

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

P1-84-624

Н.Ангелов, Н.Ахабабян, В.Г.Гришин, Л.А.Диденко,  
З.В.Метревели\*

СТРУЙНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ  
 $\pi^-$  р-ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ ПРИ 40 ГэВ/с  
В РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМАХ ОТСЧЕТА

Направлено в "Болгарский физический журнал"

---

\* ИФВЭ Тбилисского государственного университета

1984

## §1. ВВЕДЕНИЕ

Изучение проявления кварковой структуры адронов в процессах множественного образования частиц при высоких энергиях в настоящее время - предмет многих экспериментальных и теоретических исследований. При изучении динамики сильных взаимодействий особый интерес представляют мягкие процессы<sup>/1/</sup>.

В<sup>/2-5/</sup> эффекты, обусловленные кварковой структурой взаимодействующих адронов, были установлены при изучении пространственно-временных характеристик процессов множественного образования частиц в  $\pi^-p$ -,  $\pi^-p$ - и  $\pi^-C$ -взаимодействиях при 40 ГэВ/с в различных системах отсчета. В<sup>/6-10/</sup> исследовано "струйное поведение" этих событий: различные пространственные размеры и формы области излучения вторичных  $\pi^-$ -мезонов для событий с различными множественностями заряженных частиц были интерпретированы как проявление кварк-кварковых и многокварковых взаимодействий сталкивающихся частиц.

В настоящей работе изучаются характеристики адронов, образованных в  $\pi^-p$ -взаимодействиях при 40 ГэВ/с, с использованием аппарата струйных переменных. Исследования проводятся в различных системах отсчета /СО/, движущихся с лоренц-фактором  $\gamma = (1 - \beta^2)^{-1/2}$  относительно с.ц.и. " $\pi^-p$ " ( $\gamma = 1, \beta = 0$ )\*.

Как было показано в<sup>/11/</sup>, кинематические характеристики процесса множественного образования частиц должны иметь экстремальные значения в системе отсчета, в которой скорость движения источника вторичных частиц равна нулю. Эта СО может и не совпадать с с.ц.и. сталкивающихся частиц. Например, в представлениях аддитивной кварковой модели<sup>/12,13/</sup> система отсчета, в которой  $\vec{P}_p = -\frac{3}{2}\vec{P}_\pi$ , соответствует с.ц.и. взаимодействующих кварков для  $\pi^-p$ -взаимодействий /в данном случае она имеет  $\gamma = 1,02$  и  $\beta > 0$ /. Продольное движение источника можно "компенсировать" движением СО по оси столкновения первичных частиц, а симметрию искать дополнительным поворотом координатных осей и нахождением оси струи разлетающихся адронов. Струйное поведение вторичных частиц обычно характеризуется величиной "сферисити":

$$S = \frac{3}{2} \min \frac{\sum P_{i1}^2}{\sum |\vec{P}_i|^2} \quad /1/$$

\*В дальнейшем движение в направлении  $\vec{P}_\pi$  относительно с.ц.и. условно обозначено как  $\beta > 0$ , а в противоположном направлении -  $\beta < 0$ .

где  $\vec{P}_i$  - векторы импульсов частиц в данной СО,  $P_{i1}$  - поперечные импульсы частиц<sup>/14/</sup>. Требование минимума выражения /1/ однозначно определяет углы поворота СО и главную ось /ось струи/, относительно которой сумма квадратов поперечных импульсов минимальна. Первые экспериментальные результаты с использованием данного метода, - продольные трансформации и поворот осей, были получены в<sup>/9,10/</sup>. В настоящей работе проводится анализ изменений следующих величин: угла ( $\theta_S^\circ$ ) между осью струй и осью столкновения первичных частиц, угла раствора струй ( $\delta_\pm$ ), средних значений множественности заряженных ( $\langle n_\pm \rangle$ ) и отрицательных ( $\langle n_- \rangle$ ) частиц в струях. Кроме того, изучаются импульсные характеристики вторичных заряженных частиц в струях по  $x$ ,  $y$  и  $P_{\perp}^2 / x$  - фейнмановская переменная,  $y$  - продольная быстрота/.

Экспериментальный материал /около 14000  $\pi^-p$ -взаимодействий при 40 ГэВ/с/ получен на 2-метровой пропановой пузырьковой камере ЛВЭ ОИЯИ. Методика эксперимента описана в<sup>/15/</sup>. Надо отметить, что методические особенности эксперимента позволяют идентифицировать вторичные протоны с импульсом  $P_p \leq 0,7$  ГэВ/с. В настоящей работе рассматриваются только неупругие  $\pi^-p$ -взаимодействия с  $n_\pm \geq 4$ , в которых нет идентифицированных протонов. События, имеющие протоны с  $P_p \leq 0,7$  ГэВ/с, вместе с событиями дифракционного типа составляют предмет отдельного анализа.

## §2. СТРУЙНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Зависимость средних значений исследуемых величин от лоренц-фактора  $\gamma$  представлена: в табл.1 - струйные характеристики событий ( $\langle S \rangle$ ,  $\langle \theta_S^\circ \rangle$ ) и импульсные спектры вторичных частиц относительно оси струи ( $\langle x \rangle$ ,  $\langle y \rangle$  и  $\langle P_{\perp}^2 \rangle$ ), а в табл.2 - углы разлета  $\langle \delta_\pm \rangle$ , множественности вторичных заряженных  $\langle n_\pm \rangle$  и отрицательных  $\langle n_- \rangle$  частиц в струях, летящих "вперед" и "назад" в выбранной системе отсчета\*. Как видно, экспериментальные значения для  $\langle S \rangle$ ,  $\langle \theta_S^\circ \rangle$  и  $\langle P_{\perp}^2 \rangle$ , примерно одинаковые значения  $\langle \delta_\pm^B \rangle$  и  $\langle \delta_\pm^F \rangle$ ,  $\langle n_\pm^B \rangle$  и  $\langle n_\pm^F \rangle$ ,  $\langle n_-^B \rangle$  и  $\langle n_-^F \rangle$  и изменение знака для  $\langle x \rangle$  и  $\langle y \rangle$  получаются при  $\gamma = 1,02$  и  $\beta > 0$ , что соответствует кварковой системе отсчета. Такое поведение изменений исследуемых величин говорит о проявлении кварковой структуры взаимодействующих адронов во множественном образовании частиц<sup>/16,17/</sup>. Кроме того, не только средние значения, но и сами распределения исследуемых величин практически одинаковы в кварковой СО. Это иллюстрирует рис.1, на котором представлены угловые распределе-

\*Направление "вперед" /индекс F / условно выбрано для полушеры в направлении первичного  $\pi^-$ -мезона, "назад" /индекс B / - для полушеры первичного протона.

Таблица 1

Средние значения струйных характеристик событий с  $n_{\pm} \geq 4$  для различных значений  $y$  относительно с.ц.и.

$y$	$\langle S \rangle$	$\langle \theta_s^0 \rangle$	$\langle x \rangle$	$\langle y \rangle$	$\langle P_1^2 \rangle$ (ГэВ/с) <sup>2</sup>
4,7	0,017(1) <sup>x</sup>	2,34(3)	0,892(5)	2,47(5)	0,172(1)
1,5	0,138(1)	9,8(1)	0,225(1)	1,19(1)	0,165(1)
$\beta < 0$ 1,1	0,239(2)	17,5(2)	0,103(1)	0,64(1)	0,150(1)
1,06	0,255(2)	19,0(2)	0,084(1)	0,54(1)	0,146(1)
1,02	0,276(2)	21,2(2)	0,057(1)	0,38(1)	0,141(1)
1,0	0,294(2)	23,3(2)	0,023(1)	0,17(1)	0,137(1)
1,02	0,299(2)	24,0(2)	-0,009(1)	-0,04(1)	0,135(1)
$\beta > 0$ 1,06	0,293(2)	23,5(2)	-0,033(1)	-0,20(1)	0,138(1)
1,1	0,286(2)	22,7(2)	-0,050(1)	-0,31(1)	0,140(1)
1,5	0,204(2)	15,7(2)	-0,153(1)	-0,86(1)	0,156(1)
4,7	0,035(1)	3,74(5)	-0,665(4)	-2,15(1)	0,169(1)

\* Статистические ошибки представленных величин, указанные в скобках, относятся к последней цифре.

ния заряженных частиц, летящих "вперед" и "назад" в лабораторной и кварковой системах отсчета.

Однако, как было показано в /9,10/, события с различными множественностями вторичных заряженных частиц имеют разное поведение струйных характеристик в зависимости от  $y$ , связанные с различным числом взаимодействовавших кварков. На рис.2-4 представлены зависимости средних значений  $\langle S \rangle$ ,  $\langle P_1^2 \rangle$  и  $\langle n_{\pm} \rangle$  от  $y$  для событий с множественностью вторичных заряженных частиц  $n_{\pm} = 4, 6, 8$  и  $\geq 10$ . Как видно, экстремумы и выравнивание средних значений для частиц, летящих "вперед" и "назад", наблюдаются: для событий с множественностью  $n_{\pm} = 6, 8$  в кварковой СО, а для событий с большой множественностью  $n_{\pm} \geq 10$  - в с.ц.и. " $\pi^-p$ ". Аналогичное поведение имеют и другие исследуемые величины:  $\langle \theta_s^0 \rangle$ ,  $\langle \delta_{\pm}^0 \rangle$ ,  $\langle x \rangle$  и  $\langle y \rangle$ .

Мультипериферическая модель с образованием кластеров хорошо описывает большую совокупность экспериментальных данных для

Таблица 2

Средние значения некоторых характеристик для адронов, летящих "назад" и "вперед" в системах с различными значениями  $y$  относительно с.ц.и. " $\pi^-p$ " /события с  $n_{\pm} \geq 4$ /\*

$y$	$\langle \delta_{\pm}^0 \rangle$		$\langle n_{\pm} \rangle$		$\langle n_{-} \rangle$	
	назад	вперед	назад	вперед	назад	вперед
4,7	63,4(7)	14,8(1)	1,05(1)	6,30(2)	1,03(1)	3,16(1)
1,5	56,1(2)	29,6(2)	1,66(1)	5,20(2)	1,21(1)	2,73(1)
$\beta < 0$ 1,1	48,6(2)	34,7(1)	2,37(1)	4,30(2)	1,44(1)	2,35(1)
1,06	47,1(2)	35,7(1)	2,52(2)	4,12(2)	1,48(1)	2,28(1)
1,02	45,1(2)	37,0(1)	2,76(2)	3,86(2)	1,56(1)	2,16(1)
1,0	42,5(2)	38,9(1)	3,07(2)	3,52(2)	1,66(1)	2,01(1)
1,02	40,0(2)	41,1(2)	3,37(2)	3,19(2)	1,76(1)	1,87(1)
1,06	38,6(2)	42,6(2)	3,61(2)	2,93(1)	1,85(1)	1,76(1)
$\beta > 0$ 1,1	37,7(1)	43,7(2)	3,76(2)	2,77(1)	1,92(1)	1,69(1)
1,5	32,6(1)	50,6(2)	3,68(2)	1,95(1)	2,31(1)	1,33(1)
4,7	18,2(1)	61,4(4)	6,16(2)	1,04(4)	3,04(1)	1,02(1)

\* Рассматриваются события с вылетом не менее одной частицы в данной полусфере.

$\pi^-p$ -взаимодействий при 40 ГэВ/с /18,19/. В ней, однако, не учитывается кварковая структура адронов. Поэтому представляет интерес сравнить получаемые данные по струям с предсказаниями модели. На рис.2,3 светлыми значками /и штрихованными кривыми/ показаны результаты расчетов по модели при тех же условиях отбора, что и в эксперименте. Как видно, они существенно отличаются от экспериментальных кривых, такие же различия наблюдаются и для всего набора переменных.

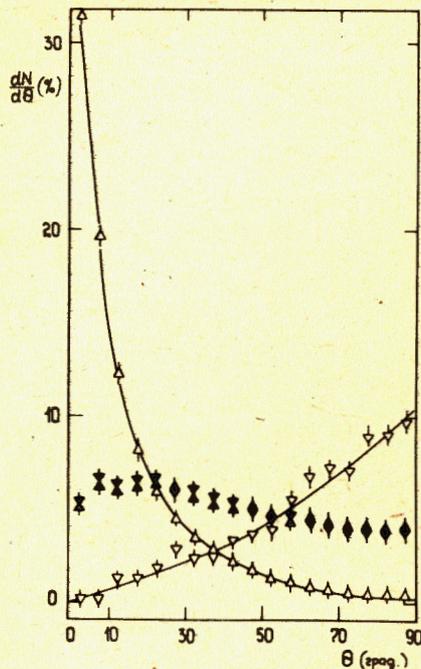


Рис.1. Угловые распределения вторичных заряженных частиц в струях, летящих "вперед" ( $\Delta$ ) и "назад" ( $\nabla$ ) в л.с.к. и в кварковой с.к. - ( $\Delta$ ) и ( $\nabla$ ).

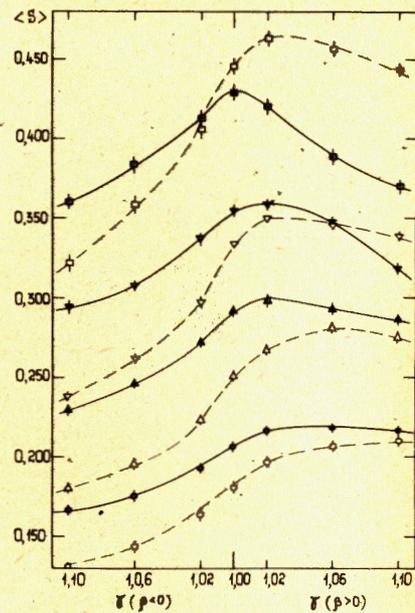


Рис.2. Средние значения сферисити ( $\langle S \rangle$ ) в зависимости от  $\gamma$  для событий с  $n_{\pm} = 4$  ( $\bullet$ ),  $n_{\pm} = 6$  ( $\Delta$ ),  $n_{\pm} = 8$  ( $\nabla$ ) и  $n_{\pm} \geq 10$  ( $\blacksquare$ ) в  $\pi^-p$ -взаимодействиях при 40 ГэВ/с. Светлыми обозначениями показаны данные мультипериферической модели. Кривые проведены от руки.

### §3. ВЛИЯНИЕ НЕЙТРАЛЬНЫХ ЧАСТИЦ НА СТРУЙНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОБЫТИЙ В РАЗНЫХ СИСТЕМАХ ОТСЧЕТА

Анализ "струйного" поведения вторичных частиц в разных системах отсчета проводился только на основе данных о вторичных заряженных частицах [52]. Вклад нейтральных частиц не учитывался. Можно, однако, попытаться оценить влияние нейтральных частиц в подобном анализе.

Сначала представляет интерес установить, не связано ли проявление экстремумов в некоторой системе отсчета с тем, что эта система является собственной системой покоя вторичных заряженных частиц. Значение  $\gamma$ -фактора системы покоя определялось для каждого события:

$$\gamma = (1 - \beta^2)^{-1/2}, \quad \beta = \sum P_{i1}^* / \sum E_i^*.$$

1/2/

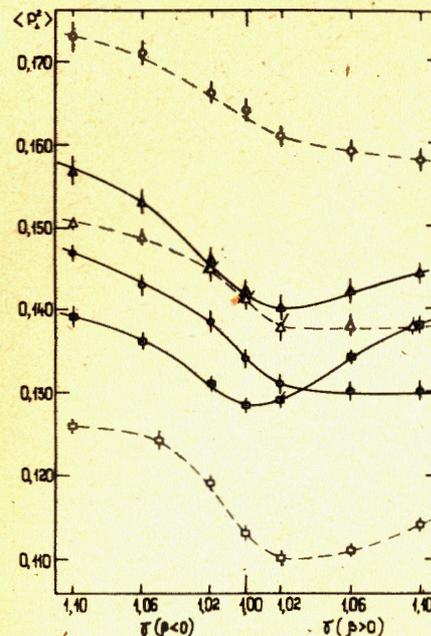


Рис.3. Средние значения  $\langle P_{\perp}^2 \rangle$  в зависимости от  $\gamma$ . Обозначения такие же, как на рис.2.

где  $P_{i1}^*$  и  $P_i^*$  - продольные импульсы и энергии вторичных заряженных частиц в с.ц.и. " $\pi^-p$ ". Средние значения  $\gamma$  для разных топологий  $n_{\pm} = 4, 6, 8, \geq 10$  и суммарное значение /для  $n_{\pm} \geq 4$ / соответственно равны:  $\langle \gamma_4 \rangle = 1,148 \pm 0,007$ ,  $\langle \gamma_6 \rangle = 1,063 \pm 0,003$ ,  $\langle \gamma_8 \rangle = 1,027 \pm 0,002$ ,  $\langle \gamma_{10} \rangle = 1,000 \pm 0,002$  и  $\langle \gamma_{\geq 4} \rangle = 1,073 \pm 0,003$  при сравнении их со значениями  $\gamma$  для экстремумов струйных характеристик видно, что они отличаются для событий с малой и средней множественностью и приблизительно совпадают для событий с большой множественностью. Такие результаты следует ожидать в аддитивной кварковой модели, если не исключать лидирующих частиц.

Возможное влияние образованных нейтральных частиц и вклад процесса перезарядки протона в нейтрон на струйные характеристики в различных системах отсчета можно качественно оценить, исследуя их в зависимости от значений недостающей массы:

$$M_{\text{нед}}^2 = (W - \sum E_i^*)^2 - (\sum \vec{P}_i^*)^2.$$

1/3/

где  $W$  - полная энергия в с.ц.и.

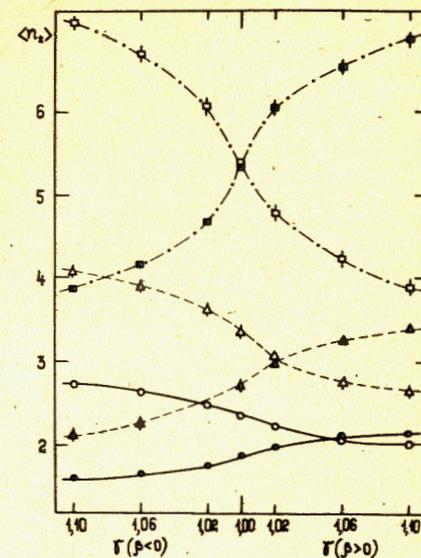


Рис.4. Средние множественности вторичных заряженных частиц в "передней" /светлые обозначения/ и "задней" /черные обозначения/ струях в зависимости от  $\gamma$  для событий с  $n_{\pm} = 4$  ( $\circ$ ),  $n_{\pm} = 6$  ( $\Delta$ ),  $n_{\pm} \geq 10$  ( $\square$ ) для  $\pi^-p$ -взаимодействий при 40 ГэВ/с.

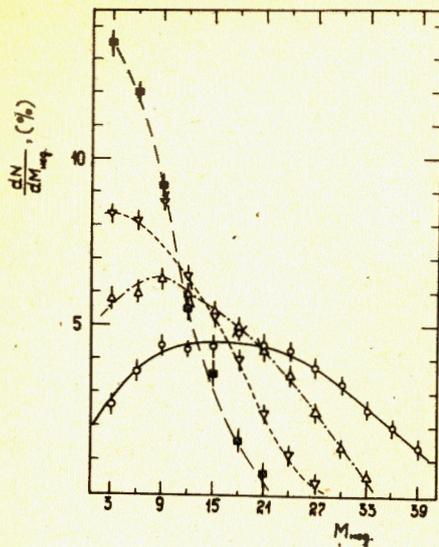
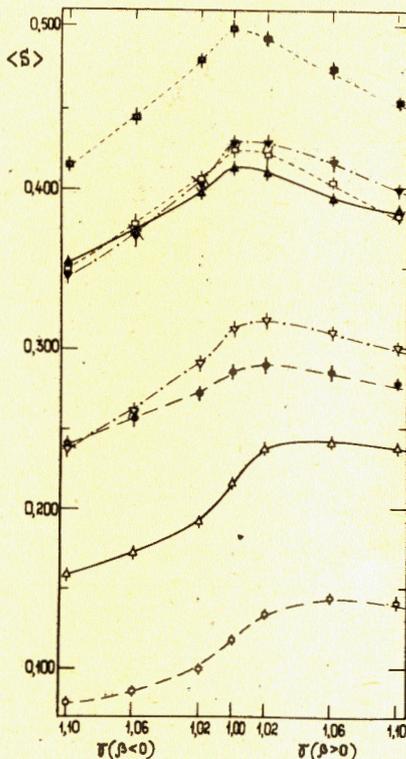


Рис.5. Распределения по квадрату недостающей массы в % для событий с  $p_{\pm} = 4$  (O),  $p_{\pm} = 6$  ( $\Delta$ ),  $p_{\pm} = 8$  ( $\nabla$ ) и  $p_{\pm} \geq 10$  ( $\blacksquare$ ) в  $\pi^-p^-$ -взаимодействиях при 40 ГэВ/с. Кривые проведены от руки.

Рис.6. Зависимости  $\langle S \rangle = f(\gamma)$  для событий с  $M_{\text{нед}}^2 \leq M_1^2$  /светлые обозначения/ и  $M_{\text{нед}}^2 > M_2^2$  /черные обозначения/;  $p_{\pm} = 4$  (O),  $p_{\pm} = 6$  ( $\Delta$ ),  $p_{\pm} = 8$  ( $\nabla$ ),  $p_{\pm} \geq 10$  ( $\square$ ). Кривые проведены от руки.



На рис.5 показаны распределения  $dN/dM_{\text{нед}}^2$  для событий с различными множественностями заряженных частиц. События были разделены на две группы: с  $M_{\text{нед}}^2 < M_1^2$  и  $M_{\text{нед}}^2 > M_2^2$ , где  $M_1^2 = 10$  ГэВ<sup>2</sup> для  $p_{\pm} = 4, 6$ ;  $M_1^2 = 5$  ГэВ<sup>2</sup> для  $p_{\pm} \geq 8$  и  $M_2^2 = 25$  ГэВ<sup>2</sup> для  $p_{\pm} = 4, 6$ ,  $M_2^2 = 15$  ГэВ<sup>2</sup> для  $p_{\pm} \geq 8$ . Предполагается, что в событиях второй группы рождается большее количество нейтральных пионов, чем в первой группе. На рис.6 приведены зависимости  $\langle S \rangle = f(\gamma, p_{\pm})$  для этих двух групп событий. Несмотря на существенные отличия в абсолютных значениях  $\langle S \rangle$ , общий ход зависимостей для событий с одним и тем же значением  $p_{\pm}$  подобен для обеих групп событий. Увеличение абсолютных значений  $\langle S \rangle$  для событий с большой  $M_{\text{нед}}^2$  связано с общей тенденцией роста  $\langle S \rangle$  с увеличением  $p_{\pm}$ .

#### §4. РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате анализа струйных характеристик событий  $\pi^-p^-$ -взаимодействий при  $p = 40$  ГэВ/с показано:

1. Экстремумы значений  $\langle S \rangle$ ,  $\langle \theta_S^0 \rangle$  и  $\langle P_1^2 \rangle$  достигаются в системе отсчета с  $\gamma = 1,02$  и  $\beta > 0$ .
2. В этой же системе отсчета множественности заряженных частиц и их угловые и импульсные распределения примерно одинаковы для направления "вперед-назад" по отношению к оси струи.
3. Изучение этих закономерностей в зависимости от  $p_{\pm}$  показало, что они хорошо выполняются для  $p_{\pm} = 6, 8$ . Для событий с  $p_{\pm} \geq 10$  эти условия выполняются в с.ц.и. " $\pi^-p^-$ ".
4. Мультипериферическая модель с учетом образования кластеров не описывает этих закономерностей.
5. В рамках аддитивной кварковой модели можно считать, что  $\pi^-p^-$ -события с  $p_{\pm} = 6, 8$  связаны с взаимодействием составляющих кварков первичных адронов /  $\gamma = 1,02$ ,  $\beta > 0$  /, а события с  $p_{\pm} \geq 10$  - с многокварковыми взаимодействиями.

Авторы признательны коллективу Сотрудничества по исследованию множественных процессов на 2-метровой пропановой пузырьковой камере за помощь в работе и полезные обсуждения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Van Hove L. In: Multiparticle Dynamics - 1981. (Ed. by W.D.Shephard). World Scientific, Singapor, 1982, p.963.
2. Ангелов Н. и др. Докл.БАН, 1982, 35, с.1061.
3. Ангелов Н. и др. ЯФ, 1983, 37, с.338.
4. Ангелов Н. и др. ЯФ, 1983, 39, с.136.
5. Ангелов Н. и др. Болг.физ.журн., 1983, 10, с.237.
6. Гришин В.Г. и др. ЯФ, 1983, 37, с.915.
7. Гришин В.Г. и др. ЯФ, 1983, 38, с.967.
8. Гришин В.Г. и др. ОИЯИ, P1-83-306, Дубна, 1983.
9. Akhababian N. et al. Bulg.Ac.Sci., 1983, 36, p.1039.
10. Ангелов Н. и др. ОИЯИ, P1-83-309, Дубна, 1983.
11. Подгорецкий М.И. ЯФ, 1983, 37, с.455.
12. Anisovich V.V., Shekhter V.M. Nucl.Phys., 1973, B55, p.455.
13. Анисович В.В., Шехтер В.М. В сб.: Глубокоупругие и множественные процессы. ОИЯИ, Д1,2-7411, Дубна, 1973, с.428.
14. Brandt S., Dahmen H.D. Z.Phys.C, 1979, 1, p.61..

15. Ангелов Н. и др. ЯФ, 1975, 21, с.328.
16. Elbert J.W., Erwin A.R., Waluer W.D. Phys.Rev., 1971, D3, p.2042.
17. Диденко Л.А. и др. Асимметрия адронных взаимодействий. "Наука", М., 1981.
18. Волков Е.И. и др. ЯФ, 1973, 17, с.407.
19. Волков Е.И., Канарек Т. ОИЯИ, 1-8035, Дубна, 1974; Препринт ФИАН, 115, М., 1975.

Рукопись поступила в издательский отдел  
12 сентября 1984 года.

Ангелов Н. и др. P1-84-624

Струйные характеристики  $\pi^-p$ -взаимодействий  
при 40 ГэВ/с в различных системах отсчета

Изучаются струйные характеристики  $\pi^-p$ -взаимодействий при  $p = 40$  ГэВ/с в разных системах отсчета. Получены данные как о характеристиках струй в целом, так и о распределениях адронов в них. Показано, что экспериментальные значения различных характеристик событий  $\langle S \rangle$ ,  $\langle \theta_S \rangle$ ,  $\langle P_1^2 \rangle$  и симметрия "вперед-назад" наблюдаются в системе отсчета с  $\gamma = 1,02$  и  $\beta > 0$ , что соответствует системе центра инерции взаимодействующих кварков в аддитивной кварковой модели. Оценивается влияние образования нейтральных частиц на поведение этих характеристик.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

Angelov N. et al. P1-84-624

Jet Characteristics of  $\pi^-p$ -Interactions  
at 40 GeV/c in Various Coordinate Systems

The jet characteristics of  $\pi^-p$ -interactions at 40 GeV/c are studied in various coordinate systems. The data are obtained on the jet characteristics and on hadron distributions in them. It is shown that experimental values for various characteristics of events  $\langle S \rangle$ ,  $\langle \theta_S \rangle$ ,  $\langle P_1^2 \rangle$  and the "forward-backward" symmetry are observed in the coordinate system with  $\gamma = 1.02$  and  $\beta > 0$ , that corresponds to c.m.s. of quark-quark collisions in the additive quark model. The influence of neutral particles on the behaviour of the jet characteristics are estimated.

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

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984