

93-375



СООБЩЕНИЯ  
ОБЪЕДИНЕННОГО  
ИНСТИТУТА  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ  
ДУБНА

P1-93-375

В.М.Карнаухов

КИНЕМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ  
БАРИОННОЙ СТРУКТУРЫ  
С МАССОЙ  $3,52 \text{ ГэВ}/c^2$   
И СПОСОБ ИХ ОБНАРУЖЕНИЯ

1993

В  $\pi^-p$ -взаимодействиях при 16 ГэВ/с в распределении числа взвешенных комбинаций по интервалам спектра эффективных масс системы  $K_S^0 K^+ p \pi^- \pi^-$ -частиц наблюдается узкий пик (рис. 1), который, возможно, включает в себя распады  $K^{*-}(892) \rightarrow \bar{K}^0 \pi^-$  и является указанием на существование нейтрального бариона с массой  $(3521 \pm 3)$  МэВ/с<sup>2</sup> и шириной  $(6_{-6}^{+21})$  МэВ/с<sup>2</sup>. Комбинаторный фон в спектре масс незначителен. В области пика  $(3,45+3,55)$  ГэВ/с<sup>2</sup> отношение числа комбинаций к числу событий составляет 1,12. Средний вес комбинаций с  $K_S^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$  в этой области равен 1,10. Влияния кинематических отражений известных физических эффектов на появление пика в спектре масс барионной системы не найдено [1,2].

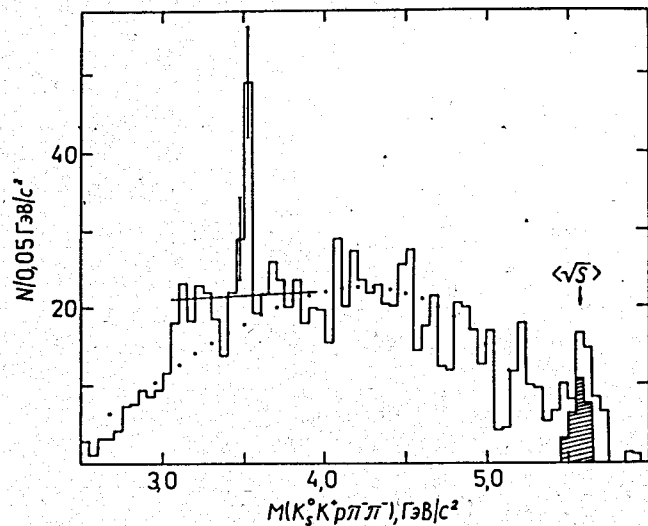


Рис. 1. Распределение взвешенных комбинаций по эффективным массам  $K_S^0 K^+ p \pi^- \pi^-$ -системы. Заштрихованы события, идентифицированные как реакция  $\pi^- p \rightarrow \bar{K}^0 K^+ p \pi^- \pi^-$ . Точками показаны результаты аппроксимации распределения функцией (2) на интервале  $(2,50+5,45)$  ГэВ/с<sup>2</sup>. Сплошная линия - аппроксимация распределения прямой на интервале  $(3,05+3,95)$  ГэВ/с<sup>2</sup>.

Для поиска дополнительного свидетельства существования нейтрального бариона с массой 3,52 ГэВ/с<sup>2</sup> проведен анализ кинематики событий, вошедших в спектр масс  $K_S^0 K^+ p \pi^- \pi^-$ . В событиях из области структуры обнаружена особенность угловых распределений [2].

Появление кинематических особенностей в событиях из области структур двухчастичных резонансов было отмечено в работе [3], где

в  $\pi^+p$ -взаимодействиях при 16 ГэВ/с анализировались угловые корреляции частиц в отдельных интервалах спектров эффективных масс  $\pi^+ \pi^-$  и  $\pi^+ \pi^+$ -мезонов. В четырехлучевых и шестилучевых событиях, в некоторых эксклюзивных реакциях изучалось распределение величины

$$d_{\pi\pi}(M) = \langle \cos \theta_{\pi^+, \pi^-} \rangle_M - \langle \cos \theta_{\pi^+, \pi^+} \rangle_M \quad (1)$$

по интервалам спектра масс  $\pi\pi$ -мезонов. Здесь  $\theta_{\pi^+, \pi^-}$  - угол между направлениями движения  $\pi^+$  и  $\pi^-$ -частиц,  $\theta_{\pi^+, \pi^+}$  - угол между направлениями движения тождественных частиц. В распределении величины  $d_{\pi\pi}(M)$  по интервалам спектра масс, в области массы  $\rho^0$ -мезона, зафиксированного традиционным методом (пик в распределении числа взвешенных комбинаций по интервалам спектра масс  $\pi^+ \pi^-$ ), по сравнению с боковыми интервалами, наблюдается особенность - величина  $d_{\pi\pi}(M)$  резко возрастает. Аналогичный эффект наблюдается и для других известных двухчастичных мезонных и барионных резонансов, эффект связан с уменьшением угла  $\theta$  (увеличением  $\langle \cos \theta \rangle_M$ ) между импульсами частиц, образующих резонанс с массой  $M$  [3].

Поскольку в особенностях кинематических распределений проявляется динамика процессов образования и распада резонансов, выявление особенностей в событиях из области структур предполагаемых резонансов (отсутствующих в событиях из других интервалов спектров масс) может оказаться полезным для отличия резонансов от флуктуаций в распределениях числа комбинаций по интервалам спектров масс исследуемых систем частиц. В настоящей работе развит более общий способ выявления кинематических особенностей, чем в [3]. Анализ кинематики событий из спектра масс  $K_S^0 K^+ p \pi^- \pi^-$  ( $\pi^-p$ -взаимодействия при 16 ГэВ/с), начатый в [2], продолжен. Приведены обнаруженные кинематические особенности барионной структуры с массой 3,52 ГэВ/с<sup>2</sup>, показан способ выявления особенностей.

Основа способа - изучение распределений усредненных величин кинематических характеристик исследуемой системы частиц по интервалам её спектра эффективных масс. Развитием способа является переход к эвентуальному анализу, позволяющему использовать в одном распределении несколько свойств каждого отдельного события из области наблюдаемой структуры. При этом изучаются распределения коэффициента асимметрии  $A = (F-B)/(F+B)$  по интервалам спектра масс системы, где  $F$  и  $B$  - количества взвешенных комбинаций, выделенных по каким-либо определенным кинематическим признакам, отражающим некоторые свойства событий из области структуры. Далее проводится сравнение значений  $A$  в области структуры и в соседних боковых интервалах с оценкой вероятности случайного статистического выброса.

дополнительно используется аппроксимация распределений гладкими функциями, например:

$$BG(M) = (M - M_T)^{C(3)} \cdot (C(1) \cdot M + C(2) \cdot M^2), \quad (2)$$

$$BG(M) = C(3) + C(1) \cdot M + C(2) \cdot M^2, \quad (3)$$

где  $M$  - эффективная масса системы частиц,  $M_T$  - сумма масс частиц системы,  $C(i)$  - подбираемые параметры.

1. В С.Ц.М.  $\pi^-$ -взаимодействий проведен анализ угловых распределений системы частиц  $K_S^0 K^+ \pi^- \pi^-$  по интервалам спектра эффективных масс. В таблице 1 показаны средние значения величины

Таблица 1

Средние значения величины  $\langle \cos \theta_{q, \pi^-}^* \rangle$ , где  $\theta_{q, \pi^-}^*$  - угол между системой  $K_S^0 K^+ \pi^- \pi^-$  (обозначенной как  $q$ ) и первичным  $\pi^-$ -мезоном в С.Ц.М.  $\pi^-$ -взаимодействий. Средние значения импульсов  $K_S^0$ ,  $K^+$  - частиц в С.Ц.М.  $K_S^0 K^+ \pi^- \pi^-$ . Средние значения величины  $\langle \cos \theta_{q, K^+}^{**} \rangle$ , где  $\theta_{q, K^+}^{**}$  - угол между системой  $q$  и  $K^+$ -мезоном в С.Ц.М.  $K^+ K_S^0$

Интервал масс системы $K_S^0 K^+ \pi^- \pi^-$ , ГэВ/с <sup>2</sup>	$\langle \cos \theta_{q, \pi^-}^* \rangle$	Средний импульс, МэВ/с		$\langle \cos \theta_{q, K^+}^{**} \rangle$
		$K_S^0$	$K^+$	
3,05±3,45	0,003±0,063	455±15	459±14	-0,015±0,048
3,45±3,55	0,262±0,080	561±22	465±24	0,190±0,062
3,55±3,95	-0,037±0,058	560±17	568±17	-0,026±0,044

$\langle \cos \theta_{q, \pi^-}^* \rangle$  - в области пика и в соседних боковых интервалах, где  $\theta_{q, \pi^-}^*$  - угол между изучаемой системой (обозначенной как  $q$ ) и первичным  $\pi^-$ -мезоном в С.Ц.М.  $\pi^-$ -взаимодействий. Отклонение величины  $\langle \cos \theta_{q, \pi^-}^* \rangle$  в области пика от средней взвешенной величины  $\langle \cos \theta_{q, \pi^-}^* \rangle$ , вычисленной по соседним боковым интервалам в 400 МэВ/с<sup>2</sup>, характеризуется значением  $\chi^2(1)=9,5$  и доверительным уровнем  $CL=2 \cdot 10^{-3}$ . Отражением этих угловых распределений является распределение коэффициента асимметрии  $A=(F-B)/(F+B)$  по интервалам спектра масс, где  $F$  - количество взвешенных комбинаций с системой частиц, направленной в полусферу первичного  $\pi^-$ -мезона,  $B$  - в полусферу мишени (рис. 2а). Значение  $A$  в области пика выделяется из общего распре-

ления. С учетом ошибок отклонение от средней взвешенной величины  $A$ , вычисленной по соседним боковым интервалам в 400 МэВ/с<sup>2</sup>, даёт  $\chi^2(1)=9,7$ , доверительный уровень  $CL=2 \cdot 10^{-3}$ . Близость результатов (значений  $\chi^2$  и  $CL$ ), полученных двумя различными способами, свидетельствует о том, что использовался один и тот же объём информации, и оба способа выявления неоднородности в области пика равнозначны. Система  $K_S^0 K^+ \pi^- \pi^-$  для большей части комбинаций из области пика (в отличие от других интервалов спектра масс) направлена в полусферу первичного  $\pi^-$ -мезона. По-видимому, это является указанием на физический эффект, проявляющийся в центральной области  $\pi^-$ -взаимодействий [1,2].

2. Изучение импульсных распределений отдельных частиц системы по интервалам спектра масс показало, что среднее значение импульса  $K_S^0$ -мезона в С.Ц.М.  $K_S^0 K^+ \pi^- \pi^-$  в области пика (в отличие от соседних боковых интервалов) больше среднего значения импульса  $K^+$ -мезона (таблица 1). Установлено, что в области пика (в отличие от других интервалов спектра масс) для большей части комбинаций по абсолютной величине импульс  $K_S^0$ -мезона в С.Ц.М. изучаемой системы больше импульса  $K^+$ . По-видимому, это является указанием на каскадный распад и разные механизмы образования  $K_S^0$  и  $K^+$ . Вероятно, пик в области массы 3,5 ГэВ/с<sup>2</sup> включает в себя распады  $K^{*+}(892) \rightarrow \bar{K}^0 \pi^-$  [1]. Анализ кинематики событий показал, что если в событии, в системе покоя  $K_S^0 K^+ \pi^- \pi^-$  импульс  $K_S^0$ -мезона по абсолютной величине больше импульса  $K^+$ -мезона, то в системе покоя  $K^+ K_S^0$  (где импульсы  $K^+$  и  $K_S^0$  равны и противоположны по направлению) комбинация  $K_S^0 K^+ \pi^- \pi^-$  направлена в полусферу  $K^+$ . В таблице 1 приведены средние значения величины  $\langle \cos \theta_{q, K^+}^{**} \rangle$  в области пика и в соседних боковых интервалах, где  $\theta_{q, K^+}^{**}$  - угол между изучаемой системой (обозначенной как  $q$ ) и  $K^+$ -мезоном в С.Ц.М.  $K^+ K_S^0$ . Отклонение величины  $\langle \cos \theta_{q, K^+}^{**} \rangle$  в области пика от средней взвешенной величины  $\langle \cos \theta_{q, K^+}^{**} \rangle$ , вычисленной по соседним боковым интервалам в 400 МэВ/с<sup>2</sup>, характеризуется значением  $\chi^2(1)=9,1$  и доверительным уровнем  $CL=3 \cdot 10^{-3}$ . На рис. 2б представлено распределение коэффициента асимметрии  $A=(F-B)/(F+B)$  по интервалам спектра масс  $K_S^0 K^+ \pi^- \pi^-$ -системы, где  $F$  - количество взвешенных комбинаций с системой частиц, направленной в полусферу  $K^+$ ,  $B$  - в полусферу  $K_S^0$  (С.Ц.М.  $K^+ K_S^0$ ). Значение  $A$  в области пика выделяется из общего распределения. С учетом ошибок отклонение от средней взвешенной величины  $A$ , вычисленной по соседним боковым интервалам в 400 МэВ/с<sup>2</sup>, даёт  $\chi^2(1)=9,4$ , доверительный уровень  $CL=2 \cdot 10^{-3}$ . И в этом случае результаты, полученные двумя различными способами, близки.

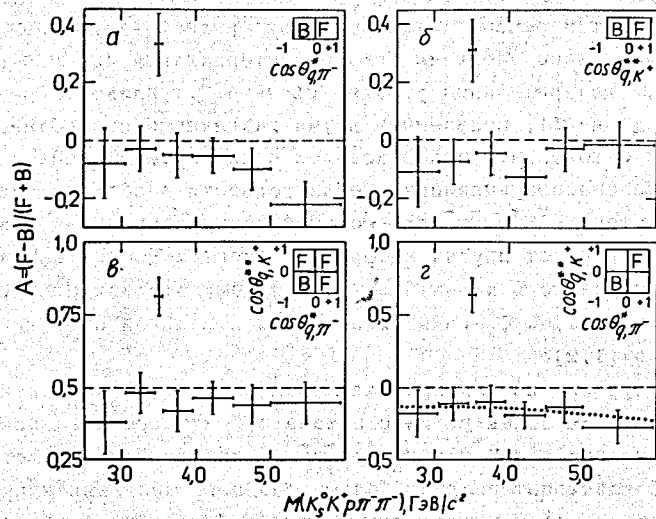


Рис. 2. Распределения коэффициента асимметрии  $A=(F-B)/(F+B)$  по интервалам спектра масс  $K_S^0 K^+ p \pi^-$ -системы. Для каждого распределения показан способ разделения комбинаций по группам F и B в зависимости от направления системы  $K_S^0 K^+ p \pi^-$  (обозначенной как q) в С.Ц.М.  $\pi^-$ -р-взаимодействий и в С.Ц.М.  $K^+ K_S^0$ .  $\theta_{q, \pi}^*$  - угол между системой q и первичным  $\pi^-$ -мезоном в С.Ц.М.  $\pi^-$ -р-взаимодействий,  $\theta_{q, K^+}^{**}$  - угол между системой q и  $K^+$ -мезоном в С.Ц.М.  $K^+ K_S^0$ . Пунктир на рис. 2г - результаты аппроксимации распределения без интервала (3,45+3,55) ГэВ/c<sup>2</sup> функцией (2)

3. Распределения 2а и 2б похожи, хотя и отражают разные свойства барионной структуры с массой 3,52 ГэВ/c<sup>2</sup>. Эвентуальный анализ с применением коэффициента асимметрии A позволяет использовать в одном распределении несколько свойств каждого отдельного события из области структуры. Распределения на рис. 2в, 2г иллюстрируют этот способ, учитывающий одновременно направления движения системы в С.Ц.М.  $\pi^-$ -р-взаимодействий и в С.Ц.М.  $K^+ K_S^0$ .

На рис. 2в представлено распределение коэффициента асимметрии A по интервалам спектра масс  $K_S^0 K^+ p \pi^-$ -системы, где B - количество взвешенных комбинаций, в которых система частиц направлена в полусферы мишени (С.Ц.М.  $\pi^-$ -р-взаимодействий) и  $K_S^0$  (С.Ц.М.  $K^+ K_S^0$ ), F - количество всех остальных взвешенных комбинаций в отдельном интервале. С учётом ошибок отклонение величины A в области пика от средней взвешенной величины A, вычисленной по соседним боковым

интервалам в 400 МэВ/c<sup>2</sup>, характеризуется значениями:  $\chi^2(1)=19,4$ ,  $CL=1 \cdot 10^{-5}$ .

На рис. 2г приведено распределение коэффициента асимметрии A по интервалам спектра масс  $K_S^0 K^+ p \pi^-$ -системы, где F - количество взвешенных комбинаций, в которых система направлена в полусферы первичного  $\pi^-$ -мезона (С.Ц.М.  $\pi^-$ -р-взаимодействий) и  $K^+$  (С.Ц.М.  $K^+ K_S^0$ ), B - в полусферы мишени и  $K_S^0$ . С учётом ошибок отклонение величины A в области пика от средней взвешенной величины A, вычисленной по соседним боковым интервалам в 400 МэВ/c<sup>2</sup>, характеризуется значениями:  $\chi^2(1)=25,3$ ,  $CL=4 \cdot 10^{-7}$ . Вероятность такого случайного статистического выброса [4] на интервале 900 МэВ/c<sup>2</sup> в одной из 9 ячеек по 100 МэВ/c<sup>2</sup> равна:  $P=CL \cdot 9=3,6 \cdot 10^{-6}$ . Аппроксимация методом наименьших квадратов всего спектра без пика (пунктир на рис. 2г) функцией (2) характеризуется значениями:  $\chi^2(3)=0,96$ ,  $CL=0,81$ . Аппроксимация всего спектра, включая пик, приводит к  $\chi^2(4)=31,22$ ,  $CL=3,8 \cdot 10^{-6}$ . При аппроксимации спектра прямой получаются близкие результаты.

Обнаруженная особенность угловых распределений дала возможность ввести ограничения на отбор событий в спектр эффективных масс и значительно уменьшить фон [2].

4. При продолжении анализа кинематики событий из спектра масс изучаемой системы (рис. 1) в каждом конкретном событии  $\pi^-$ -мезоны были разделены между собой и обозначены через  $\pi_1^-$ ,  $\pi_2^-$ ; при этом в С.Ц.М.  $K_S^0 K^+ p \pi^-$  кинетическая энергия у  $\pi_1^-$ -мезона меньше, чем у  $\pi_2^-$ . В таблице 2 показаны средние значения кинетической энергии T

Таблица 2

Средние значения кинетической энергии T для отдельных частиц в С.Ц.М.  $K_S^0 K^+ p \pi^-$

Интервал масс системы $K_S^0 K^+ p \pi^-$ , ГэВ/c <sup>2</sup>	$\langle T \rangle$ , МэВ				
	$K_S^0$	$K^+$	p	$\pi_1^-$	$\pi_2^-$
3,05+3,45	191±10	192±9	153±8	155±7	347±10
3,45+3,55	263±17	202±16	192±16	181±11	456±20
3,55+3,95	267±13	274±12	243±14	238±10	517±15

для отдельных частиц в С.Ц.М.  $K_S^0 K^+ p \pi^- \pi^-$  из комбинаций в области пика и в соседних боковых интервалах по 400 МэВ/с<sup>2</sup>. В области пика средняя кинетическая энергия для  $K_S^0$ -мезона значительно больше средних значений  $T$  для  $K^+$ ,  $p$ ,  $\pi_1^-$ -частиц. Анализ показал, что в большей части комбинаций из области пика в С.Ц.М. изучаемой системы частиц кинетическая энергия  $T$  для  $K_S^0$ -мезона больше значений  $T$  для  $K^+$ ,  $p$ ,  $\pi_1^-$ -частиц. На рис. 3а показано распределение коэффициента асимметрии  $A=(F-B)/(F+B)$  по интервалам спектра масс  $K_S^0 K^+ p \pi^- \pi^-$ -системы.  $F$  - количество взвешенных комбинаций, где  $T(K_S^0) \geq T(p)$ ,  $T(K_S^0) \geq T(K^+)$ ,  $T(K_S^0) \geq T(\pi_1^-)$ ;  $B$  - количество взвешенных комбинаций, где  $T(K_S^0) < T(p)$ ,  $T(K_S^0) < T(K^+)$ ,  $T(K_S^0) < T(\pi_1^-)$  в С.Ц.М. изучаемой системы. С учётом ошибок отклонение величины  $A$  в области пика от средней взвешенной величины  $A$ , вычисленной по соседним боковым интервалам в 400 МэВ/с<sup>2</sup>, характеризуется значениями:  $\chi^2(1)=9,4$ ,  $CL=2 \cdot 10^{-3}$ .

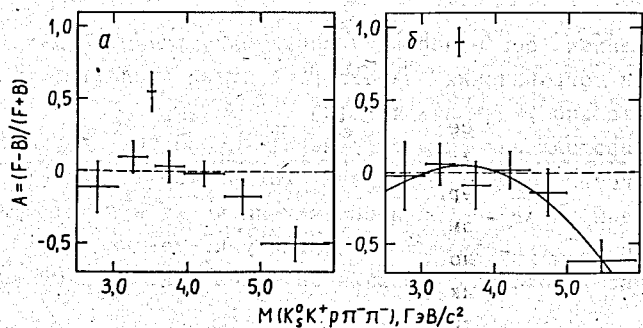


Рис. 3. Распределения коэффициента асимметрии  $A=(F-B)/(F+B)$  по интервалам спектра масс  $K_S^0 K^+ p \pi^- \pi^-$ -системы (см. текст)

5. Кроме того, ранее было показано (рис. 2а), что в большей части событий из области пика (в отличие от других интервалов спектра масс) в С.Ц.М.  $\pi^- p$ -взаимодействий система  $K_S^0 K^+ p \pi^- \pi^-$  направлена в полусферу первичного  $\pi^-$ -мезона.

На рис. 3б представлено распределение коэффициента асимметрии  $A=(F-B)/(F+B)$  по интервалам спектра масс исследуемой системы. Здесь  $F$  - количество взвешенных комбинаций, удовлетворяющих следующим условиям: изучаемая система частиц направлена в полусферу первичного  $\pi^-$ -мезона в С.Ц.М.  $\pi^- p$ -взаимодействий,  $T(K_S^0) \geq T(p)$ ,  $T(K_S^0) \geq T(K^+)$ ,  $T(K_S^0) \geq T(\pi_1^-)$  в С.Ц.М.  $K_S^0 K^+ p \pi^- \pi^-$ . Соответственно,  $B$  - количество взвешенных комбинаций с условиями: система частиц на-

правлена в полусферу мишени,  $T(K_S^0) < T(p)$ ,  $T(K_S^0) < T(K^+)$ ,  $T(K_S^0) < T(\pi_1^-)$ . Значение  $A$  в области пика выделяется из общего распределения. Аппроксимация распределения без интервала (3,45+3,55) ГэВ/с<sup>2</sup> с помощью метода наименьших квадратов функцией (3) показана на рис. 3б и характеризуется значениями:  $\chi^2(3)=1,0$ ,  $CL=0,8$ . Аппроксимация всего распределения, включая область пика, приводит к  $\chi^2(4)=42,8$ ,  $CL=2,4 \cdot 10^{-8}$ . С учётом ошибок отклонение величины  $A$  в области пика от средней взвешенной величины  $A$ , вычисленной по соседним боковым интервалам в 400 МэВ/с<sup>2</sup>, характеризуется значениями:  $\chi^2(1)=37,0$ ,  $CL=7,1 \cdot 10^{-10}$ . Вероятность такого случайного статистического выброса [4] на интервале 900 МэВ/с<sup>2</sup> в одной из 9 ячеек по 100 МэВ/с<sup>2</sup> равна:  $P=CL \cdot 9=6,4 \cdot 10^{-9}$ .

Таким образом, на уровне вероятности случайного статистического выброса  $6,4 \cdot 10^{-9}$  в событиях из области структуры (3,45+3,55) ГэВ/с<sup>2</sup> спектра масс  $K_S^0 K^+ p \pi^- \pi^-$ -системы (рис. 1) наблюдается особенность кинематических распределений (рис. 3б). Преобразования Лоренца выполнены в одном и том же предположении о массах частиц во всех событиях из спектра масс. Выборка событий для распределения величины  $A$  одинакова во всех интервалах спектра. Обнаруженная особенность свойственна только событиям из области структуры. Распределения величины  $A$  по интервалам спектра масс не скоррелированы с общим числом взвешенных комбинаций в отдельных интервалах спектра масс, если это не заложено физикой в основные свойства событий. Поэтому существование пика в распределении взвешенных комбинаций и особенности кинематических распределений в одном и том же интервале указывает на то, что это - свойство самих событий. Этот факт, по-видимому, является дополнительным свидетельством существования нейтрального бариона с массой 3,52 ГэВ/с<sup>2</sup> и отражением некоторых его свойств, проявившихся в особенности кинематических распределений.

Изложенный способ выявления кинематических особенностей изучаемой структуры отличается от способа, показанного в работе [3], тем, что здесь проводится эвентуальный анализ с применением коэффициента асимметрии  $A=(F-B)/(F+B)$ , позволяющий использовать в одном распределении несколько свойств каждого отдельного события из области структуры. Этот способ, вероятно, можно применять как дополнительный тест при изучении спектров масс различных систем частиц, чтобы отличить физический эффект от статистического выброса, а также для выяснения деталей образования и распада короткоживущих частиц и резонансных состояний.

Автор благодарит ЦЕРН, Г.Келлнера, А.Михула за предоставленную возможность работы с фотоснимками облучения  $\pi^-$ -мезонами при 16 ГэВ/с двухметровой водородной пузырьковой камеры, Корнелию Кока - за обработку части экспериментального материала, В.И.Мороза - за полезные обсуждения.

#### Литература

1. Karnaukhov V.M. et al., contributed paper 555, LP-HEP 1991, Geneva; Phys. Lett., 1992, B281,148.
2. Карнаухов В.М. и др., ОИЯИ, P1-93-121, Дубна, 1993.
3. Aachen-Berlin-Bonn-CERN-Cracow-Heidelberg-Warsaw Collaboration, Bartke J. et al., Nucl. Phys., 1977, B127, 269.
4. Eadie W.T. et al., Statistical Methods in Experimental Physics, North-Holland, Amsterdam, 1971.