

СООБЩЕНИЯ
ОБЪЕДИНЕННОГО
ИНСТИТУТА
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



СЗ23.5а

ИС-911

1/8-77

P1 - 10643

2868/2-77

Л.И.Журавлева, Н.К.Куциди, И.С.Саитов

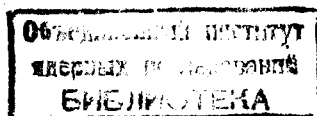
ПРЕДЕЛЬНОЕ ПОВЕДЕНИЕ
АССОЦИАТИВНЫХ ВЕЛИЧИН
В π -р ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ

1977

P1 - 10643

Л.И.Журавлева, Н.К.Куциди,* И.С.Саитов

ПРЕДЕЛЬНОЕ ПОВЕДЕНИЕ
АССОЦИАТИВНЫХ ВЕЛИЧИН
В π -р ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ



* Тбилисский государственный университет.

Предельное поведение ассоциативных величин в
 π^-p -взаимодействиях

На основе данных с пузырьковых камер в π^-p -взаимодействиях при 5, 40 и 205 ГэВ/с исследовано поведение нормированной ассоциативной множественности как функции квадрата недостающей массы M_x^2 , быстрой y^* и поперечного импульса p_\perp выделенных частиц, а также поведение ассоциативных моментов высших порядков в зависимости от M_x^2 . Получены указания на предельное поведение нормированной ассоциативной множественности в масштабе M_x^2/s для случая выделенного протона и π^- -мезона. Исследован аналог КНО-скейлинга для ассоциативных множественностей от M_x^2 . Полученные экспериментальные результаты не противоречат предсказаниям автомодельного поведения функции $\psi(z) = \langle n(\vec{p}) \rangle \frac{d\sigma_n/d\vec{p}}{d\sigma/d\vec{p}}$ в пространстве быстрой и поперечных импульсов.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий и Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1977

Asymptotic Behaviour of Associative Values
in π^-p -Interactions

On the basis of the data on π^-p -interactions at 5, 10 and 205 GeV/c obtained with hydrogen bubble chambers the behaviour of the associative multiplicity is investigated as a function of missing squared mass M_x^2 , rapidity y^* and transverse momentum p_\perp of selected particles as well as the behaviour of associative momenta of higher orders. An evidence of asymptotic behaviour of the normalized associative multiplicity on a scale of M_x^2/s is obtained for the case of selected proton and π^- -meson. An analogue of the KNO-scaling for the associative multiplicities as functions of M_x^2 is investigated. The experimental data available do not contradict to the predictions of the automodel behaviour of the function $\psi(z) = \langle n(\vec{p}) \rangle \frac{d\sigma_n/d\vec{p}}{d\sigma/d\vec{p}}$ in the space of rapidities and transverse momenta.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1977

Гипотезы о существовании предельного поведения для распределений по множественности при асимптотических энергиях /так называемый КНО-скейлинг /1/ /, а также о предельном поведении полуинклюзивных распределений /скейлинг типа КНО-II^{1/2}/ / привели к предположению о возможном предельном поведении ассоциативных распределений.

В работах /3,4/ были получены предсказания относительно асимптотического поведения нормированных ассоциативных моментов

$$\langle n_1^k(\xi) \rangle \equiv \frac{\langle n^k(\xi, s) \rangle}{\langle n(s) \rangle^k} \xrightarrow{s \rightarrow \infty} f(\xi), \quad /1/$$

где ξ - кинематическая переменная, характеризующая выделенную частицу:

$$\xi \equiv x, y, p_\perp, t, M_x^2.$$

В частности, предсказывалось, что

$$\langle n_1^k(M_x^2) \rangle \xrightarrow{s \rightarrow \infty} f(M_x^2/s) \quad /2/$$

при $M_x^2 \gg m_c^2$, где m_c - масса выделенной частицы, т.е. в пределе асимптотически больших энергий для достаточно больших значений M_x^2 нормированная ассоциативная множественность от M_x^2/s будет являться функцией только одной переменной M_x^2/s .

Имеются указания на существование подобного типа скейлинга в реакции



в области энергий от 28 до 303 ГэВ для значений $M_x^2/s \leq 0,3^{1/4}$.

В данной работе представлены результаты исследования зависимости некоторых ассоциативных моментов от различных кинематических переменных выделенной частицы в $\pi^- p$ -взаимодействиях при 5^{5/5} и 40^{6,7} ГэВ/с. В некоторых случаях использованы опубликованные данные при 205 ГэВ/с^{8/}. Часть результатов при 5 ГэВ/с получена авторами настоящей работы на основе данных с 1-метровой ВПК ЛВЭ ОИЯИ/.

На рис. 1а приведены значения нормированной ассоциативной множественности

$$\langle n_1^-(M_x^2) \rangle \equiv \frac{\langle n(M_x^2, s) \rangle}{\langle n(s) \rangle} \quad /4/$$

в реакции



при 5, 40 и 205 ГэВ/с.

Как видно, в области значений $M_x^2/s \geq 0,05$ нормированная ассоциативная множественность является функцией только отношения M_x^2/s , т.е. наблюдается скейлинг для этой величины в широком диапазоне энергий. Несколько большие значения $\langle n_1^-(M_x^2) \rangle$ при 40 ГэВ/с для очень малых M_x^2/s могут быть связаны с тем, что эти данные получены на пропановой пузырьковой камере, где имеется примесь взаимодействий на ядрах углерода, характеризующаяся большей множественностью и особенно значительная в области малых M_x^2 ^{9/}

Нормированная ассоциативная множественность как функция отношения M_x^2/s в реакции



при 5 и 40 ГэВ/с представлена на рис. 1б.

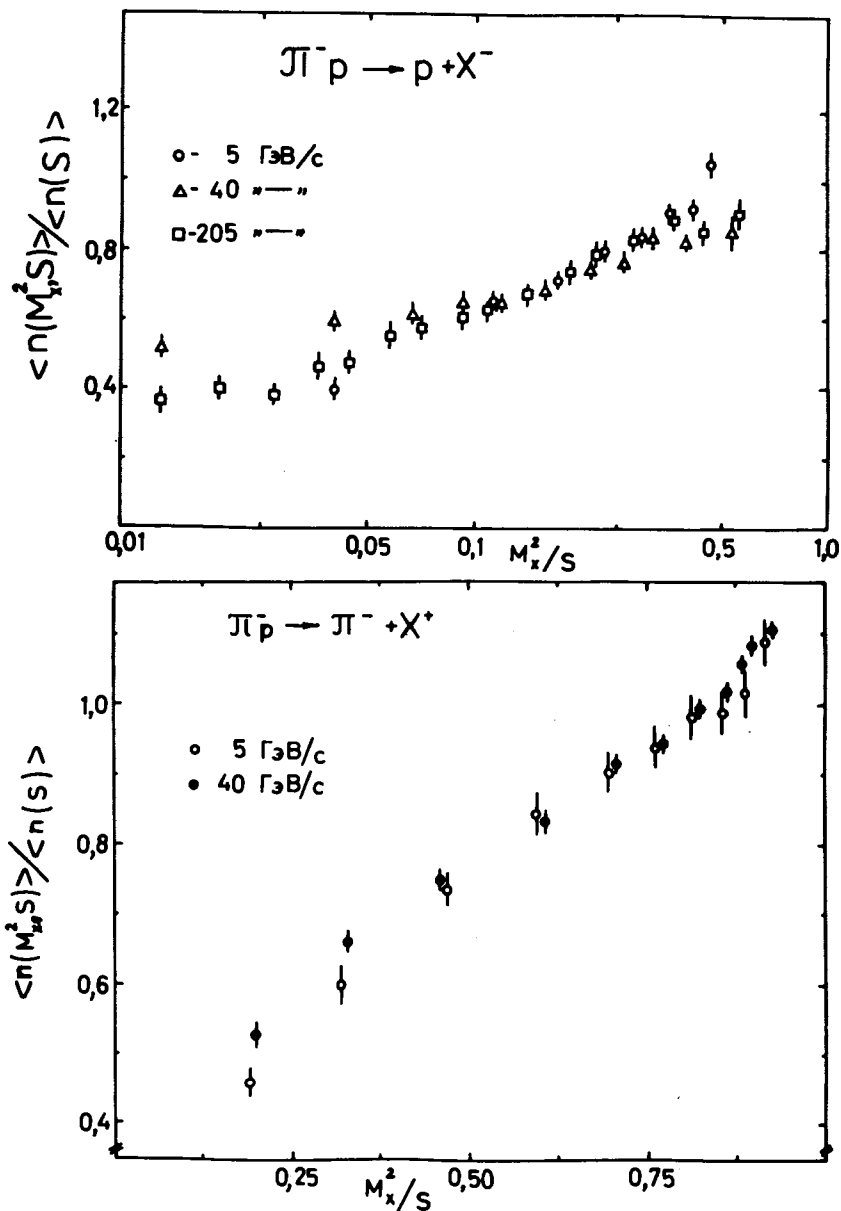
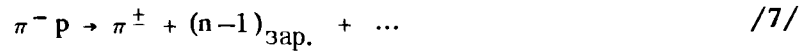


Рис. 1. Нормированная ассоциативная множественность как функция отношения M_x^2/s : а/ в реакции /5/ при 5, 40 и 205 ГэВ/с; б/ в реакции /6/ при 5 и 40 ГэВ/с.

В области $M_x^2/s \geq 0,4$ здесь также наблюдается зависимость только от отношения M_x^2/s , т.е. в реакции /6/ скейлинговое поведение начинается в области больших M_x^2/s , чем в реакции /5/. Это может быть обусловлено различным поведением распределений $d\sigma_n/dM_x^2$ в области небольших M_x^2 , связанных, в частности, с наличием нуклона в системе X^+ в реакции /6/.

В отличие от случая зависимости $\langle n_1(M_x^2) \rangle$, нормированная ассоциативная множественность как функция других кинематических переменных не проявляет свойств предельного поведения при тех же энергиях.

Нами были получены данные для зависимости $\langle n_1(p_\perp) \rangle$ и $\langle n_1(y^*) \rangle$ в реакциях



Для приведения данных при разных энергиях к одному масштабу по быстрой y^* использовалась величина $y' = \frac{y^*}{Y^*}$

/где $Y^* \equiv y^*_{\max} = \ln \frac{\sqrt{s}}{m}$ - кинематически максимально воз-

можная быстрая выделенной частицы в с.ц.и./ Как видно из рис. 2 и 3, при энергиях 5 и 40 ГэВ не наблюда-

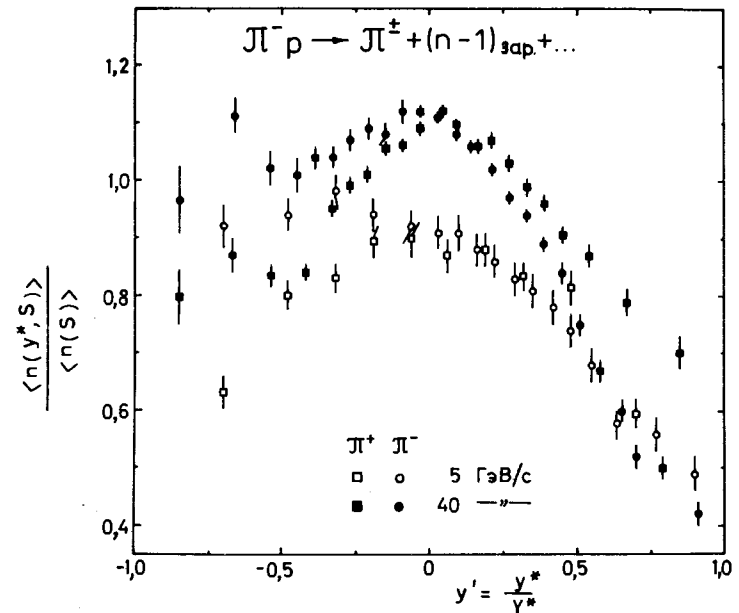
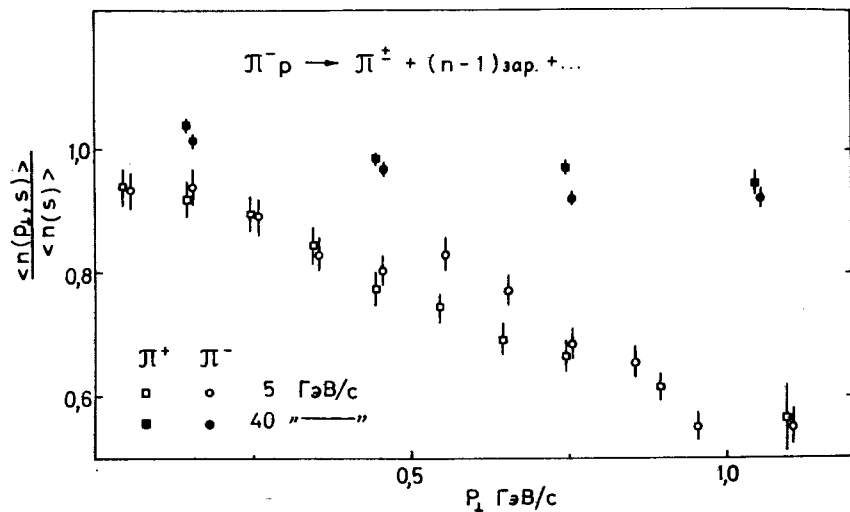


Рис. 3. Нормированная ассоциативная множественность как функция приведенной быстрой $y' = \frac{y^*}{Y^*}$ /где $Y^* \equiv y^*_{\max} = \ln \frac{\sqrt{s}}{m}$ - максимальная быстрая в с.ц.и./ для выделенных π^\pm -мезонов при 5 и 40 ГэВ/с.

ется скейлингового поведения нормированных ассоциативных множественностей по переменным p_\perp и y^* . Однако в случае выделенных лидирующих π^- -мезонов / $y' \geq 0,5$ / значения $\langle n_1(y^*) \rangle$ при обеих энергиях близки друг к другу /рис. 3/.

Нами была также изучена зависимость нормированных ассоциативных моментов второго и третьего порядков C_2 и C_3^* от переменной M_x^2 в реакциях /5/ и /6/ при

Рис. 2. Нормированная ассоциативная множественность как функция поперечного импульса для выделенных π^\pm -мезонов при 5 и 40 ГэВ/с.

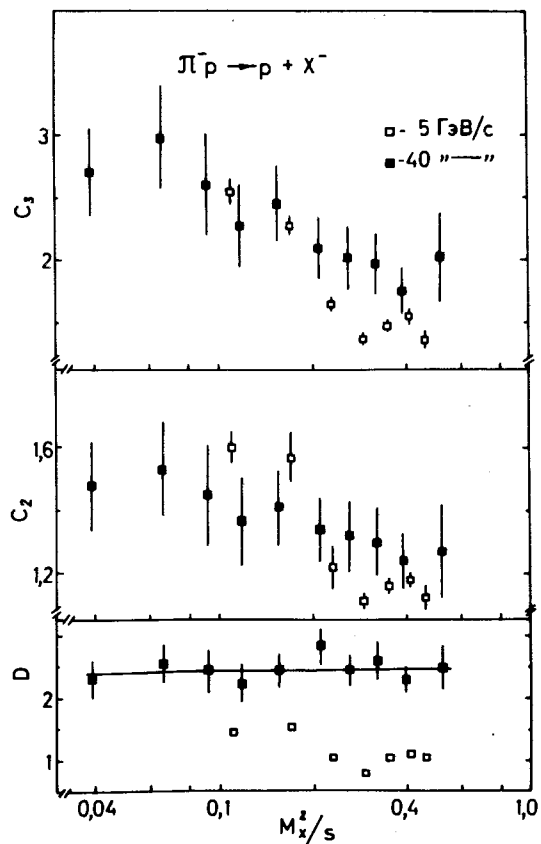
$$* C_k \equiv \frac{\langle n^k(\xi) \rangle}{\langle n(\xi) \rangle^k}.$$

5 и 40 ГэВ/с. Эти данные в масштабе M_x^2/s приведены на рис. 4а,б вместе со значениями дисперсии распределения по ассоциативной множественности от M_x^2 :

$$D = (\langle n^2(M_x^2) \rangle - \langle n(M_x^2) \rangle^2)^{1/2} \quad /8/$$

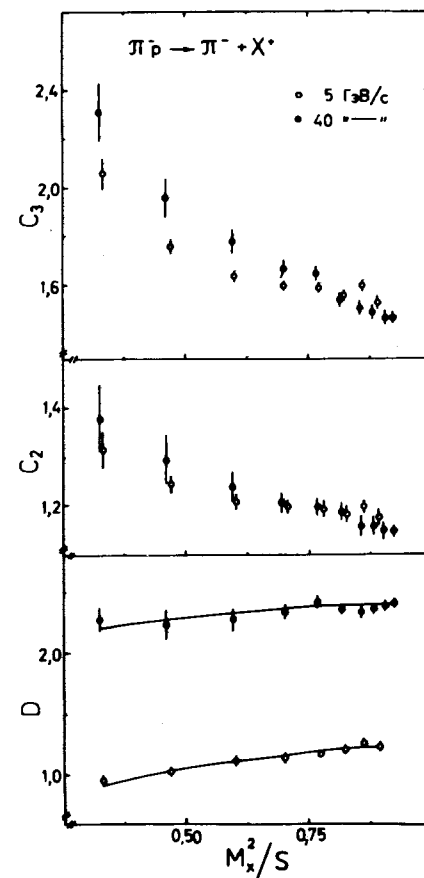
Была проведена аппроксимация зависимости $D(M_x^2)$ аналитическим выражением /8/:

$$D = a + b \ln M_x^2 \quad /9/$$



а/

Численные результаты аппроксимации для реакции /5/ при 40 ГэВ/с, а для реакции /6/ - при 5 и 40 ГэВ/с приведены в табл. 1 /для сравнения приведены значения коэффициентов а и б, полученные в реакции /5/ при 205 ГэВ/с /8/ /, а также нанесены в виде кривых на рис. 4а,б.



б/

Рис. 4. Дисперсия распределений по ассоциативной множественности, нормированные ассоциативные моменты второго и третьего порядков как функции отношения M_x^2/s при 5 и 40 ГэВ/с: а/ в реакции /5/; б/ в реакции /6/.

Таблица 1

Результаты аппроксимации зависимости дисперсии ассоциативной множественности от M_x^2 согласно выражению $D = a + b \ln M_x^2$ / N - число экспериментальных точек/

Реакция, ГэВ/с	χ^2/N	a	b
/5/ 40	3,7/11	2,42±0,23	0,01±0,09
/6/ 205	-	0,2	0,6
/6/ 5	8,6/9	0,54±0,03	0,32±0,02
40	5,9/13	1,63±0,11	0,18±0,03

Интересно отметить, что логарифмическая зависимость /9/, предсказываемая моделями мультипериферического типа, успешно воспроизводит поведение дисперсии в реакции /6/ при 5 и 40 ГэВ/с, хотя рост ассоциативной множественности $\langle n(M_x^2) \rangle$ в этой реакции при тех же энергиях не согласуется с логарифмическим /5,6/, также предсказываемым в мультипериферической модели.

Как известно, поведение моментов C_k для полных множественностей связано с КНО-скейлингом /4/: условие постоянства C_k означает выполнение скейлинга. Это же условие справедливо и для обобщения КНО-скейлинга на случай множественности системы X в реакциях /3/, /5/ и /6/, как уже отмечалось в работах /10-13/.

Ассоциативный КНО-скейлинг приобретает вид:

$$\Psi(z, M_x^2, s) \equiv \langle n(M_x^2, s) \rangle \frac{d\sigma_n/dM_x^2}{d\sigma/dM_x^2} \xrightarrow[s \rightarrow \infty]{M_x^2 \rightarrow \infty} \Psi(z), \quad /10/$$

где

$$z = \frac{n-1}{\langle n(M_x^2, s) \rangle}$$

Имеются указания на выполнение соотношения /10/ для реакции /3/ в широком интервале энергий /10,12-14/.

Экспериментальные результаты при 5, 40 и 205 /10/ ГэВ/с для реакции /5/ и при 5 и 40 ГэВ/с для реакции /6/ приведены на рис. 5а и 5б, соответственно.

В реакции /5/ имеется зависимость моментов C_2 и C_3 от M_x^2 /рис. 4а/, что приводит к нарушению условия /10/ при всех значениях M_x^2 . Однако значения функции $\Psi(z, M_x^2, s)$ при 40 и 205 ГэВ/с довольно близки между собой /рис. 5а/.

Иная ситуация имеет место в реакции /6/: здесь для больших M_x^2 наблюдается примерное постоянство моментов в пределах ошибок при 5 и 40 ГэВ/с для значений $M_x^2/s \geq 0,75$ /рис. 4б/. Проведенная аппроксимация значений C_2 и C_3 константой дала следующие усредненные для обеих энергий в указанной области M_x^2/s значения $\bar{C}_2 = 1,179 \pm 0,005$ и $\bar{C}_3 = 1,535 \pm 0,008$, при величине χ^2 на одну степень свободы 1,4 и 4,8, соответственно.

Подобное постоянство величин C_2 и C_3 действительно приводит к выполнению условия /10/, по крайней мере, на качественном уровне, как видно из рис. 5б. Для количественной оценки выполнения скейлинга экспериментальные данные /в области $M_x^2/s > 0,75$ / аппроксимировались зависимостью

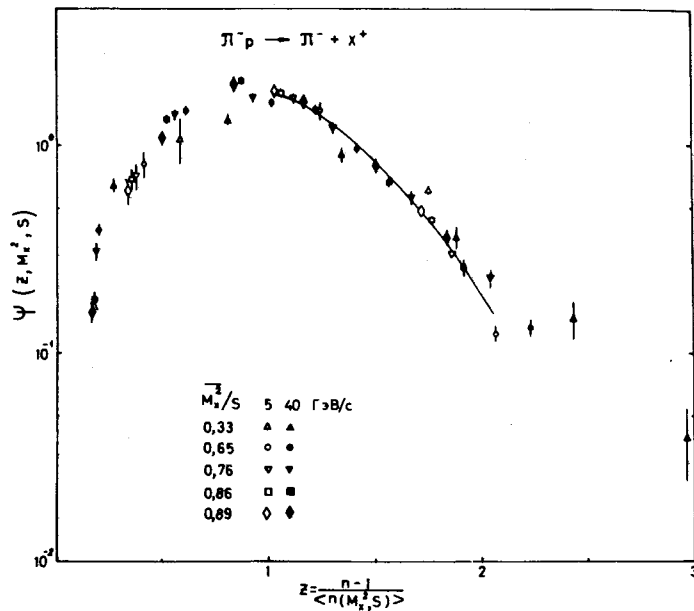
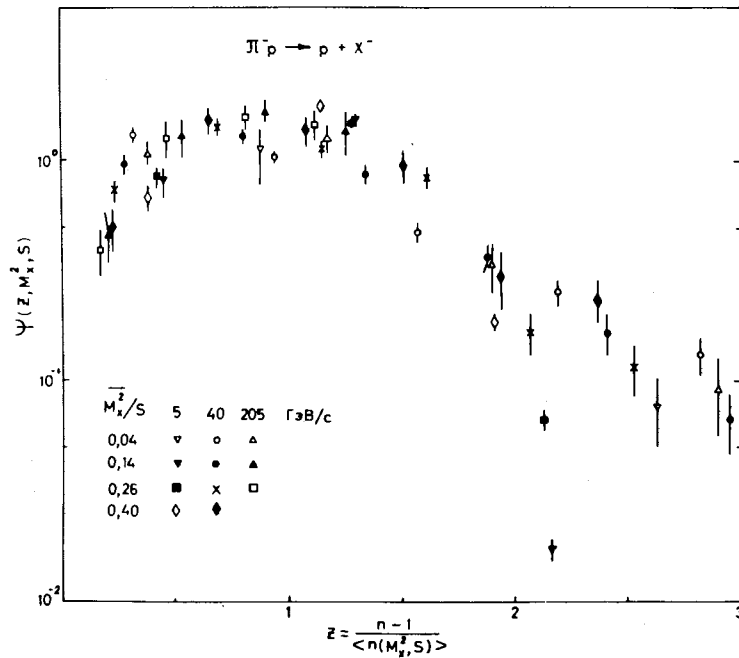
$$\Psi(z) = C \left(\frac{A}{2\pi z} \right)^{1/2} \exp[-A(1+z(\ln z - 1))], \quad /11/$$

полученной в работах /13/ в предположении о существовании дальнедействующих корреляций в системе X /отметим, что применимость соотношения /11/ ограничена областью $z > 1$ /.

Результаты аппроксимации - кривая на рис. 5б - говорят об удовлетворительном количественном выполнении ассоциативного КНО-скейлинга. Численные результаты таковы: χ^2 /степень свободы = 1,46; $P(\chi^2) = 0,05$; $C = 2,03 \pm 0,02$; $A = 4,86 \pm 0,08$.

Попытка аппроксимировать эти же экспериментальные данные выражением

$$\Psi(z) = \left(\sum_{k=0}^2 A'_{2k+1} z^{2k+1} \right) e^{-Bz}, \quad /12/$$



согласно которому были описаны данные по КНО-скейлингу для полных множественностей^{/15/}, привела к неудовлетворительному результату: $\chi^2/\text{ст.св.} = 15,1$.

В рамках иного подхода, основанного только на общих предсказаниях физического подобия, в работе^{/16/} был получен вывод об автомодельном поведении функции

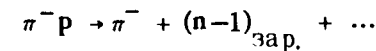
$$\Psi(z) = \langle n(\vec{p}) \rangle \frac{d\sigma_n/d\vec{p}}{d\sigma/d\vec{p}}, \quad /13/$$

$$\text{где } z = \frac{n}{\langle n(\vec{p}) \rangle}.$$

Экспериментальная проверка этого соотношения для случаев зависимости ассоциативной множественности от поперечного импульса и быстроты была выполнена в $\pi^- p$ -взаимодействиях при 40 ГэВ/с^{/7/}. Данные при одной энергии подтвердили автомодельное поведение функции $\Psi(z)$. Эти же данные вместе с результатами

для 5 ГэВ/с в масштабе $z = \frac{n-1}{\langle n(\vec{p}) \rangle}$ представлены на

рис. 6 и 7 для реакции:



Можно видеть, что автомодельное поведение функции $\Psi(z)$ выполняется при этих энергиях, по крайней мере, на качественном уровне, в пространстве поперечных импульсов - во всем интервале значений p_{\perp} , а в пространстве быстрот - везде, за исключением случая лидирующих π^- -мезонов $/y' \geq 0,5/$.

Количественный анализ на основе выражения /11/ для значений $z > 1/$ не дал хорошего согласия: $\chi^2/\text{ст.св.} = 2,6$ для случая зависимости от p_{\perp} и $\chi^2/\text{ст.св.} = 5,1$ для зависимости от y^* . Однако соотношение /11/

Рис. 5. Ассоциативный КНО-скейлинг для множественности по M_x^2 : а/ в реакции /5/ при 5, 40 и 205 ГэВ/с; б/ в реакции /6/ при 5 и 40 ГэВ/с, кривая - результат аппроксимации согласно /11/ для $z > 1$ и $M_x^2/s > 0,75$.

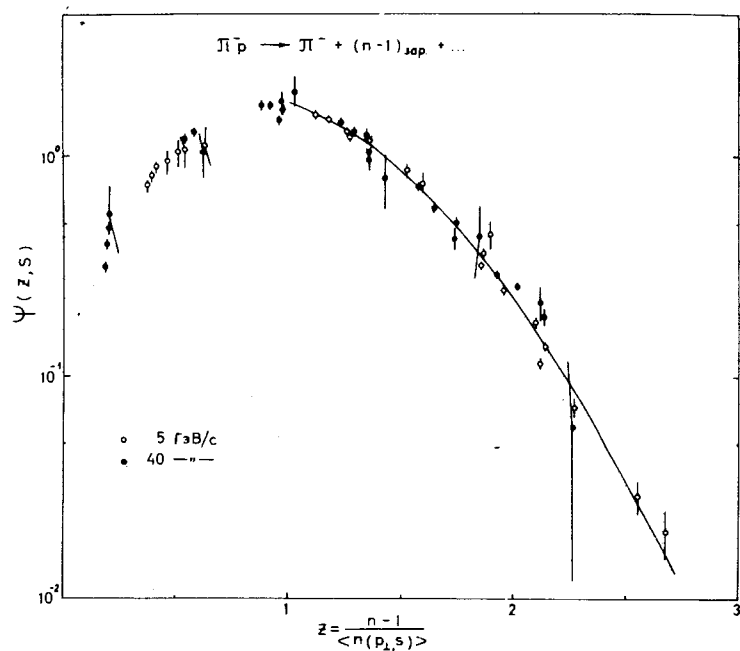


Рис. 6. Функция $\Psi(z, s) = \langle n(p_+, s) \rangle \frac{d\sigma_n/dp_+}{d\sigma/dp_+}$ в масштабе $z = \frac{n-1}{\langle n(p_+, s) \rangle}$ для выделенных π^- -мезонов при 5 и 40 ГэВ/с. Кривая - результат аппроксимации согласно /11/ для $z > 1$.

в общем воспроизводит режим поведения функции $\Psi(z)$ /кривые на рис. 6 и 7/, хотя это выражение было получено при рассмотрении зависимости множественности от M_x^2 , и проделанное нами обобщение на случай других кинематических переменных является в значительной степени произвольным. Тем не менее, соотношение /11/, по-видимому, отражает общие свойства, присущие подобным ассоциативным распределениям.

В заключение отметим, что на поведение нормированных ассоциативных множественностей, ассоциативных моментов высших порядков и функций $\Psi(z)$ могут оказывать влияние процессы с образованием резонансов. Однако анализ этого влияния нами не проводился.

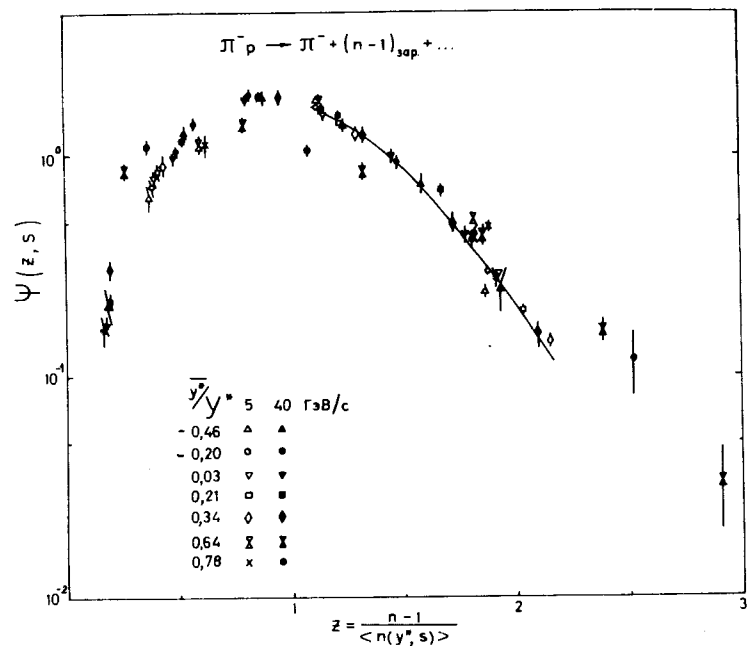


Рис. 7. Функция $\Psi(z, s) = \langle n(y^*, s) \rangle \frac{d\sigma_n/dy^*}{d\sigma/dy^*}$ в масштабе $z = \frac{n-1}{\langle n(y^*, s) \rangle}$ для выделенных π^- -мезонов при 5 и 40 ГэВ/с. Кривая - результат аппроксимации согласно /11/ для $z > 1$ и $y' < 0,5$.

Сформулируем основные выводы настоящей работы:

1. Получены указания на существование предельного поведения для нормированной ассоциативной множественности $\frac{\langle n(M_x^2, s) \rangle}{\langle n(s) \rangle}$ в реакции /5/ в интервале энергий $5 \div 205$ ГэВ и в реакции /6/ при 5 и 40 ГэВ. Предельное поведение проявляется, начиная с некоторого значения величины M_x^2/s .

2. Нормированные ассоциативные множественности как функции быстроты и поперечного импульса не проявляют свойств предельного поведения при 5 и 40 ГэВ/с.

3. Нормированные ассоциативные моменты второго и третьего порядков зависят от M_x^2 в реакциях /5/ и /6/, за исключением области больших недостающих масс в реакции /6/, где наблюдается примерное постоянство величин C_2 и C_3 .

4. Ассоциативный КНО-скейлинг выполняется для реакции /6/ в области больших значений M_x^2/s как на качественном, так и на количественном уровне.

5. Подобие формы экспериментальных распределений

для функции $\Psi(z) = \langle n(\vec{p}) \rangle \frac{d\sigma_n/dp}{d\sigma/dp}$ при 5 и 40 ГэВ/с не про-

тиворечит гипотезе относительно автомодельного поведения этой функции как в пространстве быстрот, так и в пространстве поперечных импульсов.

Авторы благодарны сотрудничеству Дубна - Берлин - Кошице - Улан-Батор за предоставление ленты суммарных результатов по π^-p -взаимодействиям при 5 ГэВ/с.

Авторы признательны Н.С.Амаглобели, Ю.А.Будагову, Р.М.Лебедеву и Т.П.Топурия за полезные обсуждения, Г.Н.Сокольской - за изготовление рисунков.

Литература

1. Koba Z. e.a. *Nucl.Phys.*, 1972, B40, 317.
2. Koba Z. e.a. *Nucl.Phys.*, 1972, B43, 125; *Phys.Lett.*, 1972, 38B, 25.
3. Гердюков Л.Н., Манюков Б.А., Шляпников П.В. Препринт ИФВЭ, СПК 74-77, Серпухов, 1974.
4. Minakata H. *Lett. al Nuovo Cim.*, 1974, 9, 411.
5. Журавлева Л.И. и др. ОИЯИ, 1-10554, Дубна, 1977.
6. Абесалашвили Л.Н. и др. ОИЯИ, 1-10566, Дубна, 1977.
7. Абесалашвили Л.Н. и др. ЯФ, 1976, 24, 1189.
8. Winkelmann F.G. e.a. *Phys.Rev.Lett.*, 1974, 32, 121.
9. Назаргулов Р.М. ОИЯИ, P1-10218, Дубна, 1976.
10. Barshay S. e.a. *Phys.Rev.Lett.*, 1974, 32, 1390.
11. Barshay S., Yamaguchi Y. *Phys.Lett.*, 1974, 51B, 376.
12. Minakata H. *Progress of Theor.Phys.*, 1975, 53, 532.
13. Жирков Л.Ф., Кокоулина Е.С., Кувшинов В.И. ЯФ, 1976, 24, 170.

Жирков Л.Ф., Кувшинов В.И. Препринт ИФ АН БССР, №114, Минск, 1976.

14. Klifford T.S. e.a. *Phys.Rev.Lett.*, 1974, 33, 1239.
15. Slattery P. e.a. *Phys.Rev.Lett.*, 1974, 33, 1239
15. Slattery P. e.a. *Phys.Rev.*, 1973, D7, 2073.
16. Матвеев В.А., Сисакян А.Н., Слепченко Л.А. ЯФ, 1976, 23, 432.

Рукопись поступила в издательский отдел
4 мая 1977 года.