

ОТЗЫВ

официального оппонента кандидата физико-математических наук Жемчугова А. С. на диссертацию ВИНОКУРОВОЙ Анны Николаевны «Изучение чармониев и чармониеподобных состояний в распадах B -мезонов с детектором BELLE», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц в диссертационный совет Д 003.016.02 на базе ФГБУН Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН

Диссертационная работа А.Н. Винокуровой посвящена изучению чармониев и чармониеподобных состояний в распадах B -мезонов в эксперименте BELLE. Более конкретно, речь идет об измерении параметров резонансов η_c и $\eta_c(2S)$ и о поиске экзотических чармониеподобных состояний. Свойства резонанса η_c , несмотря на то что он был открыт более чем 30 лет назад, до сих пор известны на порядок хуже по сравнению с другими состояниями чармония, такими как J/ψ , $\psi(3686)$, χ_{cJ} . Более того, существует заметное расхождение между массой и шириной η_c , измеренной в радиационных переходах J/ψ и в реакциях двухфотонного рождения η_c в различных экспериментах. Новые точные измерения свойств η_c крайне востребованы в том числе для разрешения этого противоречия. Что касается резонанса $\eta_c(2S)$, то его существование было надежно установлено лишь около 10 лет назад и свойства его до сих пор изучены недостаточно хорошо. Особенно это касается ширины данного резонанса, в отношении которой также имеется значительное расхождение при измерении в разных реакциях и в различных экспериментах. Открытие ряда экзотических состояний, таких как $X(3872)$, не согласующихся с предсказаниями кварковой модели в ее минимальном варианте и особенно недавнее обнаружение заряженных чармониеподобных состояний $Z_c(3900)$ и $Z_c(4020)$ и их нейтральных партнеров в эксперименте BES-III, подтвержденное коллаборациями BELLE и CLEO, стало одним из наиболее ярких событий в физике элементарных частиц в последние годы. В настоящее время есть серьезные основания предполагать их более сложную, например, мультикварковую структуру. К сожалению, ни одно из свойств новых частиц не является неопровержимым доказательством их внутреннего устройства, поэтому окончательный вывод об их природе можно сделать только после

анализа всей доступной информации, включая сведения об их образовании и распаде. Поиск подобных состояний в распадах В-мезонов представляет в связи с этим большой интерес. Таким образом, тема работы А.Н.Винокуровой безусловно **актуальна** с научной и практической точек зрения.

Научная и практическая ценность проведенных автором диссертации исследований несомненна. Предложенная процедура учета интерференции сигнала и нерезонансного фона может быть применена для изучения и других видов распадов. В то же время разработанный алгоритм проверки формы сигнала с усилителя-формирователя может быть использован для тестирования электроники с экспериментальных установок, аналогичных детектору Belle II.

Новизна результатов диссертации очевидна. Действительно, впервые сделан учет интерференции сигнала с нерезонансным фоном в распадах вида $B^\pm \rightarrow K^\pm (K_S K \pi)^0$ с образованием промежуточного чармония η_c или $\eta_c(2S)$. Кроме того, впервые проведен поиск экзотических состояний в распадах $B^\pm \rightarrow K^\pm \eta_c + \text{адроны}$.

Обоснованность полученных результатов обусловлена тем, что при выполнении программы исследований А.Н. Винокурова грамотно использовала инструменты и методы статистической обработки экспериментальных данных и программного обеспечения коллаборации BELLE. О **достоверности результатов** свидетельствует хорошее согласие результатов с предыдущими измерениями параметров η_c или $\eta_c(2S)$ в случае исследования распадов $B^\pm \rightarrow K^\pm (K_S K \pi)^0$, а также использование проверочной моды распада в случае анализа распадов $B^\pm \rightarrow K^\pm \eta_c + \text{адроны}$.

Необходимо отметить, что **личный вклад** А.Н. Винокуровой в исследованиях, отраженных в диссертации, является определяющим.

Диссертация А.Н. Винокуровой состоит из введения, 4 глав, заключения и двух приложений, содержит 126 страниц текста. Список цитируемой литературы содержит 90 ссылок.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель работы, показана ее научная новизна, сформулированы положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** проводится обзор физики чармония и чармониеподобных состояний. Рассматриваются основные процессы рождения чармония на B -фабриках. Подробно рассматривается спектроскопия чармония, приведены основные экспериментальные результаты в этой области и их теоретическая интерпретация. Особое внимание уделяется так называемым, экзотическим состояниям, предположительно имеющим структуру, отличную от минимальной «кварк-антикварк».

Вторая глава посвящена описанию коллайдера КЕК-В и детектора BELLE. Приведены устройство и характеристики основных подсистем экспериментальной установки. Особое внимание уделено электромагнитному калориметру и планам его модернизации в рамках создания установки BELLE-II на коллайдере SuperKEK-B. В данной главе содержится подробное описание процедуры проверки усилителей-формирователей для модернизированного калориметра на испытательном стенде и приводятся результаты ее применения для тестирования реальных модулей электроники.

В **третьей главе** содержится описание методов и результаты анализа событий распада $B^\pm \rightarrow K^\pm(K_s K\pi)$ и определение параметров резонансов η_c и $\eta_c(2S)$. Приведено описание процедуры отбора событий с образованием η_c и $\eta_c(2S)$ мезонов. Основное внимание уделено анализу влияния интерференции сигнала и нерезонансного фона на определение параметров этих резонансов. Сделан вывод о необходимости учета влияния интерференции для повышения точности результатов, особенно при определении относительных вероятностей распада. Предложена процедура учета интерференции, не использующая модельно-зависимых предположений о модуле и разности фаз сигнальной и фоновой амплитуд. Приведены результаты измерения массы и ширины резонансов η_c и $\eta_c(2S)$, а также произведения относительных вероятностей распадов $\text{Br}(B^\pm \rightarrow K^\pm \eta_c[\eta_c(2S)]) \times \text{Br}(\eta_c[\eta_c(2S)] \rightarrow K_s K\pi)$. Выполнен анализ основных источников систематической погрешности и приведена оценка величины их вкладов.

В **четвертой главе** описаны результаты поиска экзотических чармониеподобных состояний в распадах B -мезонов в конечные состояния с η_c

мезоном. Рассматриваются 4 моды распада В-мезонов. Приведено описание процедуры отбора событий. Описана процедура и результаты поиска экзотических резонансов $X_1(3872)$, $X(3730)$, $X(4014)$, $X(3915)$, $Z(3900)^0$, $Z(4020)^0$. Проведен анализ систематических погрешностей. Сделан вывод об отсутствии статистически значимого сигнала от указанных резонансов и установлен верхний предел на их образование в исследуемых реакциях.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

Приложение 1 содержит описание функции, применяемой для подгонки формы сигнала в усилителе-формирователе электромагнитного калориметра BELLE-II. Приложение 2 содержит описание функции, применяемой для подгонки при анализе распада $B^\pm \rightarrow K^\pm(K_s K\pi)$.

Важнейшими достижениями выполненных исследований и методических работ являются следующие:

1. Разработана процедура и создано программное обеспечение для измерения формы сигнала с усилителя-формирователя модернизированного электромагнитного калориметра BELLE. Данное программное обеспечение использовалось для тестирования плат электроники, предназначенной для BELLE-II.
2. Измерены масса и ширина резонансов η_c и $\eta_c(2S)$ и произведение относительных вероятностей $Br(B^\pm \rightarrow K^\pm \eta_c[\eta_c(2S)]) \times Br(\eta_c[\eta_c(2S)] \rightarrow K_s K\pi)$ в распадах $B^\pm \rightarrow K^\pm(K_s K\pi)$ с учетом интерференции сигнала с нерезонансным фоном.
3. Проведен поиск экзотических состояний $X_1(3872)$, $X(3730)$, $X(4014)$, $X(3915)$, $Z(3900)^0$, $Z(4020)^0$ в 4 модах распада В-мезона с образованием η_c мезона в конечном состоянии и поставлены верхние пределы на произведения относительных вероятностей их рождения и распада.

В качестве замечаний можно отметить следующее.

Текст диссертации и автореферата не лишен стилистических ошибок и неточного употребления терминов (например «вклад таких событий мы называем нерезонансной амплитудой» на стр. 5 автореферата, «пикующийся

сигнал» на стр. 79 диссертации и т.д.).

При описании основных механизмов образования чармония на B -фабриках в разделе 1.1 было бы полезно привести значения сечений соответствующих реакций для иллюстрации величины их вклада.

В разделе 1.3 было бы желательно привести более подробные сведения о существующих теоретических моделях, призванных объяснить свойства чармониеподобных состояний.

В разделе 1.3.1 при описании экзотических состояний $Z(3900)$ и $Z(4020)$ пропущены недавние результаты коллаборации BES-III по наблюдению нейтральных резонансов $Z(3885)^0$ и $Z(4025)^0$ (arXiv:1509.05620, arXiv:1507.02404).

В разделе 3.1 и разделе 4.2 было бы желательно проиллюстрировать процедуру отбора событий и оптимальность выбранных критериев распределениями соответствующих кинематических переменных.

На стр. 53 неудачно использован термин «восстановленная масса B -мезона». Поскольку речь идет о повышении точности определения массы за счет использования дополнительной информации об энергии пучка, более правильно применить термин «масса B -мезона, ограниченная энергией пучка» (английский эквивалент — beam-constrained mass).

При описании метода учета интерференции в разделе 3.2.2 было бы желательно суммировать предположения о свойствах сигнальной и нерезонансной амплитуд, на которых основан этот метод. Это особенно интересно в связи с тем, что метод предлагается для изучения других видов распадов (стр.4 автореферата) и таким образом возникает вопрос о пределах его применимости.

Сделанные в отзыве замечания не вносят принципиальных изменений в Положения и Выводы, выносимые автором на защиту.

Представленная работа прошла серьезную апробацию, ее основные результаты неоднократно докладывалась на крупных международных конференциях и были опубликованы в 6 печатных работах (из них 2 — статьи в рецензируемых научных изданиях и 4 — тезисы международных

конференций).

Автореферат диссертации А.Н. Винокуровой оформлен в полном соответствии с требованиями ВАК, написан четким и ясным языком. Он дает достаточно полное представление о содержании диссертации, содержит необходимые формулировки цели и задач исследований, выносимых на защиту положений, научной новизны и практической значимости.

В целом диссертация представляет собой законченное научное исследование – научно-квалификационную работу, в которой содержится решение задачи, имеющей существенное значение для физики элементарных частиц.

Все это позволяет утверждать, что представленная А.Н. Винокуровой диссертация «Изучение чармониев и чармониеподобных состояний в распадах *B*-мезонов с детектором BELLE» полностью удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор Винокурова Анна Николаевна безусловно заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.16 – физика атомного ядра и элементарных частиц.

Начальник научно-экспериментального отдела
встречных пучков ЛЯП ОИЯИ,
кандидат физ.-мат. наук,
141980 Московская область,
г.Дубна, ул. Жолио-Кюри, д.6,
тел. 89151360731,
zhemchugov@jinr.ru

А.С.Жемчугов

Подпись А.С. Жемчугова заверяю
Ученый секретарь ЛЯП ОИЯИ,
кандидат физ.-мат. наук



И.В. Титкова

«1» декабря 2015 г.