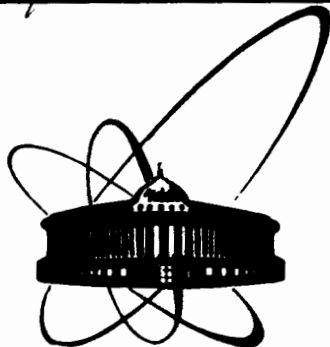


4507/82

20/IX-82



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P1-82-393

В.Г.Гришин, Л.А.Диденко, С.М.Елисеев,
Т.Канарек, З.В.Метревели, В.С.Мурзин

АНАЛИЗ СТРУЙНОГО ПОВЕДЕНИЯ АДРОНОВ
В π -С-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ
ПРИ ИМПУЛЬСЕ 40 ГэВ/с

Направлено в журнал "Ядерная физика"

1982

§1. ВВЕДЕНИЕ

В последнее время заметно возрос поток работ, в которых проводится сравнение множественного рождения вторичных частиц в таких различных процессах, как e^+e^- , ip и адрон-адронные взаимодействия при высоких энергиях $/1-8/$. Сравниваются самые разнообразные характеристики: множественность заряженных частиц, одночастичные инклюзивные распределения, коллективные свойства и многочастичные корреляции адронов, образующихся в этих взаимодействиях. Исследуются как жесткие процессы в адрон-адронных столкновениях, отождествляемые с кварк-кварковыми рассеянием, так и мягкие процессы, характеризующиеся малыми переданными импульсами.

Многочисленные исследования указывают на существование определенных свойств подобия в поведении адронов, образующихся в e^+e^- , ip -столкновениях, а также в мягких и жестких процессах адрон-адронных взаимодействий. Несмотря на различный механизм этих взаимодействий, общим для них является существование кварк-глюонного промежуточного состояния с последующей фрагментацией /или рекомбинацией/ кварков в струю адронов, коллимированных по направлению движения фрагментирующих /или рекомбинирующих/ кварков. Наблюдающиеся в эксперименте свойства подобия в поведении адронов в этих, на первый взгляд различных, процессах, говорят о том, что характер фрагментации /или рекомбинации/ кварков в струю адронов мало зависит от типа первичного взаимодействия $/8/$.

Одним из таких важных и глобальных свойств адронов, образующихся в e^+e^- , ip и адрон-адронных столкновениях при высоких энергиях, является их струйность, которую можно характеризовать величиной сферисити:

$$S = \frac{3}{2} \min \frac{\sum_i P_{\perp i}^2}{\sum_i |P_i|^2} \quad /1/$$

Здесь \vec{P}_i - импульсы вторичных заряженных частиц в с.ц.и. сталкивающихся частиц; $P_{\perp i}$ - поперечные импульсы частиц относительно некоторой оси. Ось струи выбирается таким образом, чтобы $\sum P_{\perp i}^2$ по всем заряженным частицам в событии принимала минимальное значение. Величина S равна 1 для событий с большим числом вторичных частиц, распределенных изотропно в фазовом пространстве, и $S \ll 1$, если во взаимодействии образуются две

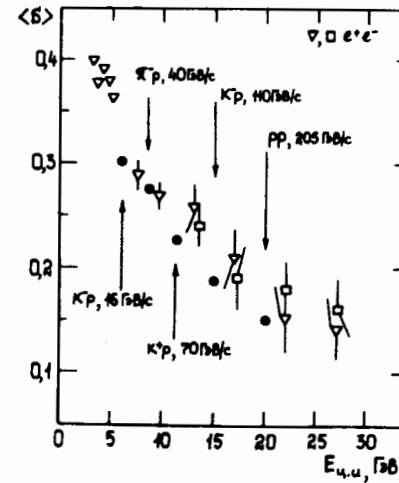


Рис.1. Зависимость средних значений сферисити $\langle S \rangle$ для разных типов взаимодействий с множественностью $n_{\pm} \geq 4$ от энергии в с.ц.и.: ∇, \square - для процессов e^+e^- -аннигиляции / ∇ - PLUTO -коллораация, \square - TASSO -коллораация/; \bullet - для адрон-адронных столкновений без дифракционной компоненты.

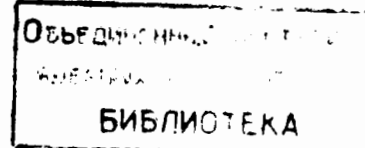
узко коллимированные группы частиц, летящие в противоположные стороны. Для иллюстрации на рис.1 приведены средние значения сферисити для процессов

e^+e^- -аннигиляции, K^+p и p^+p - и pp -взаимодействий с множественностью заряженных частиц в событии $n_{\pm} \geq 4$ в зависимости от энергии в с.ц.и. сталкивающихся частиц в интервале энергий от 16 до 200 ГэВ/с. Видно, что струйные характеристики адронов в этих взаимодействиях, при соответствующих энергиях $E_{c.m.}$ примерно одинаковы. С увеличением энергии сталкивающихся частиц струйность событий увеличивается.

Струйные характеристики адрон-ядерных столкновений почти не исследовались и могут представлять интерес для решения различных проблем, связанных с адрон-ядерными взаимодействиями $/12,15/$: дискриминацией моделей, формированием адронных струй и т.д.

§2. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для анализа использовалось 6480 полностью измеренных π^-C -взаимодействий при импульсе $P=40$ ГэВ/с. Методика отбора событий и обработки экспериментальных данных подробно описана в работах $/9,10/$. Взаимодействия налетающего пиона с квазисвободными нуклонами ядер углерода отбирались согласно стандартным критериям отбора π^-p - и π^-d -столкновений и изучались отдельно. Струйные характеристики вторичных частиц в π^-p -взаимодействиях с множественностью $n_{\pm} \geq 4$ при импульсе 40 ГэВ/с исследовались ранее и опубликованы в работе $/8/$. Для сравнения были рассмотрены также струйные характеристики π^-d -столкновений при импульсе 40 ГэВ/с с множественностью заряженных частиц в событиях $n_{\pm} \geq 3$ и $n_{\pm} \geq 5$. Статистика составила соответственно 3342 и 2533 события.



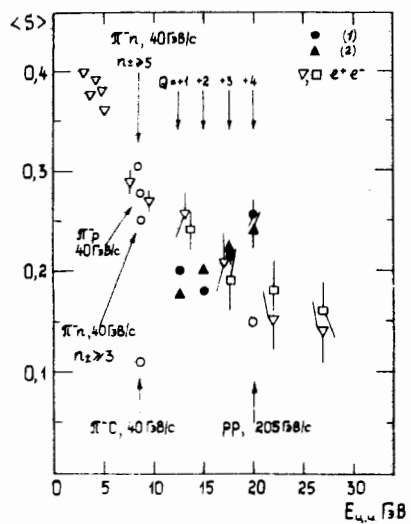


Рис. 2. Зависимость средних значений сферисити $\langle S \rangle$ для разных типов взаимодействий с множественностью $n_{\pm} \geq 4$ от энергии в с.ц.и. сталкивающихся частиц: ∇, \square - для процессов e^+e^- -аннигиляции /V - PLUTO - коллаборация; \square - TASSO - коллаборация; \triangle - для многонуклонных π^-C -столкновений при импульсе 40 ГэВ/с; \triangle - для π^-C -событий, смоделированных в рамках модели внутриядерного каскада.

Значения переменной сферисити для π^-p - и π^-p -взаимодействий при импульсе 40 ГэВ/с показаны на рис. 2. Видно,

что они хорошо согласуются с данными для e^+e^- -столкновений при тех же энергиях в с.ц.и. сталкивающихся частиц.

В отобранных π^-C -взаимодействиях анализировались все вторичные частицы с множественностью $n_{\pm} \geq 4$, за исключением протонов с импульсом в лаб. системе $P_{\text{лаб.}} \leq 300$ МэВ/с, поскольку в этой области велика примесь испарительных протонов ядрамишени.

Вычисление переменной сферисити для каждого события производилось путем диагонализации матрицы, составленной из компонентов импульсов вторичных частиц в с.ц.и. сталкивающихся частиц:

$$M_{\alpha\beta} = \sum_{i=1}^{n_{\pm}} P_{i\alpha} P_{i\beta}; \quad \alpha, \beta = x, y, z. \quad /2/$$

На рис. 2 стрелкой показано среднее значение сферисити для π^-C -взаимодействий при импульсе 40 ГэВ/с в с.ц.и. налетающего пиона и нуклона ядра. Видно, что оно сильно отличается от величины $\langle S \rangle$, полученной для π^-p - и π^-p -столкновений при той же энергии и процессов e^+e^- -аннигиляции при близких энергиях. Причина столь значительного расхождения может заключаться в том, что с.ц.и. π^-N -столкновения не является с.ц.и. для π^-C -взаимодействий из-за большого вклада многонуклонных взаимодействий. Следовательно, сравнение с данными по e^+e^- и π^-N -столкновениям некорректно. Поэтому для изучения струйных характеристик π^-C -соударений был применен более детализированный подход.

Все события разделялись в соответствии с суммарным зарядом вторичных частиц, который определялся согласно формуле:

$$Q_i = N_+ - N_-$$

где N_+ и N_- - количество положительных и отрицательных частиц во взаимодействии, за исключением протонов с импульсом $P_{\text{лаб.}} \leq 300$ МэВ/с. При таком отборе событиям с зарядом $Q_i = +1$ соответствовало взаимодействие налетающего π^- -мезона с двумя протонами; с зарядом $Q_i = +2$ - взаимодействие с тремя протонами и т.д. Поскольку во взаимодействиях могли принимать участие также и нейтроны, для оценки их числа был проведен расчет по методу Монте-Карло в рамках каскадной модели пион-углеродных столкновений. Среднее число нейтронов во взаимодействиях с различными Q_i оказалось равным ~ 1 . Количество событий с зарядом $Q_i = +1, +2, +3$ и $+4$ составило соответственно: 2034, 968, 392 и 138.

Величина сферисити для каждой группы событий вычислялась в с.ц.и. взаимодействующих частиц, т.е. в с.ц.и. налетающего π^- -мезона и соответствующего числа протонов, участвующих во взаимодействии. Полученные данные приведены на рис. 2, где на горизонтальной оси для e^+e^- и адрон-адронных взаимодействий отложена энергия в с.ц.и. сталкивающихся частиц, а для адрон-ядерных - энергия, определяемая по формуле:

$$E_{\text{с.ц.и.}} = \sqrt{2nm_p E_{\pi} + n^2 m_p^2 + m_{\pi}^2} - \sqrt{2nm_p E_{\pi}}. \quad /3/$$

Здесь m_p и m_{π} - массы протона и π -мезона, E_{π} - энергия налетающего пиона; n - число протонов, участвующих во взаимодействии. Учет нейтронов в этих взаимодействиях, проведенный по методу Монте-Карло в рамках каскадной модели адрон-ядерных столкновений, приводит к изменениям в величине $E_{\text{с.ц.и.}}$ не превышающим 10%.

Как видно из рисунка, струйное поведение адронов в π^-C -взаимодействиях при импульсе 40 ГэВ/с отличается от поведения вторичных частиц в e^+e^- - и адрон-адронных столкновениях. С увеличением числа нуклонных столкновений величина сферисити в π^-C -взаимодействиях, в целом, растет. Необходимо отметить, что в случае столкновений π^- -мезонов с одним квазисвободным нуклоном ядра углерода, каковыми являются "квази" π^-p - и π^-p соударения /"квази" π^-p -взаимодействия составляют, примерно, 44% от всех анализируемых в данной работе π^-p -событий/, струйные характеристики вторичных частиц совпадают с их значениями для процессов e^+e^- -аннигиляции при близких энергиях.

Полученный результат означает, что механизм формирования адронных струй на ядрах имеет более сложный характер, чем в элементарных взаимодействиях, и нельзя полагать, что адрон-ядерные столкновения подобны адрон-адронным при одинаковых энергиях в с.ц.и. сталкивающихся частиц. Наблюдаемое поведение

величины сферисити противоречит ряду моделей /11/ /например, модели трубки/, в которых такое подобие имеет место.

Для исследования роли ядра в образовании струй мы рассмотрели простейшую модель внутриядерного каскада для π^-C -взаимодействий при импульсе 40 ГэВ/с с мгновенным формированием адронной компоненты и дальнейшим перерасеянием в ядре реальных частиц /13,14/. Множественности и одночастичные распределения вторичных частиц, образующихся в многонуклонных взаимодействиях π^- -мезонов при импульсе 40 ГэВ/с в рамках этой модели, изучались и сравнивались с экспериментальными данными ранее и опубликованы в работах /13/. Было показано, что модель не дает полного согласия с экспериментом, однако неплохо описывает многие качественные особенности многонуклонных взаимодействий.

Средние значения переменной сферисити, полученные для смоделированных π^-C -событий при аналогичном подходе, приведены на рис.2, из которого видно, что энергетическая зависимость величины $\langle S \rangle$ в каскадной модели носит растущий характер, т.е. с увеличением числа столкновений с нуклонами ядра углерода и ростом эффективной массы этих взаимодействий сферичность событий увеличивается.

Таким образом, учет перерасеяния в ядре приводит к росту сферичности событий, но количественного согласия между моделью и экспериментом не наблюдается.

Различия между экспериментальными данными и расчетами по модели внутриядерного каскада могут быть обусловлены как необходимостью более детального рассмотрения процесса формирования и распространения адронных струй на ядрах, так и особенностями механизма адрон-ядерных взаимодействий, неучтенными в каскадной модели. Величина сферисити, в основном, характеризует процессы фрагментации кварков в струю ядронов. Направление же оси струй вторичных частиц в значительной степени определяется механизмом первичного взаимодействия /6/.

В таблице представлены средние значения $|\cos\theta|$, где θ - угол наклона оси струи относительно первичного направления для π^-p - и π^-C -взаимодействий при импульсе 40 ГэВ/с, а также для pp -взаимодействий при $P=205$ ГэВ/с. Видно, что во всех группах многонуклонных π^-C -взаимодействий вторичные частицы сильнее коллимированы относительно первичного направления, чем в p -столкновениях при той же энергии налетающего π^- -мезона. Средние значения $|\cos\theta|$, полученные для смоделированных π^-C -событий, несильно отличаются от экспериментальных данных.

Для того, чтобы более детально проанализировать свойства адронных струй, образующихся на ядрах, и исключить возможное влияние особенностей механизма адрон-ядерных взаимодействий на струйные характеристики событий, величина сферисити вычис-

Таблица

Средние значения $|\cos\theta|$, где θ - угол ориентации струи адронов относительно первичного направления

Тип взаимодействия		Средние значения $ \cos\theta $	
		Эксперимент	Модель внутриядерного каскада
π^-p , 40 ГэВ/с		$0,885 \pm 0,002$	
pp , 205 ГэВ/с		$0,969 \pm 0,002$	
π^-C , 40 ГэВ/с		$0,949 \pm 0,001$	
с.ц.и. для π^-N столкновения			
π^-C , 40 ГэВ/с	$Q = +1$	$0,952 \pm 0,003$	$0,962 \pm 0,003$
	$Q = +2$	$0,970 \pm 0,003$	$0,965 \pm 0,004$
	$Q = +3$	$0,955 \pm 0,006$	$0,974 \pm 0,006$
	$Q = +4$	$0,965 \pm 0,008$	$0,979 \pm 0,009$

лялась отдельно для адронных струй, летящих по направлению движения первичного пions и против него. Средние значения переменной $\langle S \rangle$ для вторичных частиц с $x_1 = \frac{2P_{\perp 1}^*}{E_{с.ц.и.}} \geq 0,05$ и $x_1 \leq -0,05$ и множественностью в струе $n_{\pm} \geq 4$ в модели и в эксперименте, приведены на рис.3 и 4 соответственно / $P_{\perp 1}^*$ обозначает продольный импульс вторичных частиц в с.ц.и. π^- -мезона и n - числа протонов/. Из рис.3 видно, что струйные характеристики вторичных частиц, летящих по направлению движения налетающего пions, практически совпадают с их значениями для e^+e^- и адрон-адронных столкновений при одинаковых энергиях. С ростом энергии $E_{с.ц.и.}$ величина сферисити для этой группы частиц уменьшается, т.е. струйность увеличивается. Аналогичные расчеты, проведенные в рамках каскадной модели, значительно отличаются от экспериментальных данных: средние значения сферисити для вторичных частиц с $x_1 \geq 0,05$ в смоделированных событиях меньше, чем в эксперименте, и их зависимость от энергии $E_{с.ц.и.}$ очень слабая.

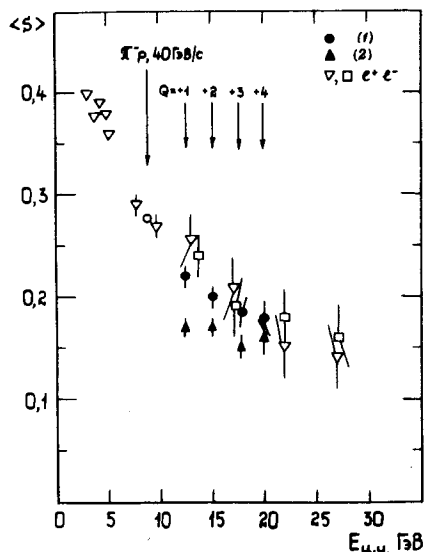


Рис. 3. Зависимость средних значений сферисити $\langle S \rangle$ для разных типов взаимодействий с множественностью $p_{\pm} \geq 4$ от энергии в с.ц.и. сталкивающихся частиц: ∇, \square для процессов e^+e^- -аннигиляции; $/1/$ - для вторичных частиц с $x_1 \geq 0,05$ в различных группах многонуклонных π^-C -столкновений при импульсе 40 ГэВ/с; $/2/$ - для вторичных частиц с $x_1 \geq 0,05$ в смоделированных по каскадной модели событиях.

Величина сферисити, рассчитанная для частиц с $x_1 \leq -0,05$, во всех группах многонуклонных взаимодействий существенно отличается от струйных характеристик e^+e^- и адрон-адронных столкновений при соответствующих энергиях $E_{с.ц.и.}$ и почти не зависит от эффективной массы взаимодействующих частиц. Поскольку в адрон-ядерных взаимодействиях в область $x_1 \leq -0,05$ большой вклад дают протоны, то, как следует из экспериментальных данных, они образуют сильно коллимированную струю, летящую "назад" в с.ц.и. взаимодействующих частиц.

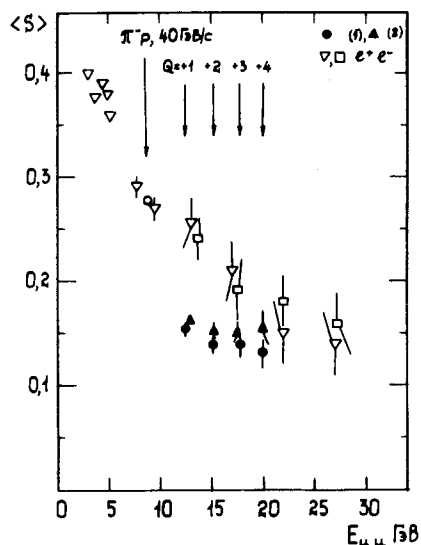


Рис. 4. Зависимость средних значений сферисити $\langle S \rangle$ для разных типов взаимодействий с множественностью $p_{\pm} \geq 4$ от энергии в с.ц.и. сталкивающихся частиц: ∇, \square для процессов e^+e^- -аннигиляции; $/1/$ - для вторичных частиц с $x_1 \leq -0,05$ в различных группах многонуклонных π^-C -столкновений при импульсе 40 ГэВ/с; $/2/$ - для вторичных частиц с $x_1 \leq -0,05$ в смоделированных по каскадной модели событиях.

Модель внутриядерного каскада хорошо описывает струйные характеристики вторичных частиц в области $x_1 \leq -0,05$.

Аналогичный отбор вторичных частиц с $x_1 \geq 0,05$ и $x_1 \leq -0,05$ и множественностью в струе $p_{\pm} \geq 4$ в π^-p -столкновениях при импульсе 40 ГэВ/с дает изменения в величине сферисити $<10\%$.

§3. ВЫВОДЫ И ОБСУЖДЕНИЕ ДАННЫХ

1. Струйные характеристики многонуклонных π^-C -взаимодействий при импульсе $P=40$ ГэВ/с, в целом, существенно отличаются от струйных характеристик e^+e^- - и адрон-адронных столкновений. При малом числе нуклонных столкновений $\nu \leq 3$ струйность π^-C -взаимодействий больше, чем в адрон-адронных соударениях при той же энергии налетающих частиц. С ростом ν величина сферисити для π^-C -событий увеличивается.

2. Учет перерасеяния частиц в ядре в простейшем приближении каскадной модели дает рост сферичности и, таким образом, позволяет понять качественное различие поведения величины сферисити в элементарных и ядерных взаимодействиях. Следует, однако отметить, что в рамках некоторых моделей $/11/$ предсказывается подобие свойств вторичных частиц в адронных и ядерных столкновениях. Например, множественности, а также одночастичные инклюзивные структурные функции в адрон-адронных и адрон-ядерных процессах приблизительно одинаковы при одной и той же энергии в с.ц.и. сталкивающихся частиц.

Следовательно, полученные экспериментальные данные противоречат таким моделям.

3. Струйные характеристики вторичных адронов, летящих по направлению движения первичных пионов, в многонуклонных π^-C -соударениях при импульсе 40 ГэВ/с и их зависимость от энергии $E_{с.ц.и.}$ хорошо согласуются с данными для процессов e^+e^- -аннигиляции и адрон-адронных взаимодействий при одинаковых энергиях в с.ц.и. сталкивающихся частиц.

4. Величина сферисити, определенная для струи вторичных адронов, летящей в направлении, противоположном направлению движения первичного пучка пионов, в многонуклонных π^-C -соударениях при импульсе 40 ГэВ/с, существенно меньше ее значений для e^+e^- - и адрон-адронных взаимодействий при одинаковых энергиях в с.ц.и. сталкивающихся частиц. Струйное поведение вторичных частиц с $x_1 \leq -0,05$ во всех группах многонуклонных взаимодействий не противоречит каскадному механизму образования струй на ядрах.

В заключение авторы выражают благодарность Сотрудничеству по обработке снимков с двухметровой пропановой пузырьковой камеры за помощь в обработке экспериментального материала и полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Basile M. et al. Phys.Lett., 1980, 92B, p. 367; 1980, 95B, p. 311; 1981, 99B, p. 247.
2. Basile M. et al. Nuovo Cimento, 1980, 58A, p. 193.
3. Basile M. et al. Nuovo Cimento, 1980, 29, p. 491; 1981, 30, p. 389; 1981, 31, p. 273.
4. Ratti S.P. 20th Int.Conf. on High Energy Phys., 1980, Madison, Wisconsin, v. 1, p. 84.
5. Gottgens R. et al. Nucl.Phys., 1984, B178, p. 392.
6. Гришин В.Г., Диденко Л.А., Канарек Т. ОИЯИ, P1-81-542, Дубна, 1981.
7. Varth M. et al. Nucl.Phys., 1981, B192, p. 289.
8. Haidt D. DESY 81-084, 1981.
9. BBCDSSTU-BW.Collabor. Phys.Lett., 1972, 39B, p. 371.
10. Ангелов Н. и др. ЯФ, 1977, 25, с. 1013.
11. Паташинский А.З. Письма в ЖЭТФ, 1974, 19, с. 654. Berlad G., Dag A., Eilam G. Preprint, Technion-Israel, 1975.
12. Николаев Н.Н. УФН, 1981, 134, с. 370.
13. Гришин В.Г., Елисеев С.М., Иногамова Т.Я. ЯФ, 1973, 17, с. 1017; 1976, 23, с. 191.
14. Elissev S.M., Kohli J.M. Nucl.Phys., 1973, B59, p. 128.
15. Шабельский Ю.М. ЭЧАЯ, 1981, 12, с. 1070.

Рукоп.

28 мая 1982 года.

Гришин В.Г. и др. Анализ струйного поведения π^-C -взаимодействий при импульсе 40 ГэВ/с P1-82-393

В работе определяется средняя величина "сферисити" S для всех и многонуклонных π^-C -столкновений при импульсе 40 ГэВ/с. Исследуется зависимость переменной S от числа нуклонных столкновений. Полученные результаты сравниваются с данными по π^-N взаимодействиям при импульсе 40 ГэВ/с и данными по e^+e^- -аннигиляции. Приводятся расчеты величины S в рамках каскадной модели пион-углеродных столкновений.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1982

Grishin V.G. et al. Analysis of Hadron Jet Behaviour in π^-C Interactions at 40 GeV/c P1-82-393

The average value of "sphericity" S is determined for all the multinucleon π^-C collisions at 40 GeV/c. The dependence of S variable on nucleon collision number is investigated. The obtained results are compared with the data on π^-N interactions at 40 GeV/c and with the data on e^+e^- -annihilation. The calculations of S value within the cascade model of pion-carbon collisions are presented.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1982

Перевод О.С.Виноградовой.