

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук

Эйдельмана Семёна Исааковича

на диссертационную работу

Нефедьева Алексея Владимировича

«Пороговые явления и экзотические адроны в непертурбативной КХД»,

представленную в диссертационный совет Д 201.002.01

федерального государственного бюджетного учреждения науки

«ГНЦ РФ – Институт теоретической и экспериментальной физики»

НИЦ «Курчатовский институт», г. Москва,

на соискание ученой степени доктора физико-математических наук

по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика

Конец прошлого и начало этого столетия ознаменовались замечательным прогрессом как теории сильных взаимодействий – квантовой хромодинамики, так и всплеском соответствующей экспериментальной активности. В первую очередь это связано с исследованиями тяжелого кваркония в экспериментах Belle и BaBar на B-фабриках. За открытием состояния $X(3872)$ на детекторе Belle в 2003 году последовало наблюдение большого количества новых состояний с необычными свойствами. С одной стороны, они обладают массами, характерными для чармония и распадаются в состояния с чармом, а с другой – для них не находится места в стандартных мультиплетах чармония, и картина их распадов плохо вписывается в наши представления. Далее на детекторе Belle было открыто состояние $Z(4430)$, которое не может быть составлено из кварка и антикварка, а требует четырехкварковой структуры. Существование этого состояния было подтверждено сложным амплитудным анализом в эксперименте LHCb, параллельно новые четырехкварковые состояния наблюдались на детекторах Belle и BESIII. Наконец, большая статистика, набранная в эксперименте Belle при энергии выше 10.6 ГэВ, привела к наблюдению новых состояний боттомония. Многие из новых состояний имеют массу, близкую к порогу рождения двух мезонов. Интерпретация новых чармоние- и боттомониеподобных состояний требует точного знания их основных параметров, что опирается на экспериментальные данные.

Принципиально важный вопрос — как описать экспериментальные данные по рождению и распаду таких состояний, построив теоретически непротиворечивую параметризацию, удовлетворяющую аналитичности и унитарности. Этой актуальной проблеме и посвящена диссертационная работа А.В. Нефедьева.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и четырех приложений.

Первая глава диссертации посвящена исследованию формы линии околопорогового состояния в спектре тяжёлых кварков. Построенная модель связанных каналов позволяет изучить взаимное влияние друг на друга кварковых и мезонных степеней свободы в околопороговых состояниях. Расчёты показывают, что наличие в околопороговой области полюсов матрицы рассеяния, которые образуются за счёт кварковой и мезонной динамики по отдельности, может приводить к сложной форме линии околопорогового резонанса. Обобщение полученных формул на случай многих каналов показывает, что в такой системе возникают дополнительные эффекты за счёт взаимного влияния упругих каналов реакции друг на друга. Полученные формулы дают возможность получения информации о природе околопорогового состояния.

Вторая глава работы предлагает параметризацию формы линии околопороговых резонансов, непertурбативным образом включающую все возможные типы переходов между связанными каналами, удовлетворяющая унитарности и аналитичности. Сравнительная простота формулы позволяет непосредственно использовать ее при анализе экспериментальных данных. Автору удается описать данные по новым состояниям боттомония, $Z_b(10610)$ и $Z_b(10650)$. Кроме того, в ней обсуждаются спиновые партнеры новых состояний.

Третья глава диссертации детально исследует трёхчастичную динамику в околопороговом резонансе. Автору удается найти безразмерный параметр, определяющий возможность эффективного рассмотрения без явного расширения базиса системы связанных каналов на трёхчастичные состояния. Здесь также получены выражения для формы линии околопорогового резонанса с феноменологическим учётом трёхчастичной динамики. Детально рассматривается $D_1 D^*$ система, в которой такой эффективный подход к трёхчастичной динамике невозможен, поскольку для описания свойств системы необходимо точно учесть трёхчастичную унитарность.

В четвертой главе проведено детальное изучение свойств одного из наиболее характерных и во многом загадочных представителей экзотических околопороговых состояний – чармониеподобного состояния $X(3872)$. Выполненный здесь совместный анализ экспериментальных данных по различным модам распада $X(3872)$ приводит к выводу, что X является слабо связанным состоянием с достаточно большой (порядка 50%) примесью истинного $c\bar{c}$ чармония. Сделаны оценки вероятности прямого рождения $X(3872)$ в e^+e^- соударениях, а также проделаны вычисления вероятностей радиационных распадов $X(3872)$ в рамках калибровочно инвариантного теоретико-полевого подхода, показана совместимость существующих на данный момент экспериментальных данных по таким распадам с молекулярной моделью X . Полученная оценка лептонной ширины $X(3872)$ (больше или равна

0.03 эВ) означает, что не исключена возможность наблюдения этого состояния в прямом рождении в электрон-позитронных столкновениях в эксперименте BESIII. В этой же главе развит метод непертурбативного учёта однопионного обмена между D и D^* мезонами в $X(3872)$ с помощью системы трёхчастичных уравнений типа уравнения Фаддеева. Из решения полученной системы уравнений сделан вывод, что однопионный обмен является недостаточно удерживающим для формирования $X(3872)$ как связанного состояния. Автор также делает количественные оценки влияния динамических пионов на форму линии резонанса и, в частности, демонстрирует важность явного учёта пионной динамики в $X(3872)$.

В пятой главе предложен интересный метод киральной экстраполяции энергии связи $X(3872)$ по массе пиона с целью интерпретации данных расчетов на решетках, полученных при нефизически большой массе пиона (массе лёгкого u, d кварка). С помощью этого метода также удастся извлечь из решеточных расчетов информацию о свойствах изучаемого резонанса в физической точке по массе пиона.

Таким образом, в работе предложен целый ряд взаимно дополняющих друг друга методов исследования свойств околопороговых резонансов. Знания автора универсальны и отличаются широким диапазоном используемых методов. Он демонстрирует глубокий подход к изучаемой проблеме и ее понимание, сочетает сложные вычисления с количественными оценками, основанными на простых физических соображениях.

Диссертация оставляет очень хорошее впечатление. Она написана четким и ясным языком и разумно структурирована. Каждая глава завершается выводами, которые подготавливают к чтению следующей главы. Некоторые технические аспекты вынесены в четыре приложения. В работе имеется большое количество рисунков (56) и таблиц (11). Безусловно хорошая идея – наличие словаря терминов. Все это заметно способствует лучшему восприятию непростого и насыщенного текста. Автор демонстрирует отличное знание соответствующей литературы и ее понимание. Список литературы содержит 265 наименований, причем наряду с теоретическими работами в нем хорошо представлены публикации с описанием современных экспериментов в этой области.

В работе большого объема непросто избежать опечаток, пропущенных или лишних запятых. Но в данной работе их действительно мало. Так, на странице 84 в выводах ко второй главе написано “В третьей главе диссертации предложена“. Автор, к счастью, не злоупотребляет жаргоном. Практически единственным исключением является слово “фит”, правда, найти альтернативный термин нелегко. Указанные недостатки несколько не умаляют высокого качества проведенных исследований.

Научная новизна диссертации не вызывает сомнений. Полученные в ней результаты достоверны и надежно обоснованы. Автор продемонстрировал

высокую теоретическую культуру и хорошее знание экспериментальной ситуации. Основные работы, вошедшие в диссертацию, опубликованы в ведущих российских и международных журналах, а также докладывались на международных конференциях. Автореферат правильно и достаточно полно отражает содержание диссертации.

Диссертация А.В. Нефедьева является законченным научным исследованием, в котором получены новые фундаментальные результаты, и безусловно отвечает всем требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, а сам автор несомненно заслуживает присуждения ему степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика.

Главный научный сотрудник
Института ядерной физики СО РАН,
доктор физ.-мат. наук

13
Эйдельман
Семён Исаакович

Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера Сибирского отделения Российской академии наук, 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 11.
Тел.: +7(383)3294376, адрес электронной почты: S.I.Eidelman@inp.nsk.su

13.02.2017

Подпись С.И. Эйдельмана заверяю

Учёный секретарь Института ядерной физики СО РАН,
кандидат физико-математических наук



Ракшун Яков Валерьевич