

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

3341 / 83

24/6-83
P1-83-202

Б.Словинский*, Э.Мулас, С.Вокал

СВОЙСТВА
УГЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПРОТОНОВ,
ИСПУСКАЕМЫХ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ
 π -МЕЗОНОВ И ПРОТОНОВ
С АТОМНЫМИ ЯДРАМИ
В ИНТЕРВАЛЕ ЭНЕРГИЙ 1,6-9 ГэВ

* Институт физики Варшавского технического университета.

1983

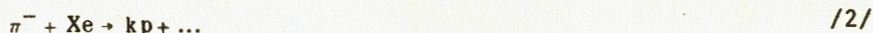
1. ВВЕДЕНИЕ

Угловые распределения протонов промежуточных энергий $/E \geq 30 \text{ МэВ}/$, испускаемых в столкновениях быстрых адронов с атомными ядрами, содержат важную информацию о механизме взаимодействий адрон-ядро. Экспериментальное изучение этих спектров в ряде случаев дает возможность решить вопрос о пригодности той или иной модели взаимодействия, а также получить компактное и удобное для практического использования феноменологическое описание угловой зависимости сечения образования протонов. Наряду с этим такое описание весьма полезно при изучении еще более сложных явлений - столкновений релятивистских ионов, а также при решении важных практических задач/см., например, /1/. Тем не менее ввиду существенных методических ограничений вопросу о распределении по углам эмиссии протонов уделяется значительно меньше внимания, чем изучению некоторых других характеристик этих частиц.

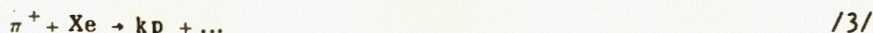
В настоящей работе приведены результаты анализа угловых спектров протонов, испускаемых в следующих реакциях:



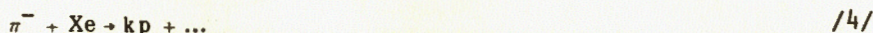
при $2,34 \text{ ГэВ/с}$, $k = 1 \div 9$, $E = /50-150/ \text{ МэВ}$,



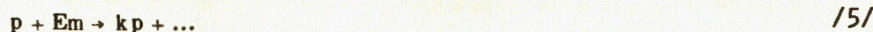
при 9 ГэВ/с , $k = 1 \div 16$, $E = /30-150/ \text{ МэВ}$. Использованы также ранее полученные аналогичные экспериментальные результаты, касающиеся взаимодействий



при $2,34 \text{ ГэВ/с}$, $k = 1 \div 10$, $E = /30 \div 150/ \text{ МэВ}^{/2/}$,



при $3,5 \text{ ГэВ/с}$, $k = 1 \div 14$, $E = /30-200/ \text{ МэВ}^{/2/}$,



при $4,5 \text{ ГэВ/с}$, $k = 1 \div 16$, $E = /26-400/ \text{ МэВ}^{/3/}$ и 7 ГэВ/с , $E = /30-400/ \text{ МэВ}^{/4/}$.

Целью данной работы является исследование возможности единого описания угловых распределений протонов из реакций /1/-/5/ при различных значениях числа k и сопоставление экспериментальных данных с результатами расчета по каскадно-испарительной модели /КИМ/.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

В качестве экспериментального материала использованы, как и ранее^{/5/}, снимки с 26-литровой ксеноновой пузырьковой камеры ОИЯИ /далее: КПК/, облученной в пучках π -мезонов с импульсом 9 ГэВ/с и протонов с импульсом 2,34 ГэВ/с, а также экспериментальные данные, касающиеся взаимодействий /3/-/5//^{2-4/}. Методические вопросы, относящиеся к анализу реакций /1/-/4/, описаны в^{/2,6/}. Методика исследования взаимодействий /5/ изложена в^{/3/}. В табл.1 приведены числа проанализированных случаев взаимодействий /1/ и /5/ и числа сопровождающих их протонов.

Таблица 1

Числа N проанализированных случаев взаимодействий /1/-/5/ и числа N_p протонов, сопровождающих эти взаимодействия

Реакция	ρ /ГэВ/с/	N	N_p
$p + Xe \rightarrow kp + \dots$	2,34	608	1014
$\pi^+ + Xe \rightarrow kp + \dots$ ^{/2/}	2,34	938	2251
$\pi^- + Xe \rightarrow kp + \dots$ ^{/2/}	3,5	1364	3682
$p + Em \rightarrow kp + \dots$ ^{/3/}	4,5	2526	7058
$\pi^- + Xe \rightarrow kp + \dots$	9	2066	5675
$p + Em \rightarrow kp + \dots$ ^{/4/}	7	1769	нет данных

3. ЗАВИСИМОСТЬ УГЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПРОТОНОВ ОТ ИХ МНОЖЕСТВЕННОСТИ

Полученные из эксперимента угловые распределения протонов, испускаемых в реакциях /1/-/5/, можно описать функцией

$$d\sigma(k, E) / d \cos \theta = B \cdot \rho(\cos \theta | k, T), \quad /6/$$

где условное распределение $\rho(\cos \theta | k, T)$ нормировано на единицу:

$$\int_{-\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}} \rho(\cos \theta | k, T) d \cos \theta = 1; \sigma(k, E) - \text{эффективное сечение эмиссии во}$$

Таблица 2

Численные значения параметра $A(k, T)$ формулы /7/, описывающей угловые распределения протонов; A_s - коэффициент асимметрии этих распределений, χ_n^2/n и (χ_n^2/n) - значения тестовой статистики, относящиеся к гипотезе /7/ и к сравнению с КИМ соответственно

Реакция	K	A(K, T)	A_s	χ_n^2/n	$(\chi_n^2/n)_{КИМ}$
$pXe \rightarrow kp + \dots$ 2,34 ГэВ/с	I;2	0,79 \pm 0,12	2,2 \pm 0,3	2,2/3	4,4/4
	3;4	0,66 \pm 0,10	1,9 \pm 0,2	3/3	1,6/4
	5+9	0,57 \pm 0,14	1,7 \pm 0,1	15/3	6,5/4
$E=(30-150) \text{ МэВ}^*$	I+9	0,74 \pm 0,09	2,0 \pm 0,2	6,7/3	7,1/4
$\pi^+Xe \rightarrow kp + \dots$ ^{/2/} 2,34 ГэВ/с	I+4	0,93 \pm 0,04	2,4 \pm 0,1	12,7/8	6,4/9
	8+10	0,60 \pm 0,10	1,9 \pm 0,2	3,1/8	нет данных
	$E=(30-150) \text{ МэВ}$	I+4, 8-10	0,78 \pm 0,05	2,2 \pm 0,1	4,9/8
$\pi^-Xe \rightarrow kp + \dots$ ^{/2/} 3,5 ГэВ/с	I+4	0,75 \pm 0,10	2,2 \pm 0,2	2,2/8	4/10
	5+7	0,88 \pm 0,10	2,2 \pm 0,2	2,1/8	7/10
	8+14	0,60 \pm 0,07	1,9 \pm 0,1	3,8/8	11/10
$E=(30-200) \text{ МэВ}$	I+14	0,73 \pm 0,07	2,1 \pm 0,15	2,4/8	5/10
$pEm \rightarrow kp + \dots$ ^{/3/} 4,5 ГэВ/с	I+3	1,20 \pm 0,03	3,3 \pm 0,1	34/8	16,4/9
	4+6	0,98 \pm 0,04	2,8 \pm 0,1	29/8	10/9
	7+16	0,92 \pm 0,03	2,7 \pm 0,1	15/8	11,5/9
$E=(26-400) \text{ МэВ}$	I+16	0,96 \pm 0,02	2,8 \pm 0,05	12,5/8	10,3/9
$pEm \rightarrow Ng^+ \dots$ ^{/4/} 7 ГэВ/с	все	0,96 \pm 0,04	2,7 \pm 0,1	3,8/4	нет данных
	$E=(30-400) \text{ МэВ}$				
$\pi^-Xe \rightarrow kp + \dots$ 9 ГэВ/с	I+3	0,74 \pm 0,06	2,0 \pm 0,1	3,6/8	17,4/9
	4+6	0,60 \pm 0,04	1,8 \pm 0,1	3,5/8	9,8/9
	7+16	0,55 \pm 0,05	1,7 \pm 0,1	5,1/8	6,8/9
$E=(30-150) \text{ МэВ}$	I+16	0,71 \pm 0,03	1,9 \pm 0,05	3,7/8	9,9/9

*/ Экспериментальное распределение дополнено расчетами по КИМ в интервале $E = /30-50/ \text{ МэВ}$.

взаимодействиях /1/-/5/ к протонов с энергией E , заключенной в соответствующем интервале значений; θ - угол эмиссии протона в лабораторной системе отсчета /далее: л.с./; k - число вторичных протонов с энергией E ; T - кинетическая энергия адрона, инициирующего взаимодействие. В качестве конкретного вида функции $\rho(\cos\theta|k, T)$ взята экспоненциальная зависимость

$$\rho(\cos\theta|k, T) = c \exp[-A(k, T) \cos\theta], \quad /7/$$

которая появляется, в частности, в фейрбольной модели /см., например, /7/ /, а также обсуждается в других работах /например, /8,9/ /. Параметр $A(k, T)$ определяется при статистическом анализе экспериментальных данных. Параметр c в силу нормировки равен $c = A e(e^{-2} - 1)^{-1} \approx 0,43 \cdot A$. Численные значения параметра A приведены в табл.2. Там же даны значения тестовой статистики χ^2/n при n степенях свободы, соответствующие гипотезе /7/, и значения $(\chi^2/n)_{\text{КИМ}}$, полученные при сравнении экспериментальных результатов с расчетами по КИМ /10/. Табл.2 содержит также значения коэффициента асимметрии A исследуемых угловых распределений протонов, причем

$$A_s = \frac{N_p(\cos\theta \geq 0)}{N_p(\cos\theta < 0)}, \quad /8/$$

где $N_p(\cos\theta \geq 0)$ и $N_p(\cos\theta < 0)$ - числа протонов, испускаемых вперед и назад в л.с. соответственно.

Можно заметить, что функция /7/ удовлетворительно описывает экспериментальные данные, полученные на однородной ядерной мишени. Видно также, что коэффициент $A(k, T)$, усредненный по k , практически не зависит от кинетической энергии T частицы, вызывающей взаимодействие с ядрами ксенона в интервале значений энергий $T = /1,6 \pm 9/$ ГэВ. Аналогичное свойство угловых распределений протонов промежуточных энергий /так называемых серых частиц/ установлено в случае столкновений протонов и π -мезонов с ядрами эмульсии в широком интервале энергий первичных адронов: 2-400 ГэВ /9/. При увеличении числа k испускаемых протонов коэффициент $A(k, T)$ уменьшается не более чем на 30% в случае столкновения с ядрами ксенона.

В качестве иллюстрации на рис.1 и 2 приведены угловые распределения протонов из реакций /1/ и /2/ и соответствующие им аппроксимирующие кривые, полученные при помощи формулы /7/.

В ряде работ /например, /2,3,10/ / было отмечено, что КИМ, даже без учета некоторых более тонких эффектов, касающихся структуры ядра и взаимодействия адронов внутри ядерной мишени, удовлетворительно отображает основные процессы, доминирующие в адрон-ядерных взаимодействиях в интервале значений энергий несколько ГэВ. На рис.3-5 приведены результаты сравнения экспериментальных данных, касающихся угловых распределений протонов, испускаемых

Рис.1. Угловые распределения протонов с энергией $E = /50-150/$ МэВ, испускаемых во взаимодействиях $p + Xe \rightarrow kp + \dots$ при 2,34 ГэВ/с.

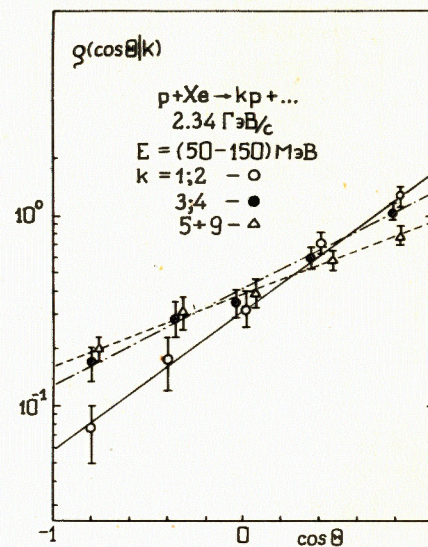


Рис.2. То же, что на рис.1, для реакции $\pi^- + Xe \rightarrow kp + \dots$ при 9 ГэВ/с. Энергия протонов $E = /30-150/$ МэВ.

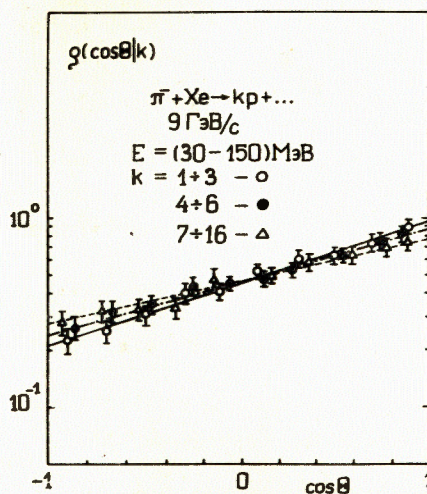


Рис.3. Угловые распределения протонов с энергией $E = /50-150/$ МэВ, испускаемых в столкновениях $p + Xe \rightarrow kp + \dots$ при 2,34 ГэВ/с: светлые кружки соответствуют экспериментальным данным, темными кружками отмечены результаты расчета по КИМ.





Рис.4. То же, что на рис.3, но для реакции $\pi^- + \text{He} \rightarrow \text{kp} + \dots$ при 9 ГэВ/с. Энергия протонов $E = /30-150/ \text{МэВ}$.



Рис.5. То же, что на рис.3, но для реакции $p + \text{Em} \rightarrow \text{kp} + \dots$ при 4,5 ГэВ/с^{3/}. Энергия протонов $E = /26+400/ \text{МэВ}$.

во взаимодействиях /1/, /2/ и /5/, с соответствующими расчетами по КИМ.

Численные значения тестовой статистики (χ^2/n) КИМ для сравнения экспериментальных данных с расчетами по КИМ приведены в табл.2. Некоторые расхождения, имеющие характер систематического смещения рассчитанных по КИМ распределений в сторону меньших углов рассеяния, можно отнести за счет наличия барионных резонансов, которых не учитывает данный вариант КИМ.

4. ВЫВОДЫ

Результаты выполненных в настоящей работе исследований угловых распределений протонов промежуточных энергий $/E \geq 30 \text{МэВ}/$, испускаемых во взаимодействиях /1/-/5/, можно суммировать следующим образом:

1. Экспоненциальная функция /7/ удовлетворительно описывает изучаемые угловые распределения в полном интервале углов эмиссии и при всех значениях числа k вторичных протонов.

2. Каскадно-испарительная модель /10/ в среднем правильно отражает вид изученных угловых спектров протонов. Последовательный учет барионных резонансов может улучшить это согласие.

В заключение авторы выражают благодарность В.С.Барашенкову и Ж.Ж.Мусульманбекову за предоставленную возможность выполнить расчеты угловых распределений протонов по КИМ /10/.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барашенков В.С. ЭЧАЯ, 1978, т.9, вып.5, с.871.
2. Охрименко Л.С. и др. ОИЯИ, P1-10977, Дубна, 1977; ЯФ, 1978, т.27, вып.6, с.1567.
3. Bubnov V.I. et al. Z.Phys.A., 1981, vol.302, No.2, p.133; Bannik B.P. et al. Czech.J.Phys., 1981, B31, p.490; Sumbera M., Vokal S. JINR, E1-81-436, Dubna, 1981.
4. Winzeler H. Nucl.Phys., 1965, vol.69, p.661.
5. Словинский Б., Мулас Э. ЯФ, 1981, т.34, с.777.
6. Мулас Э. и др. ОИЯИ, 10-80-612, Дубна, 1980.
7. Богацкая И.Г. и др. ЯФ, 1978, т.27, с.856.
8. Jacobsson B. et al. LUIP-CR-74-14, 1974.
9. Otterlund I. et al. Nucl.Phys., 1978, B142, p.445.
10. Барашенков В.С., Тонеев В.Д. Взаимодействия высокоэнергетических частиц и атомных ядер с ядрами. Атомиздат, М., 1972.

Рукопись поступила в издательский отдел
 31 марта 1983 года.

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.
Д1,2-12036	Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/	7 р. 40 к.
Д1,2-12450	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.
Д11-80-13	Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/	8 р. 00 к.
Д4-80-271	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

Словинский Б., Мулас Э., Вокал С. P1-83-202
Свойства угловых распределений протонов, испускаемых во взаимодействиях π -мезонов и протонов с атомными ядрами в интервале энергий 1,6-9 ГэВ

Изучены угловые распределения протонов промежуточных энергий $/E \geq 30$ МэВ/, испускаемых во взаимодействиях $pXe \rightarrow kp+...$ при 2,34 ГэВ/с $/k = 1 \pm 9/$ и $\pi^-Xe \rightarrow kp+...$ при 9 ГэВ/с $/k = 1 \pm 16/$. Полученные данные сравниваются с аналогичными данными для ядерных эмульсий и с расчетами по каскадно-испарительной модели /КИМ/. Показано, что использованный вариант КИМ особенно хорошо описывает спектры протонов в области углов эмиссии $\theta < 90^\circ$. Установлено, что угловые спектры протонов можно удовлетворительно аппроксимировать функцией $d\sigma/d\cos\theta \sim \exp(A\cos\theta)$ во всем интервале углов эмиссии и при всех значениях числа k вторичных протонов. Коэффициент A , усредненный по k , не зависит от кинетической энергии T падающей частицы в интервале значений $T = /1,6 \pm 9/$ ГэВ.

Работа выполнена в Лаборатории вычислительной техники и автоматизации ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1983

S/owinski B., Mulas E., Vokal S. P1-83-202
Properties of Angular Distributions of Protons Emitted in Interactions of π -Mesons and Protons with Atomic Nuclei in the 1.6-9 GeV Energy Range

Angular distributions of protons with the energy $E_p(30 \pm 150)$ MeV emitted in interactions $pXe \rightarrow kp+...$ at 2.34 GeV/c ($k=1 \pm 9$) and $\pi^-Xe \rightarrow kp+...$ at 9 GeV/c ($k=1 \pm 16$) has been measured. The obtained data are compared with corresponding results for nuclear emulsions and intranuclear cascade calculations. A good agreement of studied distributions with the above-mentioned intranuclear cascade model has been found in the $\theta < 90^\circ$ proton emission angle range. It is pointed out that proton angular spectra are satisfactorily described by a simple formula $d\sigma/d\cos\theta \sim \exp(A\cos\theta)$. In the kinetic energy range $T = (1.6 \pm 9)$ GeV the parameter of the approximating function does not depend on a primary hadron energy.

The investigation has been performed at the Laboratory of Computing Techniques and Automation, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1983

Перевод авторов.