

Отзыв официального оппонента о диссертации

Нефедьева Алексея Владимировича

“Пороговые явления и экзотические адроны в непертурбативной КХД”,
представленной на соискание учёной степени
доктора физико-математических наук
по специальности 01.04.02 — Теоретическая физика

Спектроскопия тяжёлых адронов является одной из наиболее динамично развивающихся областей физики сильных взаимодействий. В последнее десятилетие существенный прогресс в данной области наблюдается как со стороны эксперимента, так и со стороны теории и феноменологии. Действительно, в результате работы многочисленных экспериментальных коллабораций набран обширный материал по адронным состояниям, содержащим тяжёлые кварки. Более того, имеются веские основания полагать, что для описания некоторых из обнаруженных состояний недостаточно ограничиваться подходами, основанными на кварковых моделях, а необходимо привлекать дополнительные идеи. Тем самым, соответствующие адронные состояния, традиционно называемые экзотическими, предоставляют прекрасную возможность расширения и углубления наших представлений о природе сильных взаимодействий. Решёточные расчёты также поставляют информацию о сильно взаимодействующих состояниях, причём в последнее время решёточные группы обратили более пристальное внимание именно на экзотические адронные состояния, представляющие собой определённый вызов, но при этом и несомненный интерес для численного эксперимента. Ввиду вышесказанного тема настоящей диссертационной работы, а также предмет её изучения представляются весьма актуальными.

Первая глава диссертации содержит введение в феноменологию околопороговых состояний, включая разбор трудностей, возникающих при описании таких состояний “стандартными” методами. Здесь же подробно пояснены такие используемые в дальнейшем понятия как распределение Флатте, подход Вайнберга, спектральная плотность и т.д. В оригинальной части первой главы содержится детальное исследование поведения формы линии околопорогового резонанса в случае, когда и кварковая, и адронная динамики независимо генерируют полюса в околопороговой области. В частности, продемонстрировано весьма нетривиальное поведение амплитуд рассеяния и рождения в этом случае.

Вторая глава диссертации посвящена построению универсальной па-

раметризации для описания формы линии околопороговых состояний. Отказ от использования в этом случае стандартной параметризации Брейта–Вигнера обусловлен причинами, подробно изложенными в первой главе и состоящими, вкратце, в необходимости удовлетворения требованиям унитарности и аналитичности, а также в важности учёта пороговых эффектов, что невозможно в рамках формализма Брейта–Вигнера. В результате в диссертации предложен оригинальный метод модельно независимого извлечения параметров околопороговых состояний, причём, как отмечено выше, краеугольным камнем предлагаемого подхода является сохранение унитарности и аналитичности многоканальной амплитуды. Демонстрация работы метода на примере одновременного анализа экспериментальных данных для состояний $Z_b(10610)$ и $Z_b(10650)$ в спектре боттомония убедительно доказывает его достоверность и большой потенциал в приложении к феноменологии экзотических состояний. Нет сомнений в том, что предложенный метод найдёт своё достойное место в физике сильных взаимодействий. Ещё одним интересным и важным результатом, полученным во второй главе диссертации, является непосредственное извлечение из данных информации о положении полюсов, отвечающих за состояния Z_b . Вопрос о природе данных состояний активно обсуждается в литературе, и вклад результатов, полученных в диссертации, в его разрешение представляется весьма ценным и важным.

Третья глава диссертации посвящена расширению подхода, описанного в первых двух главах, и включению в рассмотрение дополнительного эффекта, возникающего вследствие нестабильности конститuentов околопороговых состояний. Как убедительно продемонстрировано в третьей главе, в ряде случаев учёт таких эффектов, в частности, трёхчастичного разреза, действительно, представляется необходимым. Следует отметить широту рассмотрения указанной проблемы в диссертации: в третьей главе содержится как подробное обсуждение эффективного учёта трёхчастичной унитарности, так и микроскопический подход к вычислению константы связи пиона с возбуждёнными адронами, определяющей величину вклада трёхчастичной динамики.

Четвёртая глава диссертации содержит широкий и многоплановый анализ природы и свойств чармониеподобного состояния $X(3872)$. Важно отметить построение самосогласованной картины для данного состояния, в которую логичным и непротиворечивым образом вписана вся известная на сегодняшний день информация о нём. Так, в начале главы комбинированный анализ экспериментальных данных по модам распада

$X(3872)$ использован для извлечения информации о его природе, в частности, сделан вывод о том, что X является связанным состоянием. Для различных приложений весьма важной представляется полученная оценка вклада компактной кварковой компоненты в волновую функцию X . Последующее рассмотрение роли потенциала однопионного взаимодействия в $X(3872)$ подводит своего рода черту под многолетними обсуждениями возможности связывания X пионным обменом. Сделанный вывод о невозможности такого связывания представляется убедительным. Далее предложен теоретико-полевой подход к описанию $X(3872)$, естественным образом опирающийся на ранее сделанные выводы. Затем построенный подход использован для описания свойств данного экзотического околопорогового состояния, в настоящий момент не доступных для экспериментального изучения. В частности, предсказано поведение его формы линии ниже двухчастичного порога, исследована форма подпорогового пика связанного состояния, продемонстрировано влияние трёхчастичной динамики на форму линии в данной области энергий. Весьма полезным представляется наглядное соотнесение результатов расчётов, представленных в диссертации, с результатами других известных в литературе подходов. С одной стороны, это подтверждает достоверность результатов диссертации и, с другой стороны, демонстрирует потенциал предложенных непertурбативных методов. Вычисление ширин радиационных распадов $X(3872)$ также естественным образом вписывается в канву четвёртой главы, а его результаты находятся в хорошем согласии с экспериментом и подтверждают ранее сделанные выводы о природе данного состояния. Наконец, вычисление вероятности прямого рождения $X(3872)$ в процессе электрон-позитронной аннигиляции, насколько мне известно, является первым таким вычислением, сделанным в мировой литературе. Полученный результат весьма интересен как с теоретической точки зрения, так и с экспериментальной, поскольку он утверждает принципиальную возможность наблюдения указанного процесса прямого рождения на уже существующих и работающих коллайдерах.

Пятая глава диссертации содержит естественное развитие идей и подходов, изложенных в четвёртой главе, применительно к построению киральной экстраполяцией энергии связи $X(3872)$. Полученные результаты наглядно показывают важность учёта пионного обмена в X , причём явно продемонстрирован существенный вклад трёхчастичной динамики в рассматриваемой системе. Киральные экстраполяции играют важную роль для корректной интерпретации результатов решёточных расчётов в фи-

зическом пределе, поэтому, как было отмечено выше, по мере появления новых, более точных решёточных данных возможности, предоставляемые подходом, изложенным в пятой главе диссертации, будут несомненно востребованы.

В целом следует отметить, что диссертационная работа выполнена на высоком профессиональном уровне, она содержит значительное количество новых и важных теоретических результатов, достоверность которых не вызывают сомнений, и при этом тесно связана с экспериментом. В заключение следует сделать несколько замечаний.

- В диссертации содержится подробное обсуждение свойств однопионного обмена в различных системах, содержащих очарованный кварк. В частности, продемонстрирована важная роль учёта данного типа взаимодействий при установлении природы удерживающих сил и других свойств состояния $X(3872)$. Кроме того, однопионный обмен кратко упоминается во второй главе в разделе, посвящённом обсуждению его влияния на форму линии состояний боттомония $Z_b(10610)$ и $Z_b(10650)$. При этом в четвёртой главе, посвящённой описанию данных для $X(3872)$, следовало бы сделать аналогичный комментарий относительно влияния однопионного обмена на его форму линии.
- Полезной была бы оценка вклада η -обменов в рассматриваемых в диссертации системах, содержащих c и b кварки.
- Во второй главе диссертации кратко обсуждается возможность предсказания свойств изовекторных партнёров состояний боттомония $Z_b(10610)$ и $Z_b(10650)$ с использованием параметров, извлечённых из подгонки к экспериментальным данным. Представляется полезным на основе развитых в диссертации методы, применимость которых успешно проверена, сделать чисто теоретические предсказания для спиновых партнёров Z_b и Z'_b . Комментарий на эту тему представляется уместным и целесообразным.
- Для части публикаций в отечественных журналах (например, работы [25], [29], [72]) дана ссылка только на переводную версию журнала. Было бы целесообразно давать такие ссылки в расширенном виде, включающем также и ссылку на оригинал статьи в русскоязычной версии журнала.

Диссертация является законченным научным исследованием, результаты которого составляют крупное научное достижение, вносящее существенный вклад в развитие физики элементарных частиц и открывающее новые перспективы в этой области. Все основные результаты, изложенные в диссертации, своевременно опубликованы в ведущих научных журналах и были неоднократно доложены на семинарах и конференциях. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Подводя итог, можно с уверенностью сказать, что диссертация удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор, Нефедьев Алексей Владимирович, несомненно заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 — Теоретическая физика.

27 февраля 2017 г.

Официальный оппонент,
доктор физ.-мат. наук,
главный научный сотрудник
Института образовательной информатики
ФИЦ ИУ РАН (г. Москва),
адрес: 119333, Москва, ул.Вавилова, д.44, кор.2,
телефон: +7(499)1350148,
эл.почта: faustov@ccas.ru

Фаустов Рудольф Николаевич

