

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

Б 287

P1-88-120

НАБЛЮДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ И РАСПАДА
ВОЗБУЖДЕННОГО ($e\bar{e}$)-СОСТОЯНИЯ
С МАССОЙ ~ 2790 МэВ/ c^2
В ЯДЕРНОЙ ФОТОЭМУЛЬСИИ

Направлено в "Письма в ЖЭТФ"

1988

Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, О.М.Кузнецов, В.В.Люков, В.И.Третьяк
Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

П.А.Горичев, О.К.Егоров, Э.Д.Колганова, И.В.Махлюева, Е.А.Пожарова,
В.А.Смирнитский, В.В.Шаманов
Институт теоретической и экспериментальной физики, Москва

В.В.Аммосов, В.И.Баранов, В.А.Гапиенко, В.И.Клюхин, В.И.Корешев,
П.В.Питухин, В.И.Сиротенко
Институт физики высоких энергий, Серпухов

Б.Вильчинска, Г.Вильчински, В.Вольтер, Б.Войсек, А.Ольшевски,
А.Юрак
Институт ядерной физики, Краков

Х.Чернев
Институт ядерных исследований и ядерной энергетики, София

М.Иванова
Пловдивский университет

Л.Войводик, В.Смарт
ФНАЛ, Батавия, США

Г.Рубин
ИИТ, Чикаго, США

Р.Аммар, Дж.Гресс, Р.Дэвис, Н.Квак, Д.Коппадж, Р.Раймер, Р.Стамп
Канзасский университет, Лоуренс, США

Т.Барнет, Р.Вилкс, С.Крживджински, Дж.Лорд, Р.Розенблатт
Вашингтонский университет, Сиэтл, США

А.Бакич, Л.Пик
Сиднейский университет, Австралия

ВВЕДЕНИЕ

Распад возбужденного состояния D_s^{*+} -мезона обнаружен в одном из 194 взаимодействий нейтрино заряженного тока с ядрами в фотоэмульсии зарегистрированных в эксперименте E564. В этом эксперименте криогенно-чувствительная ядерная фотоэмульсия помещалась в рабочий объем 15-футовой пузырьковой камеры (ПК) ФНАЛ и облучалась в нейтринном пучке широкого спектра. Постановка эксперимента и анализ распадов очарованных частиц, найденных ранее, изложены в работах ^{1/}.

КАСКАДНЫЙ РАСПАД ОЧАРОВАННЫХ D^0 -МЕЗОНОВ

Схематичное изображение события в фотоэмульсии представлено на рис.1. На расстоянии 1029 мкм от первичной вершины А методом поиска по следу была найдена двухлучевая звезда (вершина В). В вершине А, помимо протона отдачи (след 3) и мюона (1), есть только одна релятивистская частица* (2).

По измерениям относительной ионизации в фотоэмульсии и значениям импульсов частиц, полученным в ПК, частица 2 из первичной вершины однозначно идентифицирована как K^+ -мезон, а отрицательно заряженная частица $\nu.1$ из вершины В наиболее вероятно является K^- -мезоном (рис.2). У всех треков данного события, за исключением следа $\nu.2$, угол погружения отрицательный, поэтому из-за отсутствия нормировки провести идентификацию частицы $\nu.2$ не представляется возможным. Можно лишь указать, что частица $\nu.2$ не тяжелее протона. Характеристики всех треков данного события приведены в таблице.

Три обстоятельства исключают интерпретацию зарегистрированной короткоживущей частицы как распад K_s^0 или Λ^0 .

* Зарегистрированные в эксперименте взаимодействия с рождением очарованных частиц характеризуются меньшими множественностями как релятивистских N_s , так и сильноионизирующих N_h адронов ($N_s = 3,8 \pm 0,6$, $N_h = 3,0 \pm 0,8$), чем взаимодействия без их рождения ($N_s = 5,8 \pm 0,2$, $N_h = 6,4 \pm 0,5$). Однако преимущественного рождения очарованных частиц в "белых" ($N_h = 0$) звездах, как отмечалось в эксперименте E531 ^{2/}, не наблюдается.

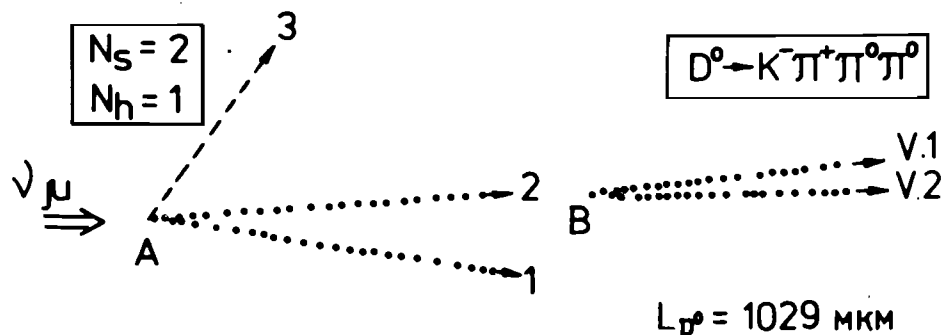


Рис.1. Схематичное изображение события в фотоэмульсии. А – вершина первичного взаимодействия, В – вершина распада D^0 -мезона. След 3 принадлежит остановившемуся в фотоэмульсии протону. Частицы 1, 2, $v.1$ и $v.2$ выходят из фотоэмульсии. Три из них, исключая частицу 1-мюон, взаимодействуют в ПК.

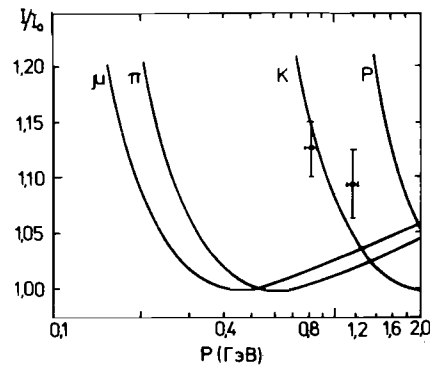


Рис.2. Идентификация частицы 2 с импульсом 0,82 ГэВ/с и частицы $v.1$ с импульсом 1,15 ГэВ/с. I/I_0 – относительная ионизация, P – импульс частицы.

– Инвариантная масса частиц $v.1$ и $v.2$ при значениях их масс $\pi^-\pi^+$ и $\pi^-\rho$ составляет $0,36 \pm 0,01$ и $1,17 \pm 0,01$ ГэВ/с² соответственно. С учетом наиболее вероятной идентификации этих частиц инвариантная масса системы $K^-\pi^+$ равна $0,908 \pm 0,012$ ГэВ/с², что хорошо согласуется с массой резонансного $K^{*0}(892)$ состояния.

– Перпендикулярная составляющая суммарного импульса частиц $v.1$ и $v.2$ относительно направления распавшейся частицы равна $0,32 \pm 0,03$ ГэВ/с.

– При пробеге 1029 мкм и импульсе больше 3,7 ГэВ/с (суммарный импульс только заряженных частиц) время пролета до распада частицы с массой M (ГэВ/с²) не превышает $9,3 \cdot M \cdot 10^{-13}$ с.

С учетом вышеизложенного, зарегистрированная двухлучевая звезда может рассматриваться как кандидат на распад нейтральной очарованной частицы. На фотоснимках с ПК отсутствуют распады нейтральных странных частиц, а в области, близкой к выходящим

Таблица
Характеристики треков в первичной вершине А и в вершине распада D^0 -мезона В

Вершина	Трек	Измерения в фотоэмульсии		Измерения в ПК		Частица
		Азимутальный угол α (град.)	Угол погружения β (град.)	Импульс (ГэВ/с)	Заряд	
А	ν	$-3,0 \pm 0,5$	$-2,5 \pm 0,5$			μ^-
	1	$-8,4 \pm 0,2$	$-2,6 \pm 0,4$	$12,50 \pm 0,20$	-	K^+
	2	$2,5 \pm 0,2$	$-2,4 \pm 0,5$	$0,82 \pm 0,04$	+	p
	3	$54,2 \pm 0,3$	$-36,8 \pm 0,6$	$0,28 \pm 0,01^*$	0	γ
В	4**	$-0,7 \pm 0,3$	$-0,8 \pm 0,2$	$1,45 \pm 0,16$	0	
	связующий след АВ	$2,7 \pm 0,2$	$-2,2 \pm 0,4$			K^-
	$v.1$	$8,5 \pm 0,2$	$-0,4 \pm 0,4$	$1,15 \pm 0,05$	-	π^+
	$v.2$	$3,3 \pm 0,2$	$3,4 \pm 0,4$	$2,52 \pm 0,05$	+	π^0
	$v.3^{**}$	$-2,0 \pm 0,4$	$-2,8 \pm 0,3$	$4,15 \pm 0,22$	0	π^0
	$v.4^{**}$	$8,9 \pm 0,3$	$-7,6 \pm 0,3$	$2,84 \pm 0,29$	0	π^0

* Импульс оценен по пробегу в фотоэмульсии.

** Значения углов восстановлены по измерениям в ПК.

из фотоэмульсии заряженным трекам, наблюдается электромагнитный ливень*. Следовательно, наиболее вероятной интерпретацией двухлучевой звезды является кабиббо-разрешенный распад очарованного D^0 -мезона по одному из каналов $D^0 \rightarrow K^- \pi^+ n \pi^0$ ($n=1,2,\dots$).

В угловом распределении конвертировавшихся в ПК γ -квантов прослеживается двухструйная структура. Средние значения углов одной группы γ -квантов составляют $\langle \alpha \rangle \sim -8^\circ$, $\langle \beta \rangle \sim -8^\circ$, другой группы $\langle \alpha \rangle \sim -\langle \beta \rangle \sim -2^\circ$. В первой группе можно выделить два γ -кванта (γ_1, γ_2), векторы импульсов которых направлены или в вершину первичного взаимодействия, или в вершину распада. Во второй группе таких γ -квантов три: $\gamma_3, \gamma_4, \gamma_5$. Импульс каждого из пяти γ -квантов больше 0,5 ГэВ/с, полная их энергия составляет ~ 8 ГэВ. Импульсы остальных γ -квантов невелики (меньше 0,5 ГэВ/с), а распределение по длине конверсии и угловые характеристики указывают на вторичный характер их образования, обусловленного тормозным излучением электронов.

Инвариантные массы γ -квантов в первой группе составляют $M_{\gamma_1 \gamma_2} = 148 \pm 24$ МэВ/с², во второй группе — $M_{\gamma_3 \gamma_4} = 18 \pm 9$, $M_{\gamma_3 \gamma_5} = 122 \pm 12$, $M_{\gamma_4 \gamma_5} = 115 \pm 14$ МэВ/с². Три комбинации пар γ -квантов

$\gamma_1 \gamma_2, \gamma_3 \gamma_5, \gamma_4 \gamma_5$ могут быть интерпретированы как продукты распада π^0 -мезонов с уровнями достоверности (1С-фит) 58%, 30% и 16% соответственно. Импульсы $\pi^0_{\gamma_1 \gamma_2}, \pi^0_{\gamma_3 \gamma_5}, \pi^0_{\gamma_4 \gamma_5}$ составляют 2,84 ГэВ/с, 3,66 ГэВ/с и 4,15 ГэВ/с соответственно.

Две комбинации пар γ -квантов из первой и второй групп с инвариантными массами $M_{\gamma_1 \gamma_3} = 128 \pm 15$ МэВ/с² и $M_{\gamma_1 \gamma_4} = 151 \pm 19$ МэВ/с²

могут интерпретироваться как продукты распадов π^0 -мезонов с уровнями достоверности 64% и 41%. Импульсы этих кандидатов на распад π^0 -мезонов составляют ~ 2 ГэВ/с.

Восстановленные кандидаты на распад π^0 -мезонов позволяют рассмотреть каналы распада D^0 -мезона с одним и двумя π^0 -мезонами.

Распад $D^0 \rightarrow K^- \pi^+ \pi^0$. В этом случае требуется (ОС-фит) π^0 -мезон с импульсом $\sim 9,6$ ГэВ/с. Ни с одним из восстановленных кандидатов на распад π^0 -мезона такая интерпретация невозможна.

Распад $D^0 \rightarrow K^- \pi^+ \pi^0 \pi^0$. Проведенный кинематический анализ показал, что из четырех возможных комбинаций с восстановленными π^0 -мезонами приемлемы (уровень достоверности больше 1%) только две:

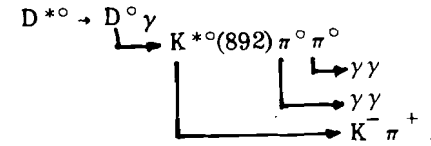
$$\begin{aligned} D^0 \rightarrow K^- \pi^+ \pi^0_{\gamma_1 \gamma_2} \pi^0_{\gamma_3 \gamma_5} & \quad \text{УД} \sim 3\% \quad (3\text{С-фит}), \\ D^0 \rightarrow K^- \pi^+ \pi^0_{\gamma_1 \gamma_2} \pi^0_{\gamma_4 \gamma_5} & \quad \text{УД} \sim 27\% \quad (3\text{С-фит}). \end{aligned}$$

* ПК была заполнена тяжелой неон-водородной смесью. Длина ядерного взаимодействия в смеси равна 125 см, радиационная длина — 39 см.

В первом случае остается "неиспользованным" γ_4 , во втором γ_3 . Очарованные мезоны в основном должны образовываться через распады резонансных векторных D^* состояний^{/3/}. Поэтому дополнительным критерием в получении однозначной интерпретации может служить регистрация электромагнитного распада $D^{*0} \rightarrow D^0 \gamma$.

Уровни достоверности (1С-фит) для распадов $D^{*0} \rightarrow D^0 \gamma_4$ и $D^{*0} \rightarrow D^0 \gamma_3$ составляют 11% и 96% соответственно. Значения разностей инвариантных масс $D^0 \gamma_4, D^0 \gamma_3$ и массы D^0 -мезона равны 184 ± 26 и 143 ± 16 МэВ/с². Последняя разность масс хорошо согласуется с табличным^{/4/} значением разности масс D^{*0} и D^0 -мезонов: $142,5 \pm 1,3$ МэВ/с².

Интерпретация события с использованием в восстановлении псевдоскалярного D^0 -мезона $\pi^0_{\gamma_1 \gamma_2}$ и $\pi^0_{\gamma_4 \gamma_5}$, а в восстановлении векторного D^{*0} -мезона γ_3 , является наиболее вероятной. Это позволяет сделать вывод о наблюдении каскадного распада D^0 -мезонов:



Значение массы D^0 -мезона равно 1901 ± 50 МэВ/с², а время его пролета до распада при импульсе $10,24 \pm 0,20$ ГэВ/с составляет $(6,25 \pm 0,12) \cdot 10^{-13}$ с. Табличные^{/4/} значения массы и времени жизни D^0 -мезона равны $1864,6 \pm 0,6$ МэВ/с² и $(4,3^{+0,5}_{-0,4}) \cdot 10^{-13}$ с соответственно*.

РАДИАЛЬНО ВОЗБУЖДЕННОЕ СОСТОЯНИЕ D_s^{*+} МЕЗОНА

Все видимые в ПК заряженные треки, выходящие из фотоэмульсии, и зарегистрированные γ -кванты использованы при интерпретации данного события. В вершине первичного взаимодействия поперечный импульс частиц относительно направления нейтринного пучка равен $0,23 \pm 0,23$ ГэВ/с. Отсутствие дополнительных треков в ПК и баланс поперечного импульса в вершине А указывают на то, что данное событие соответствует полностью восстановленной реакции: $\nu_\mu p \rightarrow \mu^- D^{*+} K^+ p$.

Энергия первичного нейтрино равна 25 ГэВ. Квадрат переданного 4-импульса Q^2 в событии составляет $\sim 2,6$ (ГэВ/с)².

Анализируемое событие обладает рядом четких признаков, характерных^{/5/} для дифракционного взаимодействия нейтрино на протоне. К таким характеристикам события относятся малая множествен-

* В нашем эксперименте зарегистрировано пять D^0 -мезонов. Время жизни D^0 -мезона, оцененное по 5 распадам, равно $(6,3^{+5,4}_{-2,5}) \cdot 10^{-13}$ с.

