



Объединенный  
институт  
ядерных  
исследований  
Дубна

С346.48  
А-646

23/IV-79

P1 - 12110

Н.С.Ангелов, В.Г.Гришин, Р.А.Кватадзе

1585/2-79

ИССЛЕДОВАНИЕ

ОБРАЗОВАНИЯ МНОГОПИОННЫХ СИСТЕМ

В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ ПОПЕРЕЧНЫХ ИМПУЛЬСОВ

В  $\pi^-$  p-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ  $p = 40$  ГЭВ/С

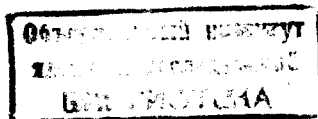
1979

P1 - 12110

Н.С.Ангелов, В.Г.Гришин, Р.А.Кватадзе\*

ИССЛЕДОВАНИЕ  
ОБРАЗОВАНИЯ МНОГОПИОННЫХ СИСТЕМ  
В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИХ ПОПЕРЕЧНЫХ ИМПУЛЬСОВ  
В  $\pi^-$  p-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ  $p = 40$  ГЭВ/С

*Направлено в ЯФ*



---

\* Московский государственный университет  
им. М.В.Ломоносова.

Ангелов Н.С., Гришин В.Г., Кватадзе Р.А.

PI - 12110

Исследование образования многопионных систем в зависимости от их поперечных импульсов в  $\pi^-p$ -взаимодействиях при  $p = 40$  ГэВ/с

В работе изучаются некоторые характеристики многопионных систем в зависимости от их поперечных импульсов в  $\pi^-p$ -взаимодействиях при  $p = 40$  ГэВ/с. Получено, что средний поперечный импульс системы растет с ростом эффективной массы и практически не зависит от числа частиц и заряда системы. Показано также, что неинвариантные дифференциальные сечения для  $(m\pi)$ -систем удовлетворительно аппроксимируются экспонентой  $\exp[-(E_{\perp} - M)/T]$  с  $T = 130$  МэВ. Значение параметра  $T$  слабо зависит от числа частиц и заряда  $(m\pi)$ -системы, а также от ее эффективной массы.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований, Дубна 1979

Angelov N.S., Grishin V.G., Kvatadze R.A. PI - 12110

Investigation of Multipion System Production Versus Their Transverse Momenta in  $\pi^-p$ -Interactions at  $p = 40$  GeV/c

Some characteristics of multipion systems are studied versus their transverse momenta in  $\pi^-p$ -interactions at  $p = 40$  GeV/c. It is found that the average transverse momentum of such a system increases with increasing the effective mass and is practically independent on the number of particles and system charge. It is also shown that the noninvariant differential cross sections for  $(m\pi)$ -systems are satisfactorily approximated by the exponent  $\exp[-(E_{\perp} - M)/T]$  with  $T = 130$  MeV. The parameter  $T$  is weakly dependent on the number of particles, on  $(m\pi)$ -system charge and its effective mass.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1979

## §1. ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее интересных свойств процессов множественной генерации частиц является приблизительное постоянство среднего поперечного импульса ( $\langle P_{\perp} \rangle$ ) вторичных частиц в ускорительном интервале энергии  $/1-10^3/$  ГэВ. Из экспериментов известно, что  $\langle P_{\perp} \rangle$  слабо зависит от типа и энергии сталкивающихся частиц и растет с массой вторичных частиц. Эти результаты служат исходными пунктами для построения теоретических моделей.

При высоких энергиях, когда рождается много пионов, такое же значение для теории имеют свойства многопионных систем  $(m\pi)$ . Несмотря на то, что в этом случае происходит обильное рождение резонансов, свойства многопионных систем практически нечувствительны к ним. Это связано с тем обстоятельством, что число случайных комбинаций пионов велико и сигналы от резонансов малы. Обычно даже для двухпионных комбинаций величина сигнала от резонансов не превышает  $/5-10/\%$ . Поэтому представленные в этой работе данные по  $(m\pi)$ -системам связаны не с резонансами, а в основном со случайными комбинациями пионов и отражают общие свойства процессов множественного рождения.

В данной работе изучаются некоторые характеристики  $(m\pi)$ -систем в зависимости от их поперечных импульсов в  $\pi^-p$ -взаимодействиях при  $p = 40$  ГэВ/с.

Экспериментальный материал был получен с помощью двухметровой пропановой пузырьковой камеры ЛВЭ ОИЯИ, облученной на ускорителе ИФВЭ. Основные методические особенности эксперимента описаны в работах  $/1-3/$ . Здесь

только отметим, что все вторичные заряженные частицы, за исключением протонов в интервале импульсов  $0,15 \text{ ГэВ/с} \leq P_{\text{лаб.}} \leq 0,7 \text{ ГэВ/с}$ , считались пионами. Протоны в этом интервале импульсов идентифицировались по ионизации. Примесь неидентифицированных протонов среди вторичных положительных частиц составляет  $\approx 15\%$ , а примесь  $K^\pm$ -мезонов и  $\Sigma^\pm$ -гиперонов не превышает  $/4-5\%/2,3/$ . Для физического анализа было отобрано около 17 000 неупругих  $\pi^-p$ -взаимодействий.

## §2. ЗАВИСИМОСТЬ СРЕДНЕГО ПОПЕРЕЧНОГО ИМПУЛЬСА $(m\pi)$ -СИСТЕМ ОТ ЭФФЕКТИВНОЙ МАССЫ И ПРОДОЛЬНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ $(X, Y^*)$

Нами были исследованы поперечные импульсы для двух-, трех- и четырехпионных систем. Изучались всевозможные зарядовые комбинации для следующих реакций:

$$\pi^-p \rightarrow 2\pi + X \quad (Q = -2, 0, +2),$$

$$\pi^-p \rightarrow 3\pi + X \quad (Q = -3, -1, +1, +3),$$

$$\pi^-p \rightarrow 4\pi + X \quad (Q = -4, -2, 0, +2, +4),$$

где  $Q$  - полный заряд системы  $(m\pi)$ .

На рис. 1 и 2 представлена зависимость среднего поперечного импульса от эффективной массы для трех- и четырехпионных систем. Здесь и далее на графиках будут приводиться только отдельные типичные ошибки. Из этих рисунков видно, что средний поперечный импульс растет с ростом эффективной массы и в пределах экспериментальных ошибок не зависит от заряда системы.

На рис. 3 показана зависимость среднего поперечного импульса двух-, трех- и четырехпионных систем с любым зарядом от эффективной массы. Как видно, в области эффективных масс меньше  $2,5 \text{ ГэВ}$  поперечный импульс двухпионной системы больше, чем трех- и четырехпионной.

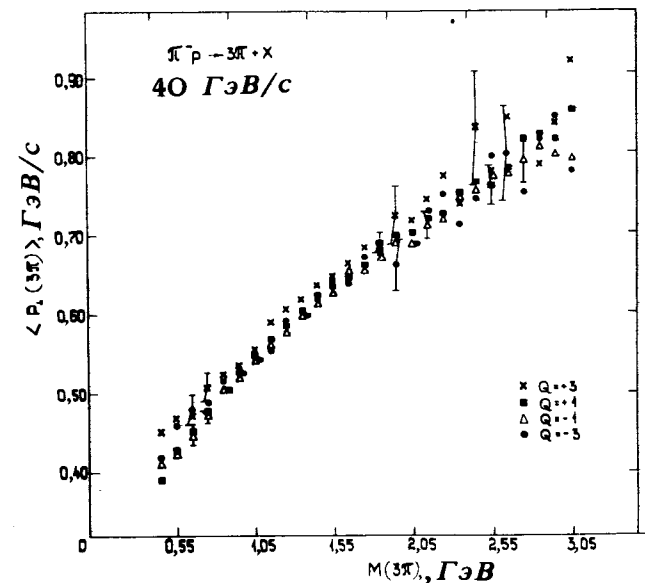


Рис. 1. Зависимость среднего поперечного импульса от эффективной массы для трехпионных систем при разных зарядах  $Q$ .

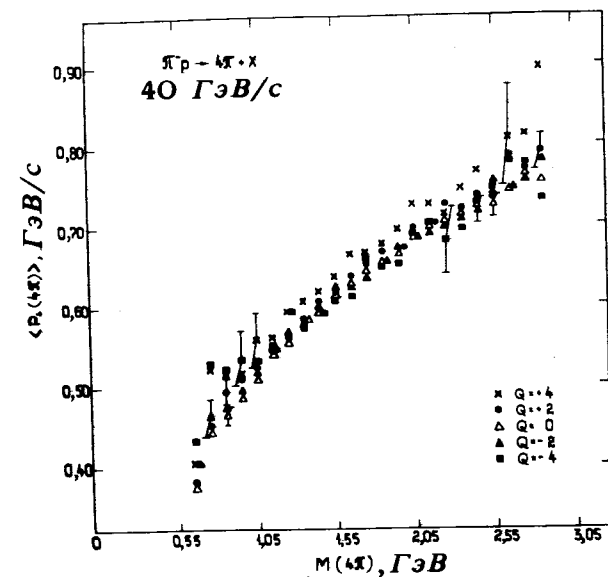


Рис. 2. Зависимость среднего поперечного импульса от эффективной массы для четырехпионных систем при разных зарядах.

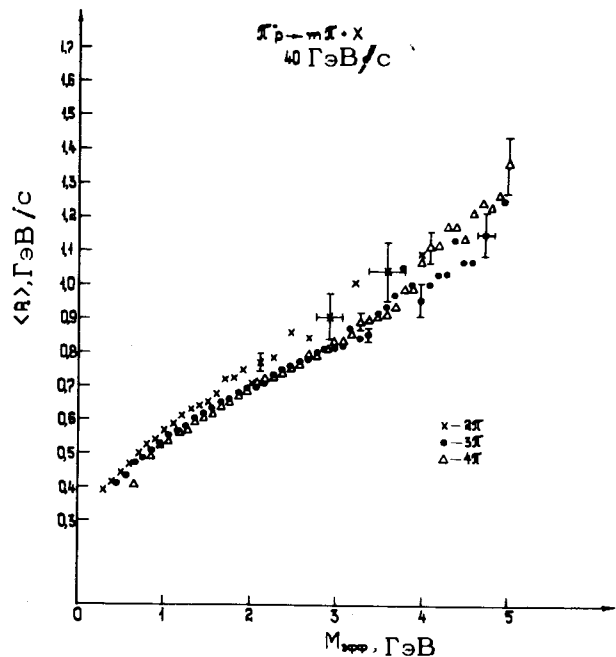


Рис. 3. Распределение среднего поперечного импульса по эффективной массе ( $m\pi$ )-систем.

При больших массах, возможно, ситуация меняется, но экспериментальные ошибки не позволяют сделать определенных выводов. Такой характер зависимости наблюдался для  $p-p$ -взаимодействий при 102 и 400 ГэВ/с<sup>[4]</sup>.

Мы также исследовали зависимость среднего поперечного импульса для ( $m\pi$ )-систем от свободной энергии  $M = M_{\text{эфф}} - m M_{\pi}$ . Как видно из рис. 4, значения  $\langle P_{\perp} \rangle$  в области  $M \leq 2$  ГэВ не зависят от числа частиц в системе. Для области  $M \geq 2$  ГэВ трудно сделать какие-либо выводы, так как экспериментальные ошибки велики.

Таким образом, средний поперечный импульс многопионной системы сильно зависит от ее эффективной массы и практически не зависит от заряда системы и числа частиц, входящих в нее.

В табл. 1 приведены значения  $\langle P_{\perp} \rangle$  для всех событий. Они растут с увеличением числа частиц в системе. Это связано с тем обстоятельством, что максимум в распре-

делении по  $M$  ( $m\pi$ ) сдвигается в сторону больших значений масс с увеличением  $m$ . Для двухпионных систем этот максимум находится в области  $\approx 0,5$  ГэВ, для ( $3\pi$ )-

Таблица 1  
Средние поперечные импульсы ( $m\pi$ )-систем

$m\pi$	$\langle P_{\perp} \rangle$ , ГэВ/с	$R_m$	Модель
$1\pi$	$0,365 \pm 0,005$	-	-
$2\pi$	$0,56 \pm 0,03$	1,0	1,0
$3\pi$	$0,66 \pm 0,02$	$1,18 \pm 0,09$	1,22
$4\pi$	$0,79 \pm 0,02$	$1,41 \pm 0,11$	1,42

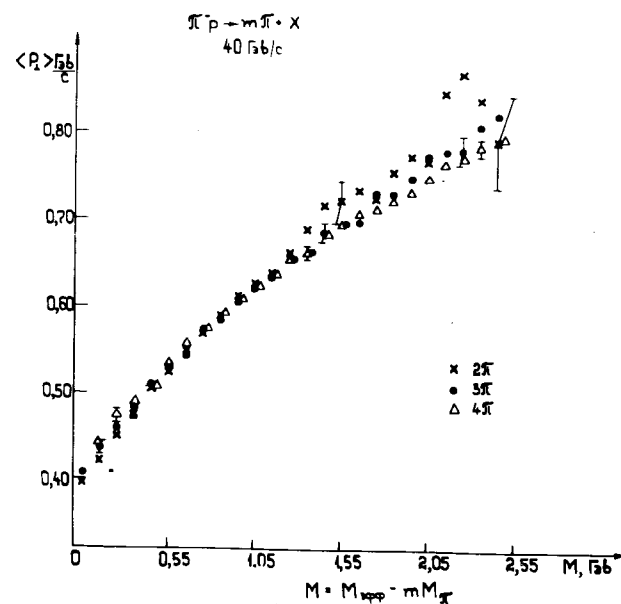


Рис. 4. Зависимость среднего поперечного импульса от свободной энергии ( $m\pi$ )-систем.

систем - в области  $\approx 1,0$  ГэВ, а для четырехпионных -  $1,5$  ГэВ. Поэтому рост  $\langle P_{\perp} \rangle$  с увеличением  $m$  в основном связан с зависимостью  $\langle P_{\perp} \rangle = f(M_{\text{эфф}})$  /см. рис. 3/.

В табл. 1 приведены также величины отношений  $R_m = \langle P_{\perp} \rangle_{m\pi} / \langle P_{\perp} \rangle_{2\pi}$  и предсказания модели некоррелированных систем пионов /5/. Как видно, полученные значения  $R_m$  хорошо согласуются с теоретическими.

Были также исследованы зависимости среднего поперечного импульса  $\langle m\pi \rangle$  систем от переменной Фейнмана  $X = 2P_{\perp}^* / \sqrt{S}$  и продольной быстроты в с.ц.и. ( $Y^* = 0,5 \ln(E^* + P_{\perp}^*) / (E^* - P_{\perp}^*)$ ). Они приведены на рис. 5 и 6. Поперечные импульсы больше для систем с большим числом частиц во всем интервале изменения этих переменных, что опять связано с  $\langle P_{\perp} \rangle = f(M)$ . Кроме того, наблюдается провал в распределении по  $X$  вблизи точки

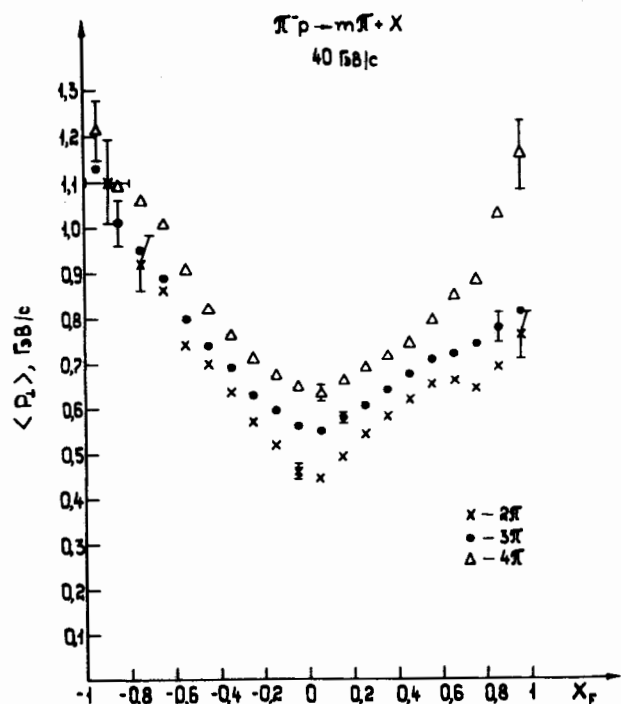


Рис. 5. Зависимость среднего поперечного импульса от  $X$  для  $(m\pi)$ -систем.

$X = 0$ . По-видимому, этот провал, как и для одночастичных спектров пионов, связан с влиянием фазового объема. Как следует из рис. 6, значения  $Y^*$  заключены в интервале  $-2 \leq Y^* \leq +2$ , который значительно уже, чем в случае однопионных спектров ( $-4 \leq Y^* \leq +4$ ). В распределении по  $Y^*$  средний поперечный импульс систем больше в области фрагментации мишени  $-2 \leq Y^* \leq -1$  и падает с увеличением  $Y^*$ . Область  $-1 < Y^* < +1$  соответствует центральной области. В пределах экспериментальных ошибок зависимость  $\langle P_{\perp} \rangle$  от заряда системы отсутствует /см, например, рис. 7/.

### §3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ $(m\pi)$ -СИСТЕМ ПО ПОПЕРЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ

В последние годы появились теоретические и экспериментальные работы /5-7/, в которых изучается поведение

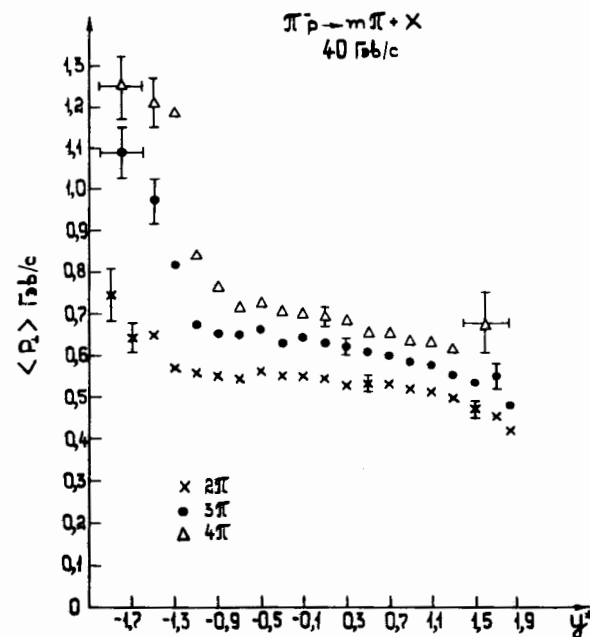


Рис. 6. Зависимость среднего поперечного импульса от  $Y^*$  для  $(m\pi)$ -систем.

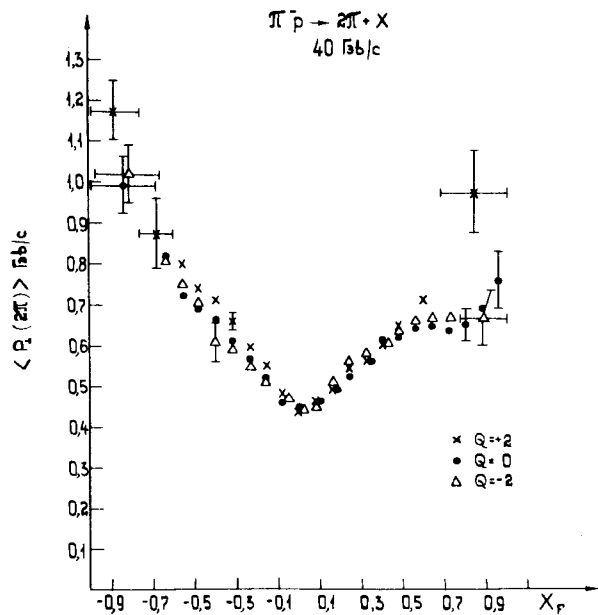


Рис. 7. Зависимость среднего поперечного импульса от  $X$  при разных значениях заряда для двухпионной системы.

поперечных спектров многопионных систем в переменных

$E_{\perp} = \sqrt{P_{\perp}^2 + M^2}$  и  $Y^*$ . Оказалось, что зависимость неинвариантного дифференциального сечения от поперечной энергии ( $E_{\perp}$ ) удовлетворительно описывается формулой Планка:

$$\frac{d^3\sigma}{d^3P} \sim \frac{1}{\exp(E_{\perp}/T) - 1},$$

где  $T$  является параметром и слабо зависит от типа и числа частиц в системе.

Нами была исследована эта зависимость для  $(m\pi)$ -систем, образованных в  $\pi^+ p$ -взаимодействиях при  $p = 40$  GeV/c. Строились дифференциальные распределения

$$\frac{d^3\sigma}{d^3P} = \frac{1}{2\pi E^*} \frac{d^2\sigma}{E_{\perp} dE_{\perp} dY^*},$$

Таблица 2  
 $\pi^+ p$  40 GeV/c

	$Y^* < -1$		$ Y^*  \leq 1$		$Y^* > 1$	
	$T \pm \Delta T$ (МэВ)	$\chi^2/\text{с.с.}$	$T \pm \Delta T$ (МэВ)	$\chi^2/\text{с.с.}$	$T \pm \Delta T$ (МэВ)	$\chi^2/\text{с.с.}$
$\pi$	$121 \pm 4$	92/48	$121 \pm 2$	85/48	$118 \pm 3$	90/48
$2\pi$	$124 \pm 2$	73/48	$131 \pm 1$	50/48	$121 \pm 2$	64/48
$3\pi$	$125 \pm 3$	70/48	$128 \pm 2$	64/48	$115 \pm 3$	57/48

и полученные спектры аппроксимировались экспонентой  $\exp[-(E_{\perp} - M)/T]$ .

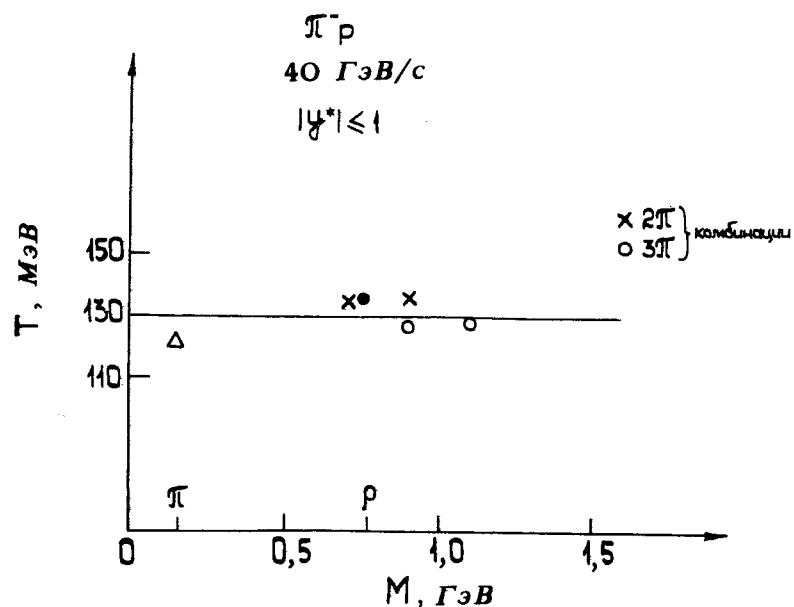
Анализ проводился для  $\pi$ -мезонов, двух- и трехпионных систем в разных интервалах по быстроте:  $|Y^*| \geq 1$  и  $|Y^*| \leq 1$ , которые примерно соответствуют областям фрагментации мишени, пучка и центральной области. Полученные значения параметров  $T \pm \Delta T$  и  $\chi^2$  на число степеней свободы приведены в табл. 2. Как видно, параметр  $T$  слабо зависит от числа частиц в системе и от продольной быстроты. Результаты аппроксимации для центральной области несколько лучше, чем для областей фрагментации, что может быть связано с эффектом лидирования пионов, которые искажают спектры.

Так же были построены и профитированы распределения для двух- и трехпионных систем в разных интервалах по эффективной массе в области  $|Y^*| \leq 1$ , где влияние законов сохранения энергии-импульса наименее существенно. Для выяснения вопроса, насколько параметр  $T$  чувствителен к резонансам, специально выбиралась в спектре эффективных масс ( $\pi^+ \pi^-$ )-комбинаций область  $\rho^0$ -мезона. Результаты аппроксимации представлены в табл. 3. Видно, что параметр  $T$  слабо зависит от числа частиц в системе и от ее эффективной массы, а также нечувствителен к рождению резонансов.

Таблица 3

 $\pi^- p$  40 ГэВ/с

	$ \chi^2  \leq 1$	
	$T \pm \Delta T$ (МэВ)	$\chi^2/\text{с.с.}$
$\pi$	$121 \pm 2$	85/48
$2\pi$ $\left\{ \begin{array}{l} 0,6-0,8 \\ 0,8-1,0 \end{array} \right.$ ГэВ	$134 \pm 4$	87/48
	$136 \pm 5$	64/48
$3\pi$ $\left\{ \begin{array}{l} 0,8-1,0 \\ 1,0-1,2 \end{array} \right.$ ГэВ	$128 \pm 4$	63/48
	$129 \pm 3$	53/48
$\pi^+ \pi^-$ в обл. р	$136 \pm 4$	61/48

Рис. 8. Значения параметра  $T$ .

Такой же результат был получен в работе<sup>/7/</sup>, в которой изучались значения параметра  $T$  для резонансов и нерезонансных комбинаций в  $\pi^+ p$  - взаимодействиях при  $p = 16$  ГэВ/с. Полученные значения параметра приведены на рис. 8.

Таким образом, распределения по поперечной энергии для  $(m\pi)$  - систем удовлетворительно описываются  $\exp[-(E_{\perp} - M)/T]$  с  $T \approx 130$  МэВ.

#### §4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате изучения  $(m\pi)$ -систем в  $\pi^- p$  - взаимодействиях при  $p = 40$  ГэВ/с получены следующие результаты:

1. Средний поперечный импульс многопионных систем растет с ростом эффективной массы системы и слабо зависит от заряда и числа частиц в ней.

2. С увеличением числа частиц в системе средний поперечный импульс для всех событий растет и значение отношений согласуется с предсказаниями модели некоррелированных систем пионов<sup>/5/</sup>.

3. Средний поперечный импульс больше для систем с большим числом частиц во всем интервале изменения переменных  $X$  и  $Y^*$ .

4. Получено, что зависимости инвариантных дифференциальных сечений от поперечной энергии многопионных систем удовлетворительно аппроксимируются  $\exp[-(E_{\perp} - M)/T]$ , где значение  $T \approx 130$  МэВ слабо зависит от числа частиц в системе и от ее эффективной массы.

Авторы признательны участникам Сотрудничества по исследованию множественных процессов в  $\pi^- p$  - соударениях при  $p = 40$  ГэВ/с за полезные обсуждения.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Абдурахимов А.У. и др. *ОИЯИ*, 1-6967, Дубна, 1973.
2. Абдурахимов А.У. и др. *ЯФ*, 1973, т.18, вып. 3, с.545.
3. Абдурахимов А.У. и др. *ЯФ*, 1971, т.18, вып. 6, с.1251.
4. Stix P. et al. *Phys. Rev., D*, 1977., 16, No. 3, p.558.
5. Sats H. *Proc. of the 1977 European Conf. on Particle Physics. Budapest, 1977*, p.379.
6. Deutschmann M. et al. *Nucl.Phys.*, 1974, B70, p.189.
7. Bartke J. et al. *Nucl.Phys.*, 1977, B120, p.14.

*Рукопись поступила в издательский отдел  
20 декабря 1978 года.*