. Распределения по продольному импульсу протонов

4.2.1. Значения продольного импульса P_{Lp} протонов находятся в интервале: -600 МэВ/с \div $+800$ МэВ/с /рис.5/. Среднее значение продольного импульса $\langle P_{Lp} \rangle = 110,4$ МэВ/с. Как видно из рисунка, наблюдается нерегулярность в спектре продольных импульсов в диапазоне значений $P_{Lp} 120 \div 240$ МэВ/с.

4.2.2. Зависимость среднего значения продольного импульса $\langle P_{Lp} \rangle$ испущенных протонов от кратности протонов имеет довольно сложную картину. В диапазоне кратностей $n_p 3 \div 8$ средний продольный импульс $\langle P_{Lp} \rangle \approx 100$ МэВ/с, при $n_p 1 \div 2$. Значения $\langle P_{Lp} \rangle > 100$ МэВ/с, а при $n_p \geq 9$ $\langle P_{Lp} \rangle \approx 100$ МэВ/с /рис.6/.

4.2.3. При изменении кратности испущенных протонов форма распределения продольного импульса меняется слабо /рис.7/. В области значений $P_{Lp} \approx 120 \div 300$ МэВ/с наблюдается нерегулярность.

4.3. Распределения по поперечному импульсу протонов

4.3.1. Распределения по поперечному импульсу P_{Tp} протонов находятся в интервале значений от 0 до 850 МэВ/с, среднее значение поперечного импульса $\langle P_{Tp} \rangle = 300,8$ МэВ/с /рис.8/.

4.3.2. Среднее значение поперечного импульса протонов $\langle P_{Tp} \rangle$

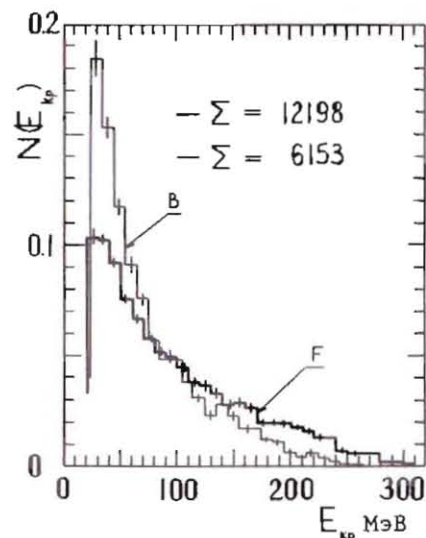


Рис.3. Спектры кинетических энергий протонов, испущенных в столкновениях пион-ксенон при 3,5 ГэВ/с, когда протоны испущены в переднюю полусферу "F" и в заднюю полусферу "B". Σ - полное число протонов в гистограмме.

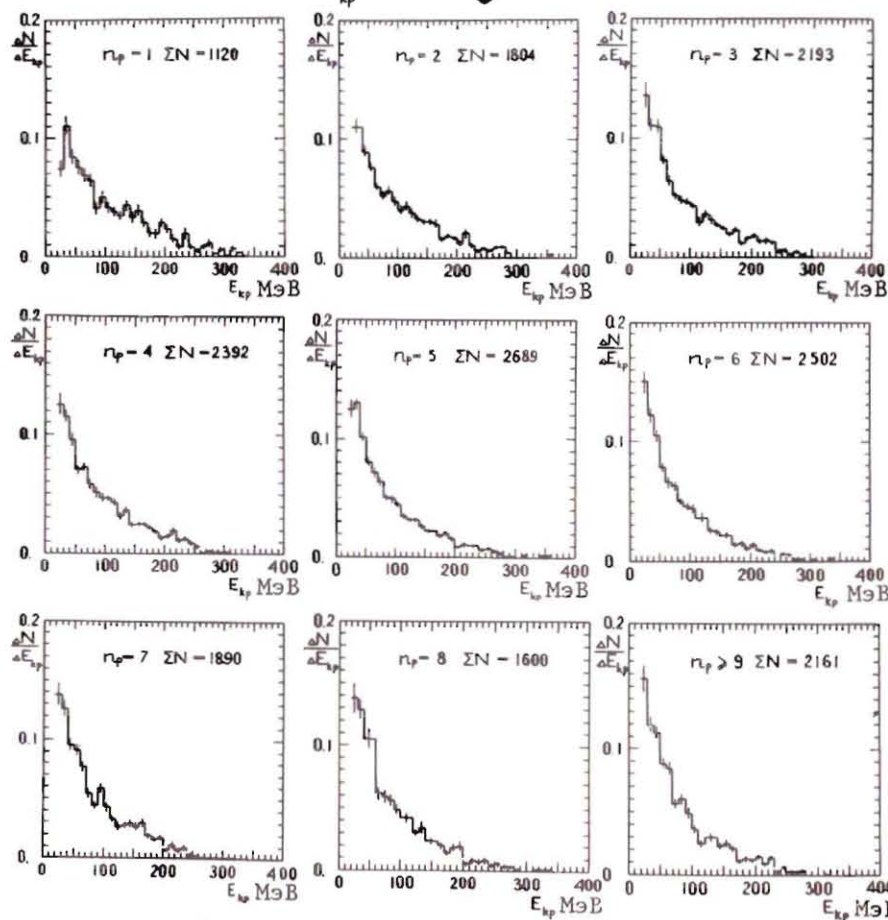


Рис.4. Спектры кинетических энергий протонов $\Delta N/\Delta E_{kp}$ в наборах случаев столкновений пион-ксенон при 3,5 ГэВ/с с разными кратностями испущенных протонов $n_p = 1, 2, \dots, 8, \geq 9$; ΣN - число протонов в данном наборе.

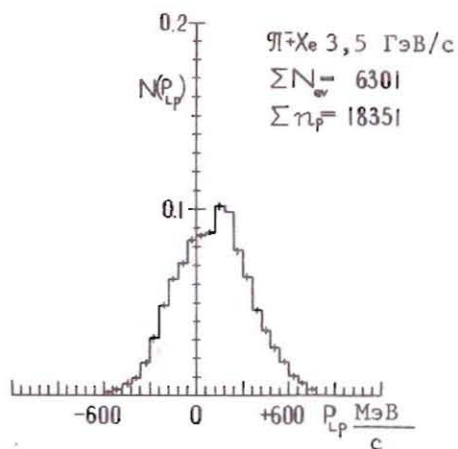


Рис.5. Распределение $N(P_{Lp})$ продольных импульсов протонов P_{Lp} в столкновениях пион-ксенон при 3,5 ГэВ/с; ΣN - полное число протонов в гистограмме.

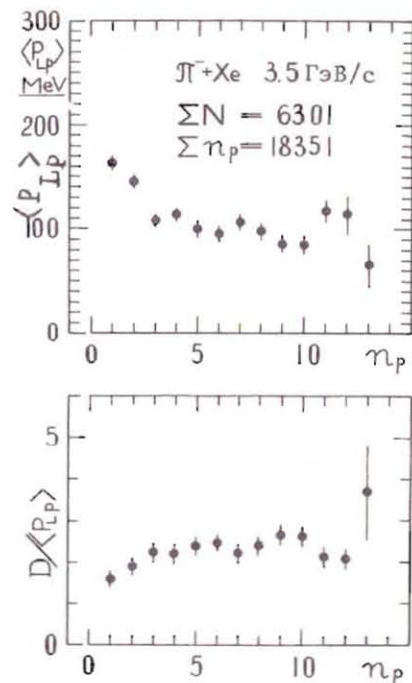


Рис.6. Зависимость среднего продольного импульса протонов $\langle P_{Lp} \rangle$ и соответствующей нормированной дисперсии $D/\langle P_{Lp} \rangle$ от кратности n_p протонов, испущенных в столкновениях пион-ксенон при 3,5 ГэВ/с.

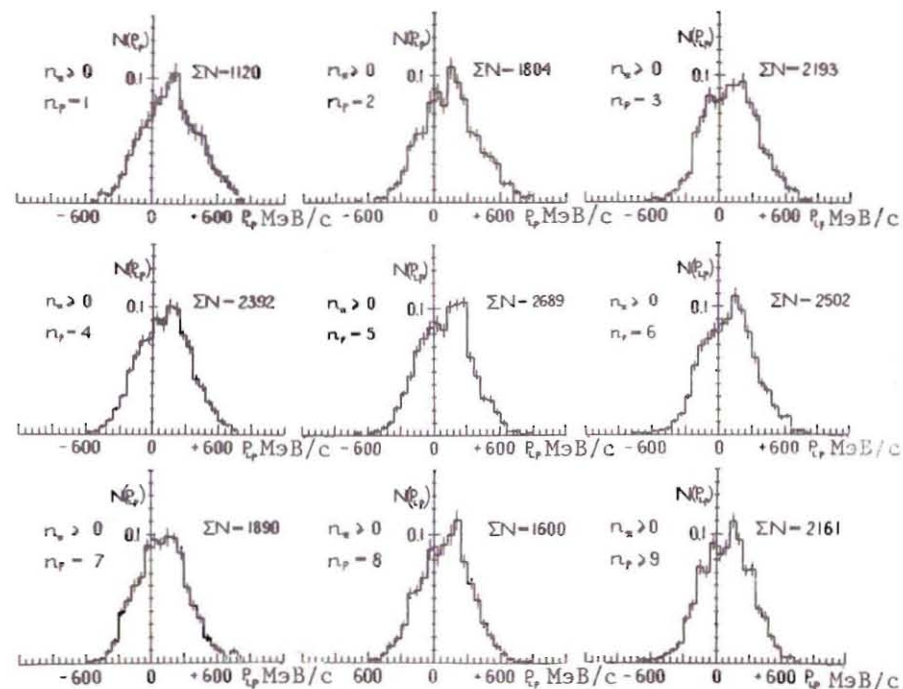


Рис.7. Распределения $N(P_{Lp})$ продольных импульсов P_{Lp} протонов в наборах случаев столкновений пион-ксенон при 3,5 ГэВ/с с разными кратностями $n_p = 1, 2, \dots, 8, \geq 9$ протонов; ΣN - полное число протонов в данной гистограмме, n_π - число пионов, рожденных в случаях, включенных в гистограмму.

слабо зависит от кратности протонов n_p /рис.9/. Как видно из рисунка, отношение дисперсии к среднему поперечному импульсу $D/\langle P_{Tp} \rangle$ практически постоянно и не зависит от кратности протонов n_p .

4.3.3. Распределения по поперечному импульсу протонов, испущенных в переднюю и заднюю полусферы, различны /рис.10/.

4.3.4. При изменении кратности испущенных протонов $n_p = 1, 2, 3, \dots, 8, \geq 9$ распределения по поперечному импульсу практически одинаковы /рис.11/, хотя не исключено существование некоторых нерегулярностей.

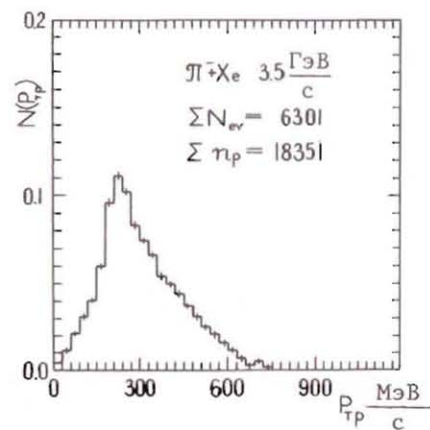


Рис.8. Распределение $N(P_{Tp})$ поперечных импульсов P_{Tp} протонов, испущенных в столкновениях пион-ксенон, при 3,5 ГэВ/с, ΣN - полное число протонов в гистограмме.

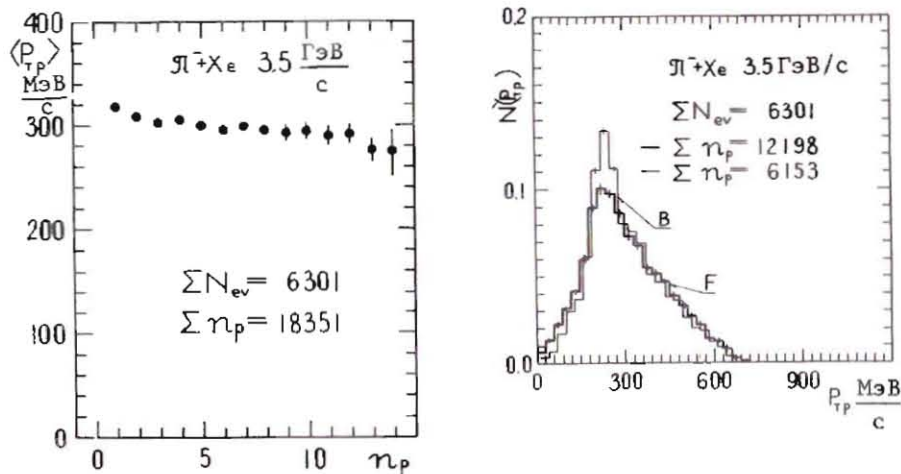


Рис.9. Зависимости среднего поперечного импульса протонов $\langle P_{Tr} \rangle$ и соответствующей нормированной дисперсии $D / \langle P_{Tr} \rangle$ от кратности n_p протонов, испущенных в столкновениях пион-ксенон, при 3,5 ГэВ/с.

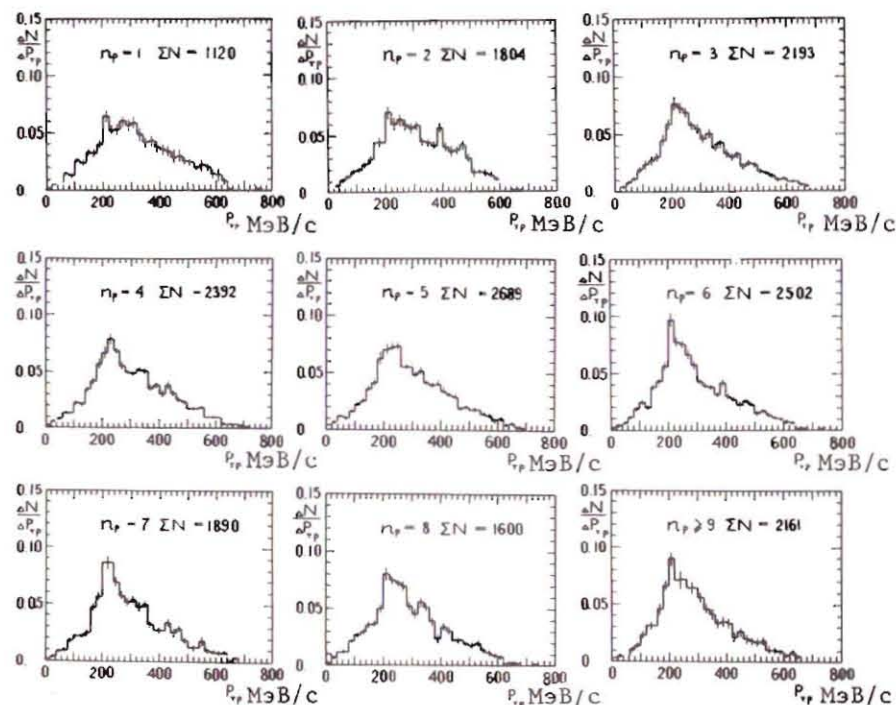


Рис.10. Распределение поперечных импульсов протонов P_{Tr} , испущенных в переднюю "F" и заднюю "B" полусферы, в столкновениях пион-ксенон, при 3,5 ГэВ/с; Σn_p - число протонов в гистограмме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стругальский З., Плюта Я. ЯФ, 1974, 27, с. 504.
2. Стругальский З. и др. Е1-11975, Дубна, 1978.
3. Стругальский З., Павляк Т., Плюта Я. ОИЯИ, Е1-82-718, Дубна, 1982.
4. Стругальский З. ОИЯИ, Е1-12522, Дубна, 1979.
5. Стругальский З. ОИЯИ, Е1-81-154; Е1-81-155; Е1-81-156; Е1-81-576; Е1-81-577, Дубна, 1981; Е1-82-287; Е1-82-401, Дубна, 1982.
6. Стругальский З. ОИЯИ, Е1-80-548, Дубна, 1980.
7. Стругальский З., Павляк Т. ОИЯИ, Е1-81-378, Дубна, 1981.
8. Кузнецов Е.В. и др. Приборы и техника эксперимента, 1970, 2, с. 56.
9. Menon M.G.K., Muirhead H., Rochot O. Phil.Mag., 1950, 41, p. 583.
10. Канарек Т., Стругальский З. ОИЯИ, 1-3320, Дубна, 1967.
11. Ивановская И.А. и др. Приборы и техника эксперимента, 1961, 6, с. 26; Стругальский З. ОИЯИ, P13-6406, Дубна, 1972.
12. Барашенков В.С., Тонеев В.Д. Взаимодействия частиц и ядер высоких энергий с ядрами. Атомиздат, М., 1972.
13. Powell C.F., Fowler P.M., Perkins D.N. Study of the Elementary Particles by the Photographic Methods, London-New York-Paris-Los Angeles, 1959.

Рукопись поступила в издательский отдел
7 февраля 1983 года.

Рис.11. Распределение поперечных импульсов протонов в наборах случаев столкновений пион-ксенон при 3,5 ГэВ/с с разными кратностями испущенных протонов $n_p = 1, 2, \dots, 8, \geq 9$; ΣN - число протонов в наборе, $\Delta N / \Delta P_{Tr}$ - число ΔN протонов на интервал значений импульсов ΔP_{Tr} .

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

ДЗ-11787	Труды III Международной школы по нейтронной физике. Алушта, 1978.	3 р. 00 к.
Д13-11807	Труды III Международного совещания по пропорциональным и дрейфовым камерам. Дубна, 1978.	6 р. 00 к.
	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
Д1,2-12036	Труды V Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1978	5 р. 00 к.
Д1,2-12450	Труды XII Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Приморско, НРБ, 1978.	3 р. 00 к.
	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
Д11-80-13	Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979	3 р. 50 к.
Д4-80-271	Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979.	3 р. 00 к.
Д4-80-385	Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980.	5 р. 00 к.
Д2-81-543	Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981	2 р. 50 к.
Д10,11-81-622	Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980	2 р. 50 к.
Д1,2-81-728	Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 60 к.
Д17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
Д1,2-82-27	Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981.	3 р. 20 к.
Р18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
Д2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
Д9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
ДЗ,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Индекс	Тематика
1.	Экспериментальная физика высоких энергий
2.	Теоретическая физика высоких энергий
3.	Экспериментальная нейтронная физика
4.	Теоретическая физика низких энергий
5.	Математика
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия
7.	Физика тяжелых ионов
8.	Криогеника
9.	Ускорители
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных
11.	Вычислительная математика и техника
12.	Химия
13.	Техника физического эксперимента
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях
16.	Дозиметрия и физика защиты
17.	Теория конденсированного состояния
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники
19.	Биофизика

Стругальский З. и др.

P1-83-68

Экспериментальные исследования столкновений пион-ксенон при 3,5 ГэВ/с.
Энергетические и импульсные спектры испущенных протонов

Исследуются энергетические и импульсные спектры "быстрых" протонов, с кинетическими энергиями от ~20 до ~400 МэВ. Показано, что: 1/ средняя кинетическая энергия испущенных протонов слабо меняется с ростом их кратности; 2/ распределения протонов по кинетическим энергиям почти независимы от кратности; 3/ значения продольных импульсов протонов находятся в интервале - 600 +800 МэВ/с; 4/ форма распределения продольных импульсов слабо зависит от кратности испущенных протонов; 5/ значения поперечных импульсов протонов находятся в интервале 0 ÷ 850 МэВ/с; 6/ среднее значение поперечного импульса протонов 300,8 МэВ/с; 7/ распределения по поперечному импульсу протонов практически не зависят от кратности протонов.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

Strugalski Z. et al.

P1-83-68

Experimental Study of the Pion-Xenon Nucleus Collisions at 3.5 GeV/c
Momentum. Energy and Momentum Spectra of Emitted Protons

Energy and momentum spectra of "fast" protons, of kinetic energy from about 20 to about 400 MeV, are studied. It is shown that: 1) average kinetic energy of the emitted protons weakly changes with the proton multiplicity increase; 2) kinetic energy spectra are almost independent of the proton multiplicity; 3) values of the proton longitudinal momenta lie within the -600 to + 800 MeV/c range; 4) the shape of the longitudinal proton momentum distribution depends weakly on the proton multiplicity; 5) proton transverse momentum values lie within the 0-850 MeV/c range; 6) average value of the proton transverse momentum is 300,8 MeV/c; 7) proton transverse momentum distributions are almost independent of the proton multiplicity.

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

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод О.С.Виноградовой.