

НАБЛЮДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ И РАСПАДА ВОЗБУЖДЕННОГО $c\bar{s}$ -СОСТОЯНИЯ С МАССОЙ ~ 2790 МэВ/с² В ЯДЕРНОЙ ФОТОЭМУЛЬСИИ

*Ю.А.Батусов, С.А.Бунятов, О.М.Кузнецов, В.В.Люков, В.И.Третьяк,
П.А.Горичев¹⁾, О.К.Егоров¹⁾, Э.Д.Колганова¹⁾, И.В.Махлюева¹⁾,
Е.А.Пожарова¹⁾, В.А.Смирнитский¹⁾, В.В.Шаманов¹⁾, В.В.Аммосов²⁾,
В.И.Баранов²⁾, В.А.Гапиенко²⁾, В.И.Клюхин²⁾, В.И.Корешев²⁾,
П.В.Питухин²⁾, В.И.Сиротенко²⁾, Б.Вильчинска³⁾, Г.Вильчински³⁾,
В.Вольтер³⁾, Б.Войсек³⁾, А.Ольшевски³⁾, А.Юрак³⁾,
Х.Чернев⁴⁾, М.Иванова⁵⁾, Л.Войводик⁶⁾, В.Смарт⁶⁾, Г.Рубин⁷⁾,
Р.Аммар⁸⁾, Дж.Грэсс⁸⁾, Р.Дэвис⁸⁾, Н.Квак⁸⁾, Д.Коппадж⁸⁾, Р.Раймер⁸⁾,
Р.Стамп⁸⁾, Т.Барнет⁹⁾, Р.Вилкс⁹⁾, С.Крживоджински⁹⁾, Дж.Лорд⁹⁾,
Р.Розенбладт⁹⁾, А.Бакич¹⁰⁾, Л.Пик¹⁰⁾.*

При исследовании взаимодействий нейтрино с ядрами в фотоэмulsionии впервые зарегистрировано событие, которое интерпретируется как дифракционное рождение радиально возбужденного состояния D_s^{*+} -мезона с массой 2794 ± 57 МэВ/с².

Распад возбужденного состояния D_s^{*+} -мезона обнаружен в одном из 194 взаимодействий нейтрино заряженного тока с ядрами в фотоэмulsionии зарегистрированных в эксперименте E564. В этом эксперименте ¹ криогенно-чувствительная ядерная фотоэмulsionия помещалась в рабочий объем 15-футовой пузырьковой камеры (ПК) ФНАЛ и облучалась в нейтринном пучке широкого спектра.

Каскадный распад D^0 -мезонов.

Схематическое изображение найденного в фотоэмulsionии события показано на рисунке. На расстоянии 1029 мкм от вершины первичного взаимодействия *A* методом поиска по следу была найдена двухлучевая звезда (вершина *B*). В вершине *A*, помимо протона отдачи (след 3) и мюона (1), есть только одна релятивистская частица (2) однозначно идентифицированная в фотоэмulsionии как K^+ -мезон. По измерениям относительной ионизации в фотоэмulsionии и значениям импульсов частиц полученным в ПК, отрицательно заряженная частица $v.1$ из вершины *B* наиболее вероятно является K^- -мезоном. Для положительно заряженной частицы $v.2$ можно лишь указать, что она не тяжелее протона. Характеристики всех треков данного события приведены в таблице.

Три обстоятельства исключают интерпретацию вершины *B* как распад нейтральной странной частицы K_s^0 или Λ^0 . 1) Инвариантная масса частиц $v.1$ и $v.2$ при значениях масс $\pi^+\pi^-$ и $\pi^-\rho$ составляет $0,36 \pm 0,01$ и $1,17 \pm 0,01$ ГэВ/с² соответственно. С учетом наиболее вероят-

¹⁾ ИТЭФ, Москва, СССР

²⁾ ИФВЭ, Серпухов, СССР.

³⁾ ИЯФ, Краков, ПНР.

⁴⁾ ИЯИЯЭ, София, НРБ.

⁵⁾ Пловдивский Университет, Пловдив, НРБ.

⁶⁾ ФНАЛ, Батавия, США.

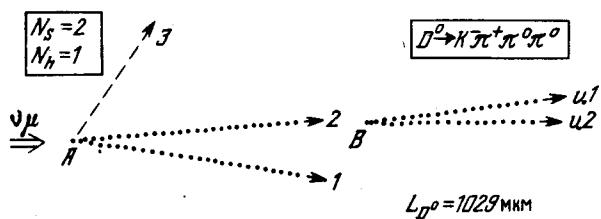
⁷⁾ ИИТ, Чикаго, США.

⁸⁾ Канзасский Университет, Лоуренс, США.

⁹⁾ Вашингтонский Университет, Сиэтл, США.

¹⁰⁾ Сиднейский Университет, Сидней, Австралия.

ной идентификации этих частиц инвариантная масса системы $K^- \pi^+$ равна $0,908 \pm 0,012 \text{ ГэВ/с}^2$, что хорошо согласуется с массой резонансного K^{*0} (892) состояния. 2) Перпендикулярная составляющая суммарного импульса частиц v_1 и v_2 относительно направления распавшейся частицы равна $0,32 \pm 0,03 \text{ ГэВ/с}$. 3) При пробеге 1029 мкм и импульсе больше 3,7 ГэВ/с (суммарный импульс только заряженных частиц) время пролета до распада частицы с массой M (в ГэВ/ c^2) не превышает $9,3 \cdot M \cdot 10^{-13} \text{ с}$. На фотоснимках с ПК отсутствуют распады нейтральных странных частиц, а в области близкой к выходящим из эмульсии заряженным трекам наблюдается электромагнитный ливень¹¹. Следовательно, наиболее вероятной интерпретацией двухлучевой звезды является кабибо-разрешенный распад очарованного D^0 -мезона по одному из каналов $D^0 \rightarrow K^- \pi^+ n\pi^0$ ($n = 1, 2, \dots$).



В ПК зарегистрировано пять γ -квантов векторы импульсов которых направлены или в вершину первичного взаимодействия или в вершину распада. Импульс каждого из этих γ -квантов больше $0,5 \text{ ГэВ/с}$, полная их энергия составляет $\sim 8 \text{ ГэВ}$. Импульсы остальных видимых в ПК γ -квантов невелики (меньше $0,5 \text{ ГэВ/с}$), а распределение по длине конверсии и угловые характеристики указывают на вторичный характер их образования обусловленного тормозным излучением электронов. Пять комбинаций инвариантных масс γ -квантов близки к массе π^0 -мезона. Импульсы (IC -фит) этих кандидатов на распад π^0 -мезонов составляют от ~ 2 до $\sim 4 \text{ ГэВ/с}$. Восстановленные кандидаты на распад π^0 -мезонов позволяют рассмотреть следующие каналы распада D^0 -мезона.

Распад $D^0 \rightarrow K^- \pi^+ \pi^0$. В этом случае требуется (OC -фит) π^0 -мезон с импульсом $\sim 9,6 \text{ ГэВ/с}$. 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 π^0 -мезонами приемлемы (уровень достоверности больше 1 %) только две. Окончательный выбор между этими комбинациями связан с регистрацией электромагнитного распада $D^{*0} \rightarrow D^0 \gamma$. Уровень достоверности распада $D^{*0} \rightarrow D^0 \gamma$ составляет $\sim 96 \%$ (IC -фит), а соответствующего ему распада $D^0 \rightarrow K^- \pi^+ \pi^0 \pi^0$ – 27% ($3C$ -фит). Разность масс D^{*0} и D^0 -мезонов равна $143 \pm 16 \text{ МэВ/с}^2$ (табличное² значение – $142,5 \pm 1,3 \text{ МэВ/с}^2$). Значение массы D^0 -мезона равно $1901 \pm 50 \text{ МэВ/с}^2$, а время его пролета до распада при импульсе $10,24 \pm 0,20 \text{ ГэВ/с}$ составляет $(6,25 \pm 0,12) \cdot 10^{-13} \text{ с}$. Табличные² значения массы и времени жизни D^0 -мезона равны $1864 \pm 0,6 \text{ МэВ/с}^2$ и $(4,3 \pm 0,5) \cdot 10^{-13} \text{ с}$ соответственно. Более подробно вопросы идентификации частиц и восстановления распада D^{*0} -мезона изложены в работе³.

¹¹⁾ ПК была заполнена тяжелой неон-водородной смесью. Длина ядерного взаимодействия в смеси равна 125 см, радиационная длина – 39 см.

Характеристики треков в первичной вершине A
и в вершине распада D^0 -мезона B .

Вершина	Трек	Измерения в фотоэмulsionии		Измерения в ПК		Частица
		Азимутальный угол α (град)	Угол погружения β (град)	Импульс (ГэВ/с)	Заряд	
A	ν	$-3,0 \pm 0,5$	$-2,5 \pm 0,5$			
	1	$-8,4 \pm 0,2$	$-2,6 \pm 0,4$	$12,50 \pm 0,20$	-	μ^-
	2	$2,5 \pm 0,2$	$-2,4 \pm 0,5$	$0,82 \pm 0,04$	+	K^+
	3	$54,2 \pm 0,3$	$-36,8 \pm 0,6$	$0,28 \pm 0,01$ ¹²		p
	4 ¹³	$-0,7 \pm 0,3$	$-0,8 \pm 0,2$	$1,45 \pm 0,16$	0	γ
	связующий					
B	след AB	$2,7 \pm 0,2$	$-2,2 \pm 0,4$			
	ν_1	$8,5 \pm 0,2$	$-0,4 \pm 0,4$	$1,15 \pm 0,05$	-	K^-
	ν_2	$3,3 \pm 0,2$	$3,4 \pm 0,4$	$2,52 \pm 0,05$	+	π^+
	ν_3 ¹³	$-2,0 \pm 0,4$	$-2,8 \pm 0,3$	$4,15 \pm 0,22$	0	π^0
	ν_4 ¹³	$8,9 \pm 0,3$	$-7,6 \pm 0,3$	$2,84 \pm 0,29$	0	π^0

¹²⁾ Импульс оценен по пробегу в фотоэмulsionии.

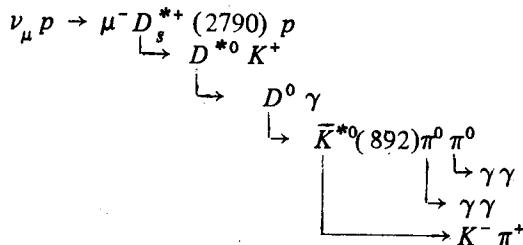
¹³⁾ Значения углов восстановлены по измерениям в ПК.

Радиально возбужденное состояние D_s^{*+} -мезона.

Все видимые в ПК заряженные треки, выходящие из фотоэмulsionии, и зарегистрированные 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 A указывают на то, что данное событие соответствует полностью восстановленной реакции: $\nu_\mu p \rightarrow \mu^- D^{*0} K^+ p$. 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 характерных⁴ для дифракционного взаимодействия нейтрино на протоне. К таким характеристикам относятся малая множественность вторичных частиц, наличие только одной сильноионизирующей частицы – протона отдачи с импульсом 280 МэВ/с и небольшая величина Q^2 .

Дифракционное рождение очарованных частиц, означает, что промежуточный W -бозон виртуально превращается в D -мезон ($c\bar{q}$ -пара), который упруго взаимодействует с протоном. При этом должны, в основном ($\sim 95\%$), рождаются $c\bar{s}$ -состояния, поскольку переход $W^+ \rightarrow c\bar{d}$ кабибо подавлен. Если энергетически разрешен распад по сильному взаимодействию, то возбужденные $c\bar{s}$ -состояния распадаются^{5,6} на очарованный нестранный D -мезон и K -мезон. Величина инвариантной массы зарегистрированных D^{*0} и K^+ -мезонов равна 2794 ± 57 МэВ/с². К полученному значению (с учетом ожидаемых ширин $\sim 50 - 100$ МэВ) близки теоретически предсказываемые⁵ массы орбитально возбужденного 1^3D_1 и радиально возбужденных 2^3S_1 , 2^1S_0 - $c\bar{s}$ -состояний. Их массы ожидаются равными ~ 2900 , ~ 2730 и ~ 2670 МэВ/с². Рождение 1^3D_1 - и 2^1S_0 -состояний подавлено относительно рождения радиально возбужденного 2^3S_1 -состояния векторного D_s^{*+} -мезона. Это связано с малостью константы связи W -бозона и $c\bar{s}$ -состояния с орбитальным моментом равным $d_{\text{ям}}^m$ ⁷ и $V-A$ -структурой слабого тока.

Таким образом, зарегистрированное событие наиболее вероятно интерпретируется, как дифракционное рождение первого радиально возбужденного состояния (2^3S_1) векторного D_s^{*+} -мезона, распадающегося по каналу $D^{*0} K^+$:



В настоящее время в литературе отсутствуют другие экспериментальные данные о наблюдении кандидатов на рождение и распад радиально возбужденных $c\bar{s}$ -состояний. В работе ⁸ зарегистрировано несколько кандидатов на образование и распад орбитально возбужденных $\bar{c}s$ -состояний: 1^1P_1 и 1^3P_1 .

В заключение авторы выражают благодарность Асратьяну А.Е., Герасимову С.Б., Шифману М.А. за полезные обсуждения.

Литература

1. Smart W. et al. Acta Phys. Polon., 1986, B17, 41.
2. Review of particle properties. Phys. Lett., 1986, B170.
3. Батусов Ю.А. и др. Препринт ОИЯИ, Р1-88-120, Дубна, 1988.
4. Жижин Е.Д., Кребс А.Б., Никитин Ю.П. Нейтринорождение очарованных адронов. Тексты лекций. – М.: МИФИ, 1984, с. 35, и ссылки к этой работе.
5. Godfrey S., Isgur N. Phys. Rev., 1985, D32, 189.
6. Шифман М.А. УФН, 1987, 151, 193.
7. Хозе В.А., Шифман М.А. УФН, 1983, 140, 3.
8. Agratyan A.E. et al. Preprint ITEP 87-214, Moscow.