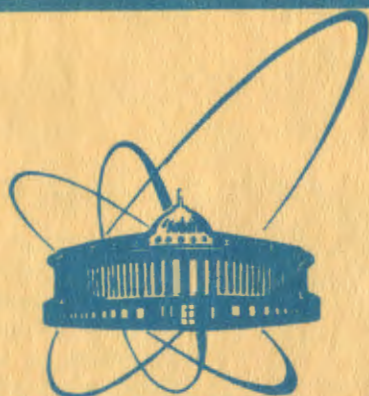


C-482



сообщения  
объединенного  
института  
ядерных  
исследований  
дубна

6481/2-81

28/11-81

P1-81-616

Б.Словинский, Э.Мулас\*

СВОЙСТВА  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ПРОТОНОВ,  
ИСПУСКАЕМЫХ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ  
 $\pi^- + \text{Xe} \rightarrow \text{kp} + \dots$  ПРИ 9 ГэВ/с

\*Варшавский технический университет, ПНР.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа является продолжением исследований свойств энергетических распределений протонов, испускаемых в столкновениях  $\pi$ -мезонов и протонов с ядрами ксенона в интервале энергий  $E$  от  $\sim 2$  до  $9$  ГэВ <sup>1,2/</sup>. Такой интервал энергий первичных адронов, а также ядро-мишень, представляют значительный интерес с точки зрения ряда специфических явлений и закономерностей /см., например, <sup>3,4/</sup>. В частности, было установлено, что релятивистски инвариантные инклюзивные эффективные сечения /РИЭС/ испускания протонов в этих взаимодействиях описываются простой экспоненциальной функцией:

$$E \frac{d^3 \sigma}{d\Omega^3} \sim \exp(-E_k / \epsilon), \quad /1/$$

независимо от их числа  $k$  и углов  $\theta_p$  эмиссии <sup>1,2/</sup>. Здесь  $E, E_k$  и  $p$  - полная энергия, кинетическая энергия и импульс вторичных протонов в лабораторной системе отсчета /л.с./;  $\epsilon$  - параметр, определяемый либо феноменологически по экспериментальным данным, либо из модельных соображений <sup>3/</sup>. Следовательно, задачу анализа одномерных РИЭС можно свести к изучению зависимости параметра  $\epsilon$  от числа  $k$  и углов  $\theta_p$ :

$$\epsilon = \epsilon(k, \theta_p), \quad /2/$$

при данной энергии  $E$  первичного адрона. Оказалось также, что  $\epsilon$  зависит от  $k$  лишь при небольшой множественности протонов, испускаемых в переднюю полусферу в л.с. / $k \leq 3$ /, когда энергия  $E$  адрона, инициирующего взаимодействие, не меньше  $\sim 3$  ГэВ <sup>1/</sup>.

Зависимость от  $\theta_p$  можно описать, по крайней мере качественно, следующей функцией <sup>1/</sup>:

$$\epsilon = a_0 + \begin{cases} a(k, E) \cos^3 \theta & \text{при } \theta < \frac{\pi}{2}, \\ 0 & \text{при } \theta \geq \frac{\pi}{2}. \end{cases} \quad /2'/$$

Здесь  $a_0 \approx 40$  МэВ, когда  $E \geq 3$  ГэВ. Можно предположить, аналогично <sup>4/</sup>, что рост  $\epsilon$  при уменьшении угла эмиссии  $\theta_p$  в интервале  $0 < \theta_p < \pi/2$  в л.с. есть релятивистский эффект, связанный с движением области /или ее части/ локального возбуждения

ядерной материи внутри ядра-мишени. Отсюда можно получить оценку продольных размеров  $r_{||}$  области взаимодействия  $r_{||} \approx R_A$ , где  $R_A$  - радиус ядра-мишени, которая не противоречит другим данным, относящимся к этой области исследования<sup>/5/</sup>. Целью настоящей работы является изучение обсуждаемых закономерностей одномерных РИЭС на большей статистике и уточнение соответствующих численных значений параметра  $\epsilon$  для реакции



при 9 ГэВ /  $k=1 \div 17$  /.

В работе использованы снимки, полученные на 26-литровой ксеноновой пузырьковой камере /КПК/, облученной в пучке  $\pi^-$ -мезонов с импульсом 9 ГэВ/с.

## 2. ИНФОРМАЦИЯ ОБ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ МАТЕРИАЛЕ

Экспериментальные данные, использованные в настоящей работе, получены в результате измерения пробегов и углов эмиссии 5708 протонов, сопровождающих 2066 событий /3/, которые были отобраны при просмотре около 20 тысяч снимков с 26-литровой КПК. В анализ включен также аналогичный материал, полученный нами ранее<sup>/1/</sup>. Критерии отбора событий взаимодействия и метода определения энергии и углов эмиссии протонов были такие же, как в работах<sup>/1,2/</sup>. 26-литровая КПК обеспечивает возможность исследования в пределах полного телесного угла протонов с кинетической энергией  $E_k = /30 \div 150/$  МэВ, причем верхнее значение  $E_k$  протонов, испускаемых в интервале  $(\cos \theta_p) = 0,6 \div 1$ , равно 210 МэВ.

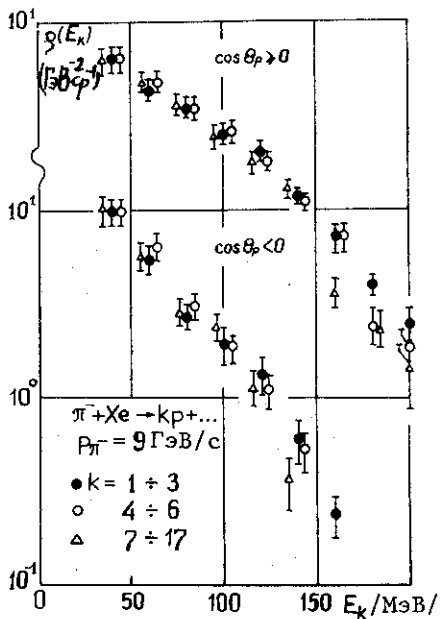
## 3. АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Зависимость РИЭС от числа  $k$  вторичных протонов и от углов  $\theta_p$  их эмиссии определялась, как и ранее<sup>/1/</sup>, при помощи следующих соотношений:

$$\rho(E_k) = \frac{1}{\sigma_{\text{in}} \langle n_p(k) \rangle} \cdot E \int \frac{d^3 \sigma}{d\mathbf{p}^3} d\Omega = a \cdot \exp(-E_k / \epsilon_0), \quad /4/$$

$$\rho^*(E_k) = \frac{1}{\sigma_{\text{in}} \langle n_p(\cos \theta_p) \rangle} \cdot E \int \frac{d^3 \sigma}{d\mathbf{p}^3} d\Omega = a^* \exp(-E_k / \epsilon_0^*), \quad /5/$$

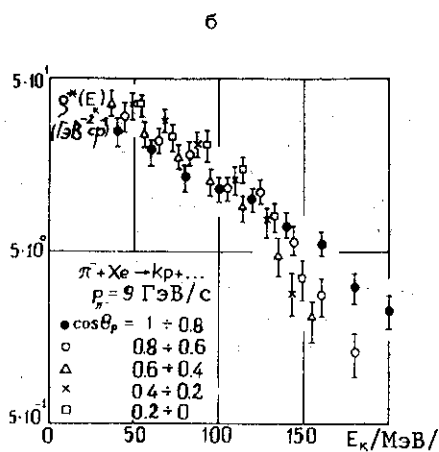
соответственно. Здесь параметры  $a$  и  $\epsilon_0$  зависят от  $k$ ,  $a^*$  и  $\epsilon_0^*$  - от  $\theta_p$ ;  $\langle n_p(k) \rangle$  и  $\langle n_p(\cos \theta_p) \rangle$  - средние значения частоты



а

Рис. 1. Зависимость релятивистски инвариантного эффективного сечения от кинетической энергии  $E_k$  протонов, испускаемых вперед ( $\cos \theta_p \geq 0$ ) и назад ( $\cos \theta_p < 0$ ) в л.с. /а/, в пределах десяти различных интервалов  $\Delta \cos \theta_p$  углов эмиссии в л.с. /б, в', во взаимодействиях  $\pi^- + \text{Xe} \rightarrow kp + \dots$ , сопровождаемых эмиссией различного числа протонов при 9 ГэВ/с.

в



б

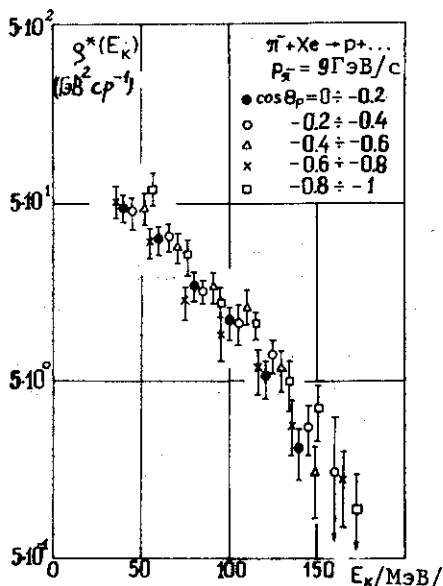


Таблица 1

Значения параметров  $\epsilon_0$  и  $a$  формулы /4/, описывающей энергетические спектры протонов с энергией  $E_k = =/30 \div 150/$  МэВ во взаимодействиях  $\pi^- + \text{Xe} \rightarrow k\text{p} + \dots$  при 9 ГэВ/с

| $k$  | $\cos \theta_p$ | $\epsilon_0$ (МэВ) | $a$ (ГэВ <sup>-2</sup> ср <sup>-1</sup> ) | $\chi^2/n$ |
|------|-----------------|--------------------|---|------------|
| 1+3  | $\geq 0$        | 53,4 $\pm$ 4,8     | 14,6 $\pm$ 2,4                            | 6,4/4      |
|      | $< 0$           | 38,7 $\pm$ 3,7     | 25,9 $\pm$ 3,8                            | 4,1/4      |
| 4+6  | $\geq 0$        | 55,4 $\pm$ 5,3     | 14,4 $\pm$ 2,4                            | 1,6/4      |
|      | $< 0$           | 34,5 $\pm$ 2,8     | 33,6 $\pm$ 4,8                            | 1,2/4      |
| 7+17 | $\geq 0$        | 60,7 $\pm$ 6,8     | 12,9 $\pm$ 2,3                            | 0,4/4      |
|      | $< 0$           | 33,0 $\pm$ 2,7     | 35,9 $\pm$ 5,6                            | 6,1/4      |
| 1+17 | $\geq 0$        | 56,2 $\pm$ 5,4     | 14,0 $\pm$ 2,1                            | 2,8/4      |
|      | $< 0$           | 37,2 $\pm$ 3,1     | 31,2 $\pm$ 4,0                            | 3,5/4      |

$\chi^2/n$  - значения тестовой статистики  $\chi^2$  при  $n$  степенях свободы.

эмиссии протонов с  $E_k \geq 30$  МэВ, испускаемых во взаимодействиях /3/ при заданном значении  $k$  и в данном интервале углов  $\theta_p^*$  соответственно;  $\sigma(k)$  - эффективное сечение взаимодействий /3/;  $\sigma_{in}$  - полное сечение неупругих процессов  $\pi^- - \text{Xe}$  при 9 ГэВ/с. В формуле /4/ интегрирование производится по передней или по задней полусфере для протонов, испускаемых в переднюю или заднюю полусферы соответственно. В формуле /5/ область интегрирования охватывает угловые интервалы величиной  $2\pi \cdot \Delta \cos \theta_p$ .

На рис. 1а нанесены измеренные значения величины  $\rho(E_k)$  в зависимости от кинетической энергии  $E_k$  протонов, испускаемых

\* Принятая в данной работе величина углового интервала  $\Delta \cos \theta_p = 0,2$ .

в переднюю ( $\cos\theta_p \geq 0$ ) и заднюю ( $\cos\theta_p < 0$ ) полусферу в л.с. в различных по числу  $k$  классам  $\pi^-$ - $\text{Xe}$  взаимодействий соответственно. Полученные в результате статистической оценки значения параметров  $\epsilon_0$  и  $a$  функции /4/ приведены в табл.1.

На рис. 16,в представлены значения  $\rho^*(E_k)$ , соответствующие различным угловым интервалам испускаемых протонов, в зависимости от  $E_k$ . Результаты статистической оценки параметров  $\epsilon_0^*$  и  $a^*$  функции /5/, которой описывались экспериментальные данные, представлены в табл. 2. Из табл. 1 и 2 вытекает, что зависимость от  $E_k$  изучаемых РИЭС удовлетворительно отображает экспоненциальная функция.

Таблица 2

Значения параметров  $\epsilon_0^*$  и  $a^*$  формулы /5/, описывающей энергетические спектры протонов с энергией  $E_k = 30 \div 150$  МэВ в л.с.

| $\Delta \cos\theta_p$ | $\epsilon_0^*$ (МэВ) | $a^*$ ( $\text{ГэВ}^{-2}_{\text{ср}}-1$ ) | $\chi^2/n$ |
|-----------------------|----------------------|---|------------|
| $1+0,8$               | $86,7 \pm 9,5$       | $37,0 \pm 7,5$                            | $1,2/4$    |
| $0,8+0,6$             | $62,7 \pm 8,0$       | $62 \pm 12$                               | $2,9/4$    |
| $0,6+0,4$             | $52,0 \pm 5,8$       | $82 \pm 16$                               | $1,2/4$    |
| $0,4+0,2$             | $38,2 \pm 2,9$       | $150 \pm 25$                              | $3,7/4$    |
| $0,2+0$               | $35,8 \pm 4,8$       | $148 \pm 20$                              | $6,8/4$    |
| $0+ -0,2$             | $33,7 \pm 2,9$       | $177 \pm 14$                              | $2,3/4$    |
| $-0,2+ -0,4$          | $39,2 \pm 4,4$       | $170 \pm 20$                              | $7,0/4$    |
| $-0,4+ -0,6$          | $32,7 \pm 3,0$       | $182 \pm 33$                              | $7,0/4$    |
| $-0,6+ -0,8$          | $35,2 \pm 4,0$       | $157 \pm 33$                              | $0,8/4$    |
| $-0,8+ -1$            | $33,5 \pm 4,2$       | $179 \pm 25$                              | $3,9/4$    |

$\chi^2/n$  - значения тестовой статистики при  $n$  степенях свободы.

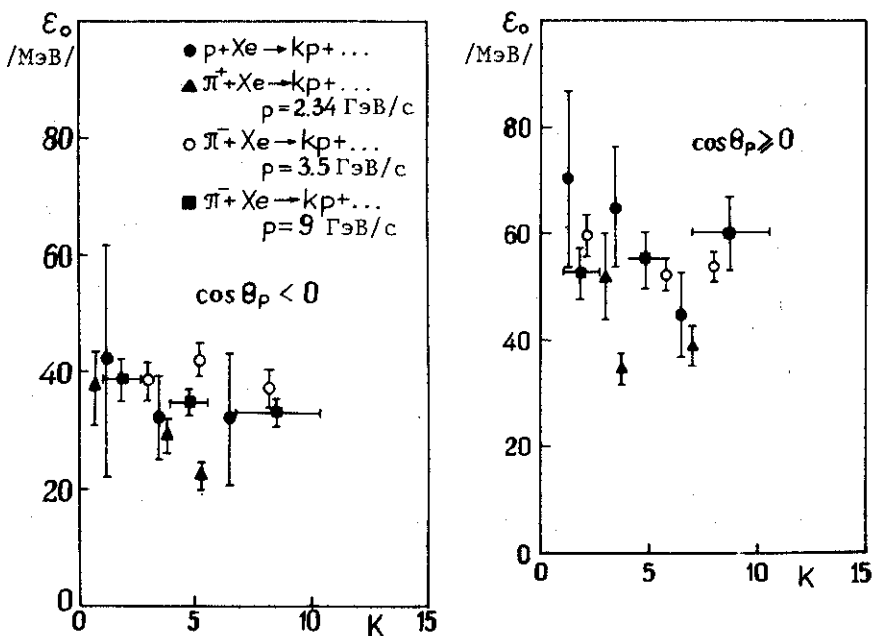


Рис. 2. Зависимость параметра  $\epsilon_0$  формулы /4/, описывающей энергетические спектры протонов из реакции  $\pi^- + Xe \rightarrow kp + \dots$  при 9 ГэВ/с, от числа  $k$  протонов, испускаемых в заднюю ( $\cos \theta_p < 0$ ) и переднюю ( $\cos \theta_p > 0$ ) полусферы в л.с. Нанесены также результаты наших более ранних работ /1,2/, относящиеся к реакциям  $\pi^+ + Xe$  и  $p + Xe$  при 2,34 ГэВ/с и  $\pi^- + Xe$  при 3,5 ГэВ/с.

Так как следствием условия нормировки

$$\int p(E_k) \frac{d\varphi^3}{E} = 1 \quad /6/$$

является зависимость между параметрами  $a$  и  $\epsilon_0$  /аналогично между  $a^*$  и  $\epsilon_0^*$  /, то задача исследования свойств одномерных РИЭС сводится к анализу зависимости величин  $\epsilon_0$  и  $\epsilon_0^*$  от множественности и углов эмиссии протонов соответственно. Поскольку в общем случае параметр  $\epsilon$ , определяющий наклон экспоненты, есть функция  $k$  и  $\theta_p/2$ , то определяемые нами параметры  $\epsilon_0$  и  $\epsilon_0^*$  равны соответственно

$$\epsilon_0 = \begin{cases} \int_0^{\pi/2} \epsilon(k, \theta_p) d\theta_p & \text{при } \theta_p < \frac{\pi}{2}, \\ \int_{\pi/2}^{\pi} \epsilon(k, \theta_p) d\theta_p & \text{при } \theta_p \geq \frac{\pi}{2} \end{cases} \quad /7/$$

и  $\epsilon_0^* = \sum_k \epsilon(k, \theta_p)$  . /8/

Зависимость параметра  $\epsilon_0$  формулы /7/ от  $k$  показана на рис.2. Там же приведены данные, полученные ранее /1,2/ и относящиеся к взаимодействиям с ядрами ксенона протонов и  $\pi^+$ -мезонов с импульсом 2,34 ГэВ/с и  $\pi^-$ -мезонов с импульсом 3,5 ГэВ/с.

На рис. 3 приведена зависимость параметра  $\epsilon_0^*$ , определенного соотношением /8/, от угла эмиссии протонов. Как и на рис.2, данные настоящей работы сопоставлены с аналогичными результатами, опубликованными ранее /1,2/.

#### 4. ВЫВОДЫ

На основании проведенных нами исследований релятивистски инвариантных инклюзивных спектров протонов, испускаемых во взаимодействиях  $\pi^- + \text{Xe} \rightarrow k\text{p} + \dots$  при 9 ГэВ/с /  $k = 1 \div 17$ /, а также же наших более ранних работ /1,2/, можно сделать следующие выводы:

1. Одномерные энергетические спектры протонов описываются экспоненциальными функциями /4/ и /5/, независимо от числа и углов эмиссии протонов.

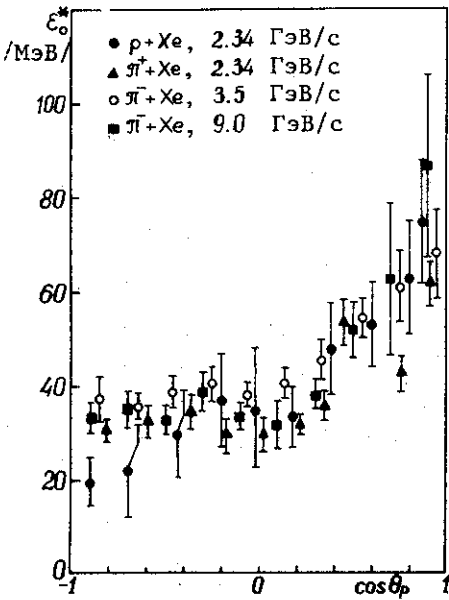


Рис.3. Значения наклона  $\epsilon_0^*$  экспоненты /5/, описывающей энергетические спектры протонов, испускаемых во взаимодействиях  $\pi^- + \text{Xe} \rightarrow k\text{p} + \dots$  при 9 ГэВ/с, в зависимости от их угла эмиссии в л.с. Приведены также аналогичные данные, относящиеся к реакциям  $\pi^+ + \text{Xe}$  и  $\text{p} + \text{Xe}$  при 2,34 ГэВ/с и  $\pi^- + \text{Xe}$  при 3,5 ГэВ/с.



2. При достигнутой точности эксперимента / ~ 10% / не наблюдается зависимости энергетических распределений протонов, испускаемых в заднюю полусферу в л.с., ни от числа, ни от угла их эмиссии.

3. Параметр  $\epsilon_0$ , определяющий наклон энергетических спектров протонов, зависит от числа  $k$  лишь при небольших значениях  $k \leq 3$  протонов, испускаемых в переднюю полусферу в л.с.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Словинский Б., Мулас Э. ЯФ, 1981, т.34, вып. 3 /9/, с.777.
2. Словинский Б., Стругальский Э. ЯФ, 1977, 25, вып. 3, с.613; Охрименко Л.С. и др. ОИЯИ, Р1-9692, Дубна, 1976; ОИЯИ, Р1-9806, Дубна, 1976.
3. Лукьянов В.К., Титов А.И. ЭЧАЯ, 1979, т. 10, 4, с.815.
4. Богацкая И.Г. и др. ЯФ, 1978, 27, с. 856.
5. Власов А.В. и др. Препринт ИТЭФ-53. М., 1981; ОИЯИ, Р1-8566, Дубна, 1975.

Рукопись поступила в издательский отдел  
31 октября 1981 года.