

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

3544/82

2/111-82

P1-82-252

В.Г.Гришин, Л.А.Диденко, Т.И.Канарек,
З.В.Метревели

АНАЛИЗ π^- p-ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ
ПРИ ИМПУЛЬСЕ 40 ГэВ/С
С ПОМОЩЬЮ КОЛЛЕКТИВНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ
И МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ
ВЫДЕЛЕНИЯ АДРОННЫХ СТРУЙ

1982

§1. ВВЕДЕНИЕ

При исследовании процессов множественного рождения частиц все чаще стали обращаться к более удобным "коллективным" переменным^{/1-5/}, поскольку они выявляют такие динамические особенности адрон-адронных взаимодействий, которые не удается обнаружить изучением одночастичных распределений и двухчастичных корреляционных функций. В последнее время интерес к этим переменным возрос еще больше в связи с исследованиями струйной структуры конечных адронных состояний в e^+e^- - и адрон-адронных столкновениях.

В предыдущей работе^{/6/} мы опубликовали результаты измерений струйных характеристик заряженных частиц в π^+p -взаимодействиях при импульсе 40 ГэВ/с, которые указывают на струйный характер рождения адронов в этих соударениях. Однако при анализе пространственной конфигурации событий методом коллективных переменных $/n$, в частности, струйных/ возникают следующие вопросы:

а/ о влиянии флуктуаций в конфигурации вторичных частиц в фазовом пространстве на величину коллективных переменных, обусловленном определенным выбором "главных осей";

б/ о влиянии нейтральных частиц, которые не участвуют в определении коллективных переменных, на их величину.

В данной работе мы провели исследование этих вопросов путем сравнения π^+p -взаимодействия при импульсе 40 ГэВ/с с событиями, смоделированными в соответствии со сферическим фазовым объемом^{/7/} и мультипериферической моделью, разработанной сотрудниками ФИАН^{/8,9/}. Анализ выполнен на статистике 1400 полностью измеренных π^+p -взаимодействий с множественностью заряженных частиц $n_{\pm} \geq 4$, полученных с помощью методики преновой пузырьковой камеры. Особенности эксперимента, а также методические вопросы обработки снимков с пропановой пузырьковой камеры рассмотрены в статьях^{/10/}. В модели сферического фазового объема события генерировались в соответствии с законами сохранения энергии и импульса, а также с учетом распределений по множественности и корреляций в рождении заряженных и нейтральных частиц, наблюдающихся на опыте. В мультипериферической модели матричный элемент π^+p -взаимодействий составлялся из следующих компонент:

$$A = A_{\text{диф.}} + A_{\text{рез.}} + A_{\text{фон}} ;$$

$A_{\text{диф}}$ учитывает дифракционное рождение адронов, $A_{\text{рез}}$ - образование барионных и мезонных резонансов в узлах мультипериферической цепочки, $A_{\text{фон}}$ - описывает статистические кластеры. Между блоками мультипериферической цепочки предполагается обмен пионом. Как показано в работах /9/, модель хорошо описывает одночастичные и двухчастичные распределения вторичных заряженных частиц в π^-p -взаимодействиях при импульсе 40 ГэВ/с и, следовательно, может служить мерой критичности коллективных переменных к динамическим особенностям, не проявляющимся в инклюзивных спектрах.

§2. ВЫБОР ПЕРЕМЕННЫХ

Изучение конфигурации π^-p -взаимодействий в трехмерном пространстве проводилось в системе координат "главных осей" события, которые являются осями симметрии для данной конфигурации векторов импульсов вторичных частиц. Переход в эту систему координат производился путем диагонализации матрицы, составленной из компонентов импульсов вторичных заряженных частиц в с.ц.и. π^-p -столкновений;

$$M_{\alpha\beta} = \sum_{i=1}^{n_{\pm}} P_{i\alpha} P_{i\beta}; \quad \alpha, \beta = x, y, z. \quad /1/$$

Диагональным элементам этой матрицы Q_1 , Q_2 и Q_3 соответствуют единичные векторы \vec{n}_1 , \vec{n}_2 и \vec{n}_3 , задающие направление "главных осей" в событии. Если диагональные элементы расположить в порядке возрастания их величин, $Q_1 > Q_2 > Q_3$, то вектор \vec{n}_1 будет определять направление наибольшей пространственной вытянутости события, \vec{n}_2 - направление наибольшей вытянутости в плоскости, перпендикулярной \vec{n}_1 , а \vec{n}_3 - направление наибольшей сжатости в этой плоскости /рис.1/. Ось, совпадающая с направлением вектора \vec{n}_1 , является осью струй в предположении о том, что π^-p -взаимодействия имеют двухструйную структуру. Диагональные элементы матрицы /1/ представляют собой сумму квадратов компонент импульсов вторичных частиц (P'_i) в системе координат главных осей:

$$Q_1 = \sum_{i=1}^{n_{\pm}} P_{i1}^2, \quad Q_2 = \sum_{i=1}^{n_{\pm}} P_{i2}^2, \quad Q_3 = \sum_{i=1}^{n_{\pm}} P_{i3}^2, \quad /2/$$

и определяют пространственную форму взаимодействия. Если $Q_1 \sim Q_2 \sim Q_3$, то событие сферически-симметрично; если $Q_1 \gg Q_2$, $Q_1 \gg Q_3$ и $Q_2 \sim Q_3$, событие обладает цилиндрической симметрией; если $Q_1 \sim Q_2$ и $Q_1, Q_2 \gg Q_3$, то событие плоское, напоминающее по форме диск.

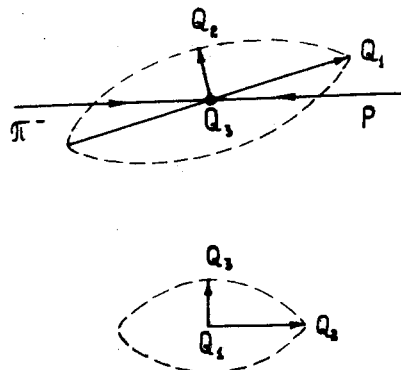


Рис.1. Схематическое изображение "главных осей".

В работе будут рассмотрены также отношения переменных Q_2/Q_1 и Q_3/Q_2 , определяющие соответственно выстроенность вторичных частиц относительно направления \vec{n}_1 и планарность события. Чем меньше величина отношения Q_2/Q_1 , тем большей выстроенностью характеризуется событие. Для планарных событий отношение $Q_3/Q_2 \ll 1$. Особое внимание в работе уделяется анализу струйных характеристик взаимодействия "сферисити" и "траст". Сферисити определяется в системе координат главных осей согласно формуле

$$S = \frac{3}{2} \frac{Q_2 + Q_3}{Q_1 + Q_2 + Q_3} \quad /3/$$

и принимает значения от 0 для коллинеарных событий до 1 для взаимодействий сферически-симметричной конфигурации. Переменная траст определялась традиционным образом:

$$T = \max \sum_{i=1}^{n_{\pm}} |P_{i1}| / \sum_{i=1}^{n_{\pm}} |P_i|, \quad /4/$$

где P_{i1} - продольный импульс вторичных частиц относительно оси, для которой сумма $\sum_{i=1}^{n_{\pm}} |P_{i1}|$ имеет максимальное значение /11/. Величина T меняется от 0,5 для сферических событий до 1 - для коллинеарных. В работе будут также коротко рассмотрены переменные $\langle P_{\text{out}}^2 \rangle$ и $\langle P_{\text{in}}^2 \rangle$, определяемые в системе координат главных осей и характеризующие поперечные размеры пространственной конфигурации события:

$$\langle P_{\text{out}}^2 \rangle = \frac{1}{n_{\pm}} Q_3, \quad \langle P_{\text{in}}^2 \rangle = \frac{1}{n_{\pm}} Q_2. \quad /5/$$

§3. СРАВНЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ С МОДЕЛЬНЫМИ РАСЧЕТАМИ

В таблице представлены средние значения коллективных переменных для π^-p -взаимодействий при импульсе 40 ГэВ/с, а также результаты расчета этих переменных для событий, смоделированных по сферическому фазовому объему и по мультиперифериче-

Таблица

Переменные	Π -р, 40 ГэВ/с	Модель фаз. об. с учётом нейтральных частиц	Модель фаз. об. с учётом нейтральных частиц	Мультипериферическая модель	Мультипериферическая модель с учётом нейтральных частиц
$\langle S \rangle$	$0,239 \pm 0,002$	$0,454 \pm 0,002$	$0,494 \pm 0,002$	$0,220 \pm 0,002$	$0,175 \pm 0,001$
$\langle S \rangle^*$	$0,276 \pm 0,002$			$0,253 \pm 0,002$	
$\langle T \rangle$	$0,841 \pm 0,001$	$0,756 \pm 0,001$		$0,850 \pm 0,001$	
$\langle T \rangle^*$	$0,824 \pm 0,001$			$0,885 \pm 0,001$	
θ^0	$19,1 \pm 0,1$	$57,4 \pm 0,2$	$53,9 \pm 0,2$	$15,0 \pm 0,1$	$8,8 \pm 0,1$
$\langle \theta_1 \rangle, (\text{ГэВ}/c)^2$	$9,1 \pm 0,1$	$5,38 \pm 0,04$	$8,21 \pm 0,04$	$8,8 \pm 0,1$	$13,75 \pm 0,06$
$\langle Q_2 \rangle, (\text{ГэВ}/c)^2$	$0,711 \pm 0,007$	$1,62 \pm 0,01$	$2,81 \pm 0,01$	$0,670 \pm 0,005$	$1,020 \pm 0,006$
$\langle Q_3 \rangle, (\text{ГэВ}/c)^2$	$0,177 \pm 0,002$	$0,404 \pm 0,004$	$0,842 \pm 0,006$	$0,163 \pm 0,001$	$0,308 \pm 0,002$
$\langle Q_2/Q_1 \rangle$	$0,175 \pm 0,002$	$0,573 \pm 0,002$	$0,404 \pm 0,002$	$0,158 \pm 0,002$	$0,111 \pm 0,001$
$\langle Q_3/Q_2 \rangle$	$0,283 \pm 0,002$	$0,296 \pm 0,002$	$0,345 \pm 0,002$	$0,273 \pm 0,002$	$0,328 \pm 0,002$
$\langle P_{out}^2 \rangle, (\text{ГэВ}/c)^2$	$0,0261 \pm 0,0002$	$0,0691 \pm 0,0007$	$0,106 \pm 0,001$	$0,0246 \pm 0,0002$	$0,0321 \pm 0,0002$
$\langle P_{in}^2 \rangle, (\text{ГэВ}/c)^2$	$0,116 \pm 0,001$	$0,306 \pm 0,003$	$0,388 \pm 0,003$	$0,116 \pm 0,001$	$0,123 \pm 0,001$

* Данные приводятся без учета дифракционных взаимодействий.

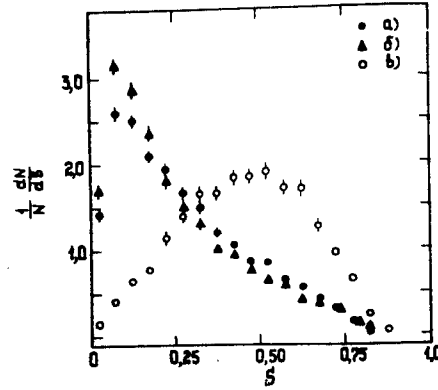


Рис.2. Распределение π -р-взаимодействий при импульсе 40 ГэВ/с по величине сферисити: а/ в эксперименте; б/ в мультипериферической модели; в/ в модели сферического фазового объема.

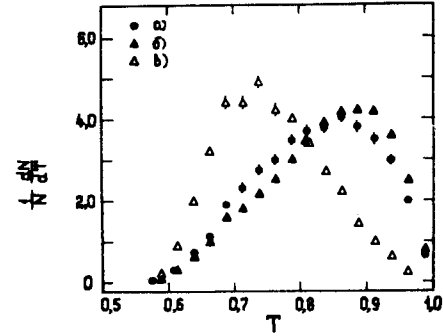


Рис.3. Распределение π -р-взаимодействий при импульсе 40 ГэВ/с по величине траст; а/ в эксперименте; б/ в мультипериферической модели; в/ в модели сферического фазового объема.

ской модели. Хотя события фазового объема в среднем сферически-симметричны и для них должно выполняться соотношение $Q_1 - Q_2 \sim Q_3$, а переменные S и T должны быть равны соответственно 1 и 0,5, в значениях переменных S , T , Q_1 , Q_2 и Q_3 наблюдаются значительные отклонения от ожидаемых величин. Такие различия вызваны влиянием флуктуаций в пространственной конфигурации вторичных частиц в событиях, особенно сильно проявляющихся при переходе в систему координат главных осей. Тем не менее наблюдающиеся в эксперименте значения струйности, выстроенности, а также средних поперечных импульсов $\langle P_{out}^2 \rangle$ и $\langle P_{in}^2 \rangle$ объяснить влиянием флуктуаций нельзя. Учет нейтральных частиц в модели сферического фазового объема приводит к некоторому уменьшению флуктуаций и увеличению величины сферисити до 0,49.

Расчеты коллективных переменных, проведенные для событий мультипериферической модели с учетом методических особенностей эксперимента, показывают в среднем неплохое согласие с экспериментальными данными.

Для более детального анализа на рис.2 и 3 представлены распределения реальных и смоделированных π -р-взаимодействий при импульсе 40 ГэВ/с по переменным S и T .

Сравнение этих распределений показывает, что мультипериферическая модель качественно неплохо описывает экспериментальные данные, хотя смоделированные события отличаются большей "струйностью". Более заметные расхождения между моделью и

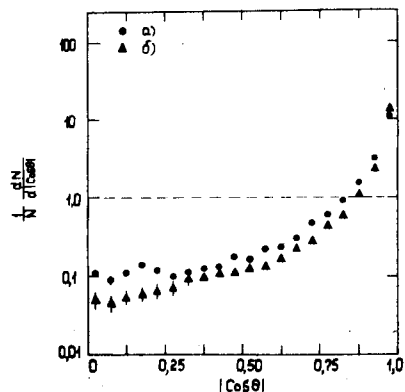


Рис.4. Распределение π^-p -событий по величине $\cos\theta$, где θ - угол между осью струй и первичным направлением пучка: а/ в эксперименте; б/ в мультипериферической модели; прерывистой линией показано распределение в модели сферического фазового объема.

экспериментом проявляются в ориентации главных осей. На рис.4 показано распределение π^-p -взаимодействий по величине $\cos\theta$, где θ - угол, образованный осью с единичным вектором \vec{p}_1 /осью струй/ и направлением движения сталкивающихся частиц. Видно, что в смоделированных событиях ось \vec{p}_1 ориентирована в основном под меньшими углами к первичному направлению. Средние значения угла θ в модели и в эксперименте составили соответственно 15° и 19° . Распределение $dN/d|\cos\theta|$ в модели фазового объема изотропно.

Неплохое согласие расчетов коллективных переменных для событий мультипериферической модели с экспериментальными данными позволило оценить влияние нейтральных частиц на величину этих переменных и ориентацию главных осей. Значения коллективных переменных, вычисленные с учетом π^0 -мезонов и нейтронов в смоделированных событиях, также представлены в таблице. Видно, что нейтральные частицы увеличивают струйность взаимодействий и приводят к уменьшению величины S от 0,22 до 0,175. Угол, образованный осью струй с первичным направлением движения адронов, уменьшается при этом до $\sim 9^\circ$. Учет нейтральных частиц в смоделированных событиях приводит к увеличению выстроенности вторичных частиц вдоль оси струй и к уменьшению планарности взаимодействий. Средние поперечные импульсы событий в мультипериферической модели $\langle P_{out}^2 \rangle$ и $\langle P_{in}^2 \rangle$ после добавления нейтральных пионов и нейтронов возрастают.

§4. АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОНФИГУРАЦИИ π^-p -ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ МНОЖЕСТВЕННОСТИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Поскольку в π^-p -столкновениях при разной множественности заряженных частиц доминируют различные механизмы рождения /на-

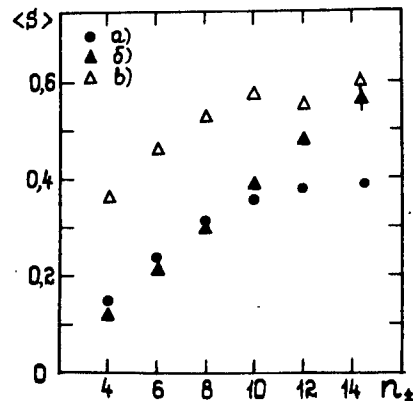
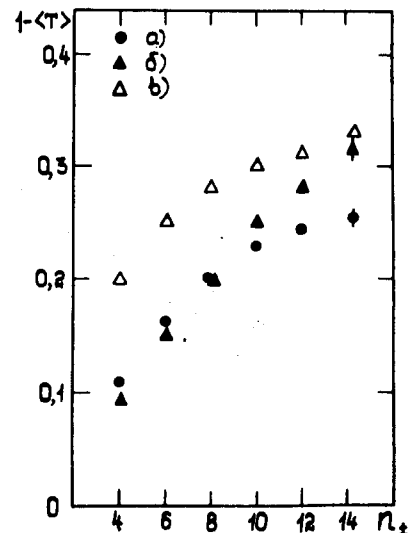


Рис.5. Зависимость средних значений величины сферисити $\langle S \rangle$ от множественности заряженных частиц n_{\pm} в π^-p -столкновениях при $P=40$ ГэВ/с: а/ в эксперименте; б/ в мультипериферической модели; в/ в модели сферического фазового объема.

Рис.6. Зависимость средней величины разности $1-\langle T \rangle$ от множественности n_{\pm} в π^-p -столкновениях при импульсе 40 ГэВ/с: а/ в эксперименте; б/ в мультипериферической модели; в/ в модели сферического фазового объема.



пример, при малой множественности n_{\pm} преобладают дифракционные процессы и образование пионов через резонансы/, естественно предположить, что конфигурация π^-p -взаимодействий меняется с изменением множественности n_{\pm} . На рис.5 и 6 показаны средние значения струйных характеристик S и T для разной множественности заряженных частиц в реальных и смоделированных событиях. Как видно из рисунков, при сравнении с моделью сферического фазового объема при всех множественностях $n_{\pm} \geq 4$ наблюдаются значительные отклонения в конфигурации π^-p -событий от сферически-симметричной картины, т.е. реальные взаимодействия при всех n_{\pm} обладают в основном двухструйной структурой. Причем с увеличением множественности n_{\pm} от 4 до 10 струйность событий существенно уменьшается, а для значений $n_{\pm} > 10$ величины $\langle S \rangle$ и $1-\langle T \rangle$ практически не меняются. Мультипериферическая модель неплохо описывает зависимость средних величин $\langle S \rangle$ и $1-\langle T \rangle$ от множественности заряженных частиц в событиях для малых значений n_{\pm} , а для $n_{\pm} > 10$ наблюдаются большие различия

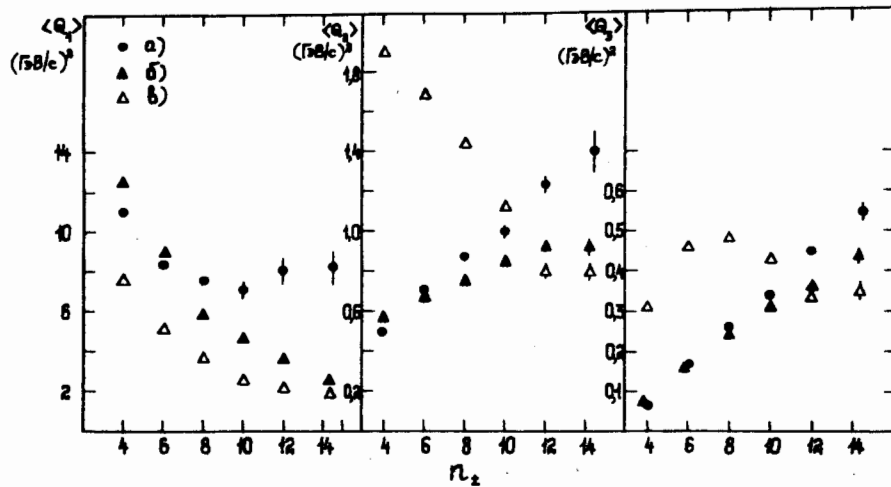


Рис. 7. Зависимость средних значений диагональных элементов матрицы $M_{\alpha\beta}$ $\langle Q_1 \rangle$, $\langle Q_2 \rangle$ и $\langle Q_3 \rangle$ от множественности заряженных частиц n_{\pm} в π^-p -столкновениях при $P = 40$ ГэВ/с: а/ в эксперименте; б/ в мультипериферической модели; в/ в модели сферического фазового объема.

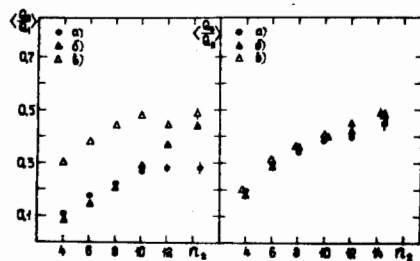


Рис. 8. Зависимость средних значений выстроенности Q_2/Q_1 и планарности Q_3/Q_2 от множественности заряженных частиц n_{\pm} в π^-p -взаимодействиях при импульсе 40 ГэВ/с: а/ в эксперименте; б/ в мультипериферической модели; в/ в модели сферического фазового объема.

в модели и эксперименте. Такое поведение переменных $\langle S \rangle$ и $\langle T \rangle$ может быть вызвано следующими причинами: при малых множественностях заряженных частиц в модели в узлах мультипериферической цепочки преобладает резонансное рождение адронов, а при больших n_{\pm} большую роль играют статистические кластеры, которые отличаются симметричной конфигурацией в фазовом пространстве и дают большие значения переменных $\langle S \rangle$ и $1 - \langle T \rangle$.

На рис. 7 показаны зависимости от множественности n_{\pm} диагональных элементов матрицы $/I/$ в реальных и смоделированных событиях. В этих переменных различия между мультиперифериче-

ской моделью и экспериментом проявляются еще сильнее. При больших множественностях пространственная конфигурация смоделированных π^-p -взаимодействий приближается к сферически-симметричной конфигурации событий в модели фазового объема, при малых множественностях заряженных частиц $n_{\pm} = 4, 6, 8$ расхождения между моделью и экспериментом незначительны.

Большой интерес представляет также изучение выстроенности вторичных частиц Q_2/Q_1 относительно оси струй \hat{n}_1 и планарности событий Q_3/Q_2 . Распределения отношений Q_2/Q_1 и Q_3/Q_2 в зависимости от множественности n_{\pm} представлены на рис. 8. Видно, что π^-p -взаимодействия при всех значениях n_{\pm} характеризуются выстроенностью заряженных частиц относительно главной оси \hat{n}_1 . С увеличением множественности n_{\pm} выстроенность уменьшается и для $n_{\pm} \geq 10$ имеет постоянное значение. Мультипериферическая модель неплохо описывает данные эксперимента в области малых множественностей.

Изучение планарности π^-p -событий при импульсе 40 ГэВ/с показывает хорошее согласие эксперимента как с мультипериферической моделью, так и с моделью сферического фазового объема. Этот результат говорит о том, что π^-p -столкновения при $P = 40$ ГэВ/с обладают цилиндрической симметрией.

Интересно отметить, что K^-p -взаимодействия при импульсе 8,25 ГэВ/с^{1/} и π^-p -взаимодействия при 4 ГэВ/с и 25 ГэВ/с^{2/} при малых множественностях вторичных частиц отличаются планарностью, которая не описывается цилиндрическим фазовым объемом. События $p-p$ -столкновений при импульсе 22,4 ГэВ/с являются планарными при всех множественностях n_{\pm} ^{3/}.

§5. ВЫВОДЫ

1. Конфигурация π^-p -взаимодействий при импульсе 40 ГэВ/с при всех множественностях заряженных частиц n_{\pm} имеет двухструйный характер и не может быть объяснена влиянием флуктуаций в распределениях вторичных частиц в фазовом пространстве, а также влиянием нейтральных частиц, которые не участвуют в определении струйных характеристик.

Струйность π^-p -взаимодействий уменьшается с ростом множественности и для $n_{\pm} > 10$ практически не меняется.

2. События π^-p -столкновений при $p = 40$ ГэВ/с при всех множественностях n_{\pm} отличаются выстроенностью вторичных частиц относительно главной оси \hat{n}_1 . С увеличением множественности заряженных частиц выстроенность уменьшается и для $n_{\pm} \geq 10$ имеет постоянное значение.

Конфигурация π^-p -взаимодействий при импульсе 40 ГэВ/с в фазовом пространстве обладает цилиндрической симметрией.

3. Мультипериферическая модель неплохо описывает средние величины рассматриваемых в работе коллективных переменных. Однако исследования зависимости средних значений этих переменных от множественности заряженных частиц в событиях показывают значительные расхождения между моделью и экспериментом в области больших значений n_{\pm} .

В области малых множественностей n_{\pm} наблюдается неплохое согласие экспериментальных данных с мультипериферической моделью.

Авторы выражают благодарность сотрудничеству по исследованию множественных процессов на 2-метровой пропановой пузырьковой камере за помощь в работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kakoulidou M. et al. Nucl.Phys., 1977, B130, p.189.
2. Kostka P. et al. Nucl.Phys., 1975, B86, p.1.
3. Ajinenko I.V. et al. Nucl.Phys., 1978, B135, p.365.
4. Боголюбский М.Ю. и др. ЯФ, 1980, т.32, с.141.
5. Боос Э.Г. и др. ЯФ, 1980, т.31, с.375.
6. Гришин В.Г., Диденко Л.А., Канарек Т. ОИЯИ, P1-81-542, Дубна, 1981.
7. Комарова С.Н. и др. ОИЯИ, 1-8501, Дубна, 1974.
8. Волков Е.И. и др. ЯФ, 1973, 17, с.407; 18, с.437.
9. Волков Е.И., Канарек Т.И. ОИЯИ, 1-8035, Дубна, 1974; Препринт ФИАН, М., 1975, 115.
10. Абдурахимов А.У. и др. ОИЯИ, P1-6326, Дубна, 1972; ЯФ, 1973, т.18, с.545.
11. Brandt S., Dahmen H.D. Z.Phys., 1979, C1, p.61.

Рукопись поступила в издательский отдел
5 апреля 1982 года.