

Новые сюрпризы в семействе очарованных мезонов

Предисловие переводчика.

В последние полтора года, то есть примерно с начала 2003 года, в физике элементарных частиц наблюдается подлинный "Ренесанс адронной спектроскопии". Ренесанс - это не преувеличение или поэтическая метафора, специально придуманная мной с целью популяризации физики высоких энергий. Нет, просто это слово за последний год я слышал из уст нескольких физиков как экспериментаторов, так и теоретиков, когда они хотели передать свои ощущения по поводу новых экспериментальных результатов в адронной физике. Действительно, последовавшие друг за другом открытия $D_{sJ}^+(2317)$ -частицы, одно время серьезно претендовавшей на роль первого димезона, кандидата в легчайшие пентакварки $\Theta(1540)$ и его более тяжелых "сородичей", наконец недавнее открытие состояния $X(3872)$ и заявка на обнаружение сходного с ним состояния $X(3940)$, которым нет места в спектроскопии чармония, не могут не будоражить умы физиков, изучающих свойства элементарных частиц.

Есть и более специальные вопросы адронной физики, в которых теория существенно расходится с экспериментом. Например, предсказанная в рамках правил сумм КХД константа распада $D^* \rightarrow D\pi$ почти в два раза меньше, чем измеренная в эксперименте CLEO. Существует непонятное расхождение в значении величины $|V_{ub}|$ – модуля матричного элемента матрицы смешивания кварковых токов, отвечающего за переход $b \rightarrow uW^-$, – полученной из эксклюзивных и инклюзивных распадов B -мезонов. Все эти вопросы еще ждут своего решения. Возможно, дело тут в том, что мы просто плохо умеем описывать динамику сильных взаимодействий вне рамок теории возмущений и что применяемые сейчас в физике адронов непертурбативные методы (различные версии правил сумм КХД, вычисления на решетках, кварковые модели, релятивистские и нерелятивистские потенциальные модели, симметричные соотношения и эффективные теории типа эффективной теории тяжелых кварков (HQET) или эффективной теории для больших энергий (LEET)) слишком грубы и не универсальны. Хорошо работая в одной какой-либо области они могут "без видимых причин" давать сбой в другой, которая ложно кажется нам почти аналогичной.

Адронная спектроскопия уже переживала на своем веку несколько взлетов. В 1960-х, когда М.Гелл-Манном, С.Цвейгом и другими физиками была создана наивная SU(3)-кварковая модель. В 1970-х, когда произошла знаменитая "Ноябрьская революция" – открытие С.Тингом

и Б.Рихтером очарованного кварка. Через три года Л.Ледерманом неожиданно был открыт прелестный кварк [1]. Одновременно с этими открытиями адронная физика получила прочный теоретический фундамент в виде КХД. На этом фундаменте стал развиваться целый ряд непертурбативных подходов к описанию структуры адронов. Из них наиболее известны и употребительны в наши дни компьютерные вычисления на решетках и правила сумм КХД.

Очередное возрождение интереса к адронной спектроскопии пришлось на конец 1980-х. Именно в это время были заложены основания многих методов изучения тяжелых кварков и получены первые указания на то, что тогда еще не найденный шестой кварк, так называемый топ-кварк, должен быть существенно тяжелее 100 ГэВ.

Открытие в 1995 году t -кварка не привело к очередному всплеску спектроскопических исследований, поскольку оказалось, что самый тяжелый из открытых в настоящее время кварков успевает быстрее распасться на пару bW^+ , чем образовать связанное адронное состояние [2].

Новый пик интереса к адронной спектроскопии пришелся на начало XXI – ого века и, как говорилось выше, оказался тесно связан с открытием сразу нескольких адронов, свойства которых плохо описываются с точки зрения современного понимания физики сильных взаимодействий.

Поиск "экзотики" в адронной спектроскопии всегда притягивал исследователей. Поиски глюбола, димезонов, дибарионов и пентакварка имеют давнюю историю. Достаточно подготовленный читатель может почерпнуть сведения о них из недавних публикаций [3]. Все статьи доступны в сети на русском языке на сайте журнала "Успехи физических наук" <http://www.ufn.ru>.

Вниманию сетевых читателей предлагается новостная заметка из международного журнала по физике высоких энергий "CERN Courier". Заметка посвящена открытию в эксперименте SELEX (**S**egmented **L**arge **X** baryon **S**pectrometer или эксперимент E781), который проходил в Национальной ускорительной лаборатории им. Э.Ферми (FNAL, США) в 1996 – 1997 годах, неизвестного мезонного состояния $D_{sJ}^+(2632)$, некоторые свойства которого могут противоречить кварковой картине в физике адронов. В эксперименте SELEX использовался 600 ГэВ–ный пучок, в котором примерно в равной пропорции присутствовали Σ^- – гипероны и π^- –мезоны. Пучок взаимодействовал с неподвижной мишенью, состоящей из чередующихся тонких медных и алмазных пленок. Основной целью эксперимента являлся набор высокой

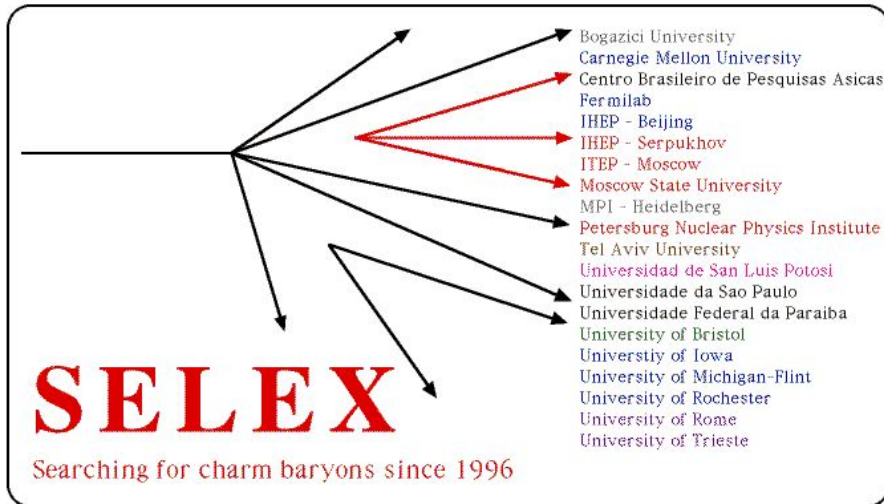


Рис. 1: Официальный логотип коллаборации SELEX.

статистики для изучения физики очарованных частиц, то есть частиц, содержащих c -кварк.

Предполагается, что $D_{sJ}^+(2632)$ является более тяжелым партнером недавно открытого $D_{sJ}^+(2317)$ -мезона, о загадочных свойствах которого сетевые читатели могут узнать из ранее опубликованных заметок [4] – [6]. Приятного вам чтения!

Н.Никитин

Коллаборацией SELEX найден новый мезон, содержащий очарованный и странный кварки

("CERN Courier" Volume 44, Number 6 (July/August 2004), page 6
"SELEX finds a new charm-strange meson")

Новый мезон с чрезвычайно узкой шириной распада предположительно являющийся связанным состоянием очарованного кварка c и странного антикварка \bar{s} был найден в эксперименте SELEX (FNAL, США). Эта частица является более тяжелым партнером аналогичных связанных состояний, которые были открыты в прошлом году другими экспериментами. Неожиданные свойства новой частицы вносят свой вклад в копилку интригующих результатов, связанных с данным семейством очарованных мезонов.

Напомним, что весной 2003 года эксперимент BaBar (SLAC, США) объявил об открытии нового очарованно-странного мезона $D_{sJ}^+(2317)$, существование которого в скором време-

ни было подтверждено коллаборациями CLEO (Корнельский ун., США) и BELLE (КЕК, Япония). Кроме того, коллаборация CLEO обнаружила более тяжелую частицу того же семейства, масса которой превышает массу $D_{sJ}^+(2317)$ -мезона примерно на 140 МэВ. И хотя существование этих мезонов было предсказано теоретически, их массы оказались ниже предсказанных, а времена жизни – существенно выше, чем это следует из теоретических результатов. После обнародования приведенных выше результатов, коллаборация SELEX приступила к переработке своих данных, полученных в эксперименте с неподвижной мишенью на ускорителе Tevatron в Фермилабе.

Эксперимент SELEX, который завершил набор статистики в 1997 году, был предназначен для изучения рождения очарованных частиц с использованием заряженного гиперонного пучка в Фермилабе. В своих последних исследованиях коллаборация проанализировала данные, содержащие почти 10^{10} столкновений Σ^- -гиперона с мишенью. В частности, физики использовали события, содержащие распады $D_s^\pm \rightarrow K^+K^-\pi^\pm$ основного состояния системы очарованного кварка и странного антикварка. Для поиска новых возбужденных состояний D_s^+ -мезона исследователи отобрали события, в которых распад D_s^+ -мезона сопровождался распадом η -мезона. Для идентификации η -мезона использовался канал распада $\eta \rightarrow \gamma\gamma$. После того, как был получен спектр масс $D_s^+\eta$ -системы, исследователи обнаружили отчетливый пик в районе $2635,9 \pm 2,9$ МэВ/ c^2 . В пике находится примерно 49 событий. Статистическая значимость пика составляет $7,2\sigma$ [7].

Поскольку частица с такой массой может также распадаться по каналу D^0K^+ , физики сотрудничества SELEX искали эту моду распада в данных, содержащих распад $D^0 \rightarrow K^-\pi^+$. События, отобранные этим способом, ясно показывают как наличие уже известного состояния $D_{sJ}^+(2573)$, так и новый пик, при массе $2631,5 \pm 1,9$ МэВ/ c^2 , содержащий 14 событий (Н.Н.: в статье из "CERN Courier" ошибочно указана масса $2613,5 \pm 1,9$ МэВ/ c^2 ; это легко обнаружить, если обратиться к оригинальной работе [7]). Объединение результатов по двум модам распада – $D_s^+\eta$ и D^0K^+ – ясно указывает на существование связанного состояния $D_{sJ}^+(2632)$ с массой $2632,6 \pm 1,6$ МэВ/ c^2 и чрезвычайно узкой шириной. До сих пор остается не ясным, почему новое состояние имеет столь узкую ширину. Ведь его масса достаточна, чтобы распадаться на пару D^0K^+ (Н.Н.: если кварковая модель адронов верна, то распад $D_{sJ}^+(2632) \rightarrow D^0K^+$ должен идти за счет сильного взаимодействия; из этого однозначно следует, что ширина $D_{sJ}^+(2632)$ -мезона должна быть, например, порядка ширины ρ -мезона, то

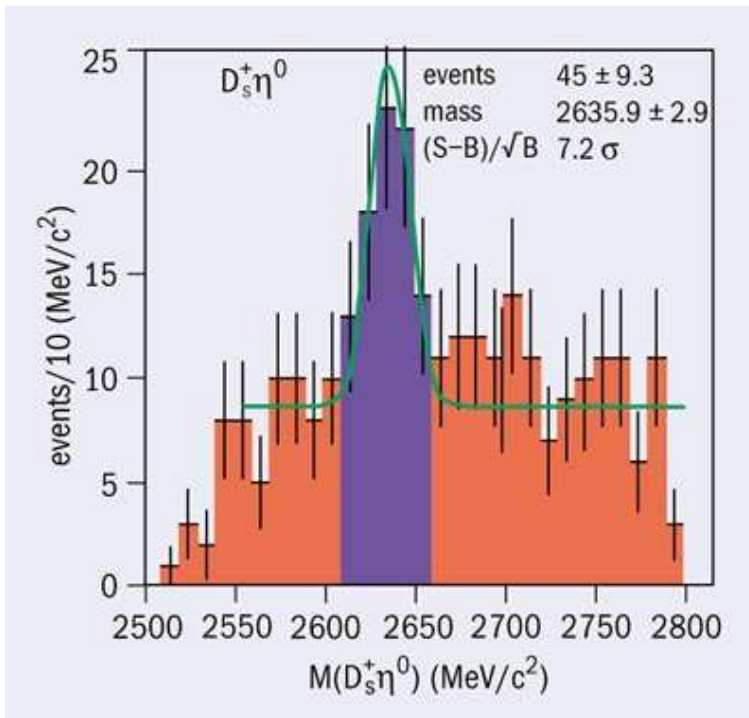


Рис. 2: Распределение по инвариантной массе $D_s^+\eta^0$ -системы. Ясно виден пик в районе 2635 МэВ/ c^2 .

есть порядка 100 с лишним МэВ, в то время как эксперимент указывает на ширину менее 10 МэВ). Кроме того весьма удивительно, что канал D^0K^+ доминирует по сравнению с каналом $D_s^+\eta$. Как отмечается коллаборацией SELEX, если новое связанное состояние принадлежит спектру мезонов с очарованным кварком и странным антикварком, то оно должно иметь партнера с близкой массой. Это является мощным стимулом к дальнейшим исследованиям в области спектроскопии очарованных частиц.

Список литературы

- [1] Г.Фрейзер, "Физическая B -ология", <http://phys.web.ru/db/msg/1185441/>
- [2] Д.Перкинс, "Физика элементарных частиц и t -кварк",
<http://phys.web.ru/db/msg/1184519/>
- [3] К.Н.Мухин, В.Н.Тихонов, "Старая и новая экзотика в мире элементарных частиц",
УФН т.171, N11, стр.1201, 2001;

В.В.Анисович, "Систематизация кварк-антикварковых состояний и экзотические мезоны", УФН т.174, N1, стр.49, 2004;

В.Б.Копелиович, "Экзотические барионные резонансы и модель киральных солитонов", УФН т.174, N3, стр.323, 2004.

[4] И.Иванов, "Текущие открытия в ФЭЧ: природа мезона $D_s^*(2317)$ ",
<http://www.scientific.ru/spark/ds2317.html>

[5] Н.Никитин, "Открытие $D_s(2317)$ -частицы. Найдено экзотическое димезонное состояние?", <http://phys.web.ru/db/msg/1185982/>

[6] Н.Никитин, "Экзотические многокварковые состояния. Как обстоят дела на сегодняшний день?", <http://phys.web.ru/db/msg/1187352/>

[7] A.V.Evdokimov et al., SELEX Collaboration, hep-ex/0406045.