

Отзыв на диссертационную работу Гармаша Алексея Юрьевича «Изучение боттомониеподобных состояний в эксперименте Belle», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.16 – Физика атомного ядра и элементарных частиц

Докторская диссертация Гармаша Алексея Юрьевича посвящена экспериментальному изучению боттомониеподобных состояний. В последние годы исследования чармониеподобных и боттомониеподобных состояний принесли целый ряд неожиданных результатов. Интерпретация многих явлений в этой области физики остается открытой. Новые измерения и открытия, представленные в диссертации А.Ю. Гармаша, являются в высшей степени актуальными и, несомненно, способствуют углублению понимания живописной картины таких состояний.

В первой главе диссертации содержится краткое изложение основных экспериментальных результатов и теоретических представлений по физике тяжелого кваркония. Эта глава полезна для понимания места и значения представленных в диссертации исследований. В этом небольшом обзоре диссертанту удалось охватить и доходчиво изложить разнообразный материал - от истории открытия J/ψ до свежих результатов расчетов на решетках. Эта глава убедительно свидетельствует о высоком профессионализме диссертанта. В качестве недостатка можно отметить неточное цитирование оригинальных публикаций. Так, в разделах 1.4.1 и 1.5 можно найти множество формул и чисел без единой ссылки на их происхождение.

Вторая глава посвящена описанию ускорительно-накопительного комплекса КЕКВ и детектора Belle, где выполнялись представленные в диссертации эксперименты. Здесь ничего не надо комментировать. Можно только еще раз восхититься совершенством этих установок и позавидовать тем, кто на них работает.

В третьей и четвертой главах, самых главных в этой диссертации, изложены процедуры анализа экспериментальных данных и результаты экспериментальных исследований процессов :

$$e+e^- \rightarrow Y(nS)\pi\pi, n = 1,2,3 \quad (1)$$

$$e+e^- \rightarrow B(*)B(*)\pi^\pm \quad (2)$$

при энергии рождения $Y(5S)$ резонанса.

Первая из перечисленных выше реакций очень подробно разобрана в третьей главе. Впервые две резонансоподобные структуры в спектрах масс $Y(nS)\pi^\pm$ и $h_b(mP)\pi^\pm$, обозначенные впоследствии как $Z_b(10610)^\pm$ и $Z_b(10650)^\pm$ обнаружены в результате анализа реакций $e+e^- \rightarrow Y(nS)\pi\pi$ и $e+e^- \rightarrow h_b(mP)\pi\pi$ при энергии $\sqrt{s_{e+e^-}} = 10.866$ ГэВ. Достаточно высокая статистика в первой из этих реакций и невысокий уровень фона создают благоприятные возможности для амплитудного анализа с целью определения квантовых чисел обнаруженных объектов и детального изучения динамики изучаемых процессов. Эта сложная и трудоемкая задача решена диссертантом и его коллегами с удивительной ясностью и исчерпывающей полнотой. Отдельный раздел диссертации

посвящен статистическим аспектам анализа. Поскольку в данном случае приходится минимизировать функционал, построенный на негруппированных событиях, особую проблему представляет оценка статистической значимости фитов. Для решения этой задачи в диссертации умело применены самые современные методы включая технику псевдоэкспериментов и мажоритарные оценки. С большой тщательностью проведен анализ систематических ошибок. Несмотря на то, что описанная в диссертации методика амплитудного анализа известна, её конкретная реализация далеко не проста. Достаточно посмотреть на раздел 3.3.1, чтобы оценить масштабы проблемы и квалификацию диссертанта. Результатом этой объемной работы явилось определение квантовых чисел резонансов $Z_b(10610)^\pm$ и $Z_b(10650)^\pm$. Более того, при исследовании реакции $e^+e^- \rightarrow \Upsilon(nS)\pi^0\pi^0$ удалось обнаружить и нейтральную компоненту изотриплета $Z_b(10610)$. Это стало возможным в значительной степени благодаря высоким качествам γ -детектора, разработанного и изготовленного в ИЯФ СО РАН для установки BELLE.

В целом, объем и качество представленной в третьей главе работы не оставляют сомнения в достоверности получаемых результатов. Мы не только узнали о существовании резонансов $Z_b(10610)$ и $Z_b(10650)$, но вполне надежно знаем их квантовые числа, с высокой точностью знаем массы этих объектов (относительная точность определения массы $Z_b(10610)^\pm$ и $Z_b(10650)^\pm$ намного лучше, чем у ρ -мезона) и имеем значительный объем сведений о свойствах этих объектов.

К тому, что написано в этой главе, можно сформулировать всего несколько доброжелательных замечаний и предложений.

- Формула 3.14 ошибочна, в ней неправильный знак перед n . Вдобавок, она описывает «Гаусса с хвостом налево», а нужен «хвост направо».
- Тензор Леви-Чивиты в формулах 3.20 и 3.23 обозначается одной буквой, а там, где дается его определение, сразу вслед за формулой 3.20, используется другая буква.
- Тензор $\varepsilon_{\sigma\tau}$ никак не определён, приходится догадываться о том, что это такое.
- На стр. 65 сообщается, что «амплитуды Z_k в выражении 3.29 симметризованы относительно перестановки пионов π_1 и π_2 , что диктуется условием изоспиновой симметрии». На самом деле, требование изоспиновой симметрии излишне. Достаточно зарядовой симметрии.
- Не очень понятна ссылка на работу [1] в автореферате в связи с параметризацией формы резонанса $f_0(980)$ функцией Флатте. В цитируемой работе не приведены параметры для такой параметризации. Хуже того, при изложении формулы Флатте там отсутствует самое главное – аналитическое продолжение амплитуды под порог КК.
- В диссертации правильно указывается, что используемая для амплитудного анализа модель амплитуды не унитарна и не аналитична. В применяемой в диссертации технике анализа трехчастичного распада ситуацию вполне возможно несколько улучшить употреблением известной параметризации с унитаризованной S-волной для $\pi\pi$ -рассеяния. Тогда характерный скачок интенсивности волны вниз при $m_{\pi\pi} = 1$ ГэВ будет возникать автоматически, а не являться следствием случайной игры фаз и интенсивностей резонансов $\sigma(500)$ и $f_0(980)$.

В четвертой главе представлены результаты исследований процессов $e^+e^- \rightarrow (B(*)B(*))^\mp \pi^\pm$. Основная трудность при изучении этой реакции состоит в том, что у B -мезонов нет больших эксклюзивных каналов распада, в связи с чем приходится для одного B -мезона собирать значительное количество мелких каналов, а параметры второго B -мезона восстанавливать по недостающему четырехимпульсу. Это очень объемная и кропотливая работа. Достаточно сказать, что для выделения заряженных и нейтральных B -мезонов использовано четырнадцать различных каналов с бранчингом каждого канала около 10^{-4} . При таком подходе необходимо подавить огромный фон от других каналов

распада В-мезонов и от процессов рождения более легких кварков, а также иметь ясное представление о фоне, который все-таки остался. Результат решения этой задачи, приведенный в диссертации на рис. 4.2 вызывает изумление и восхищение. Действительно, для такого анализа данных необходим огромный объем сведений о характеристиках десятков каналов распадов и развитые методы работы с этими данными. В результате удается надежно выделить реакции рождения $B\bar{B}^*\pi$ и $B^*\bar{B}\pi$. В спектре масс $B\bar{B}^*$ наблюдается сигнал с параметрами $Z_b(10610)$, а в спектре масс $B^*\bar{B}$ сигнал с параметрами $Z_b(10650)$. Обнаружено, что относительные вероятности распадов $Z_b(10610) \rightarrow B\bar{B}^*$ и $Z_b(10650) \rightarrow B^*\bar{B}$ значительно превышают вероятности распадов по каналам $Y(nS)\pi^\pm$ и $h_b(mP)\pi^\pm$. Это наблюдение имеет очень важное значение для интерпретации природы наблюдаемых резонансов.

Единственное замечание к представленному в этой главе материалу:

- На стр. 105 сообщается о том, что «наблюдается хорошее согласие между распределением экспериментальных данных и результатами аппроксимации». Обычно, вслед за таким утверждением приводятся данные о качестве фита, на основании которого сделан этот вывод. Ни в диссертации, ни в оригинальной работе этих сведений нет.

В последующих двух главах представлен обзор моделей, предложенных для описания экзотических кваркониеподобных резонансов и сравнительный анализ свойств боттомониеподобных резонансов $Z_b(10610)$ и $Z_b(10650)$ с чармониеподобными состояниями. В целом, эта область адронной спектроскопии находится в фазе становления и отличается разнообразием моделей, употребляемых для описания наблюдаемых состояний и предсказания новых. В диссертации удалось адекватно представить широкий спектр моделей и избежать однозначных высказываний о природе наблюдаемых объектов. Диссертант не скрывает своей любви к адронным молекулам, но и не настаивает на интерпретации резонансов $Z_b(10610)$ и $Z_b(10650)$ как преимущественно молекулярных состояний.

Эти главы написаны очень квалифицированно, к ним удалось найти всего три замечания:

- На стр. 126-127 написано: «...структуры, состоящие из связанной системы дикварка (в состоянии цветовой антитриплет) и антидикварка (цветовой триплет) [120]. Впервые такой подход был предложен в работе [121]». Утверждение непонятно. Такие системы рассматривались задолго до указанных работ.

- На стр. 134 описка: «...массы и ширины для пары $Z_c(3885)$ и $Z_c(3900)$ состояний и для пары $Z_c(3885)$ и $Z_c(3900)$ состояний...»

- На стр. 139 написано: «Однако ввиду отрицательной G-четности, все эти состояния не могут рождаться в e^+e^- аннигиляции в паре с одним пионом.» Это утверждение ошибочно. Правильно написать: «Однако ввиду отрицательной G-четности, все эти состояния не могут рождаться через изоскаларя в паре с одним пионом.»

Подводя итог следует сказать, что диссертация написана на очень высоком профессиональном уровне, в ней представлены новые первоклассные результаты, имеющие несомненную научную и практическую ценность. Они достоверны и заслуживают самой высокой оценки. Мелкие замечания не меняют высокой оценки этой работы. Содержание диссертации соответствует специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц. Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Полученные результаты опубликованы в ведущих научных журналах, доложены на международных и российских конференциях и семинарах.

Диссертация полностью соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Гармаш Алексей Юрьевич, безусловно заслуживает присвоения ученой степени доктора физико-математических наук.

Я, Зайцев Александр Михайлович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Гармаша Алексея Юрьевича, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент
доктор физ.-мат. наук (специальность 01.04.01),
профессор, главный научный сотрудник
Отделения экспериментальной физики
Федерального государственного бюджетного учреждения
«Институт физики высоких энергий им. А.А. Логунова
Национального исследовательского центра
«Курчатовский институт»
Адрес: 142281, Московская область,
г. Протвино, площадь Науки, дом 1
Телефон: +7 (4967) 71-36-23
Эл. почта: Alexandre.Zaitsev@ihep.ru

Зайцев Александр Михайлович

Подпись Зайцева А.М. удостоверяю
Ученый секретарь НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ

Прокопенко Николай Николаевич