

Отзыв официального оппонента А.М. Зайцева  
на диссертацию Чиликина Кирилла Александровича  
«Измерение параметров чармониеподобных  
состояний в эксперименте Belle»,  
представленную на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук  
по специальности 01.04.23 – физика высоких энергий.

Кандидатская диссертация Чиликина Кирилла Александровича посвящена экспериментальному изучению заряженных чармониеподобных состояний. В последние годы исследования таких состояний принесли целый ряд неожиданных результатов. Интерпретация многих явлений в этой области физики остается открытой. Новые измерения и открытия, представленные в диссертации К.А.Чиликина, несомненно способствуют углублению понимания запутанной картины спектроскопии чармониеподобных состояний.

В первой главе диссертации представлен детальный обзор экспериментальных результатов по чармониеподобным резонансам и приведено их сопоставление с различными теоретическими моделями. Надо признать, что экспериментальная картина отличается большим разнообразием наблюдаемых состояний и в целом не поддается ясному теоретическому истолкованию, что представляет немалую трудность для обзора. Диссертанту удалось эту трудность преодолеть, компактно и ясно изложить большой объем разнообразного материала, не закрывая глаза на многочисленные шероховатости в интерпретации экспериментов и даже в самих экспериментах.

Вторая глава посвящена описанию установки Belle, на базе которой выполнены представленные в диссертации работы. Это выдающаяся установка, определившая развитие большого направления в физике высоких энергий. Прочтение хорошего описания этой установки доставляет большое удовольствие. Диссертант демонстрирует ясное понимание предмета, излагает материал именно с той степенью полноты, которая требуется для понимания дальнейших разделов диссертации.

В третьей главе речь идет об измерении квантовых чисел резонанса  $Z_c(4430)^+$ . Он был обнаружен ранее в эксперименте Belle, где при изучении распадов  $B \rightarrow \psi(2S)\pi^+K$  обнаружено заряженное чармониеподобное состояние, распадающееся на  $\psi(2S)\pi^+$ . Для определения квантовых чисел этого резонанса диссертантом выполнен амплитудный анализ распадов  $\bar{B}^0 \rightarrow \psi(2S)\pi^+K^-$ . С этой целью диссертант применяет известную методику амплитудного анализа в спиральном формализме. Несмотря на то, что такой метод не является новым, конкретное применение метода к анализу исследуемого распада далеко не простая задача, решение которой требует высокой квалификации и большого объема работы. Видно, что Кирилл Александрович прекрасно понимает возможности и ограничения используемого подхода. Для того, чтобы получить надежный и убедительный результат, модельная амплитуда повергается многочисленным и разнообразным вариациям. При всех этих вариациях убедительно наблюдается резонанс  $Z_c(4430)^+$  с квантовыми числами  $J^P = 1^+$ . Измерены вероятности распада  $\bar{B}^0$  по каналам  $\psi(2S)K\pi^+$ ,  $\psi(2S)K^*(892)$ ,  $Z_c(4430)^+ \rightarrow \psi(2S)\pi^+K^-$ . Определение квантовых чисел позволяет ограничить круг моделей, претендующих на описание этого резонанса.

Эта глава убедительно свидетельствует о высокой научной культуре диссертанта. Очень хороший результат является закономерным итогом большой, целеустремленной, квалифицированной работы.

По материалам этой главы можно высказать несколько доброжелательных замечаний:

- Хотя фон к исследуемой реакции невелик (рис. 3.1) и вклад его должным образом учтен, хотелось бы знать его природу. В диссертации об этом нет ни слова.

- На стр. 62 сказано, что «Мюоны идентифицировались по их длине пролета...». Формулировка неудачная, они идентифицировались по пробегу.

- Для выделения реакции используются различные обрезания. В диссертации не сообщается о том, как они выбраны. Это важно, ибо неправильный выбор обрезаний может существенно исказить результаты анализа.

- Приведенный на стр. 73 анализ качества подгонки не убеждает, поскольку в него не включены угловые переменные. Было бы целесообразно вычислить  $\chi^2/n.d.f.$  для небинированной статистики известными методами (например, M.Williams, C.A.Meuer.arXiv:0807.0015 [physics.data-an] и ссылки в этой работе). Хорошо бы, также, в дополнение к рис. 3.13, демонстрирующему ничтожное влияние  $Z_c(4430)^+$  на угловые распределения, привести те же распределения для событий из области пика  $Z_c(4430)^+$ , где влияние этого резонанса должно проявиться более отчетливо.

- Используемая для анализа изобарная модель это всего лишь модель, справедливость которой надо чем-то подтверждать. Нередко для этой цели применяется «сборщик мусора» - фальшивая амплитуда, не интерферирующая ни с какими другими. В качестве такого «сборщика мусора» можно было бы взять параметризацию фона со свободным параметром величины фона и в результате подгонки убедиться, что эта величина совпадает с той, что получается подгонкой распределения по  $\Delta E$ .

Следующая глава диссертации посвящена обнаружению состояния  $Z_c(4200)^+$  в распаде  $\bar{B}^0 \rightarrow J/\psi K^- \pi^+$  и измерению его квантовых чисел. Для анализа данных применялась та же модель амплитудного анализа, что и в предыдущей главе, с естественными изменениями, вызванными увеличенным фазовым объемом и существенно большей статистикой.

В этом распаде обсуждавшийся выше резонанс  $Z_c(4430)^+$  проявляется в виде провала (деструктивной интерференции). Кроме того, в канале  $J/\psi \pi$  можно угледеть широкий пик при массе 4200 МэВ, который естественно интерпретировать как новый, не наблюдавшийся ранее резонанс  $Z_c(4200)^+$ . Измерены квантовые числа этого резонанса:  $J^P = 1^+$ . Благодаря высокой статистике удалось провести амплитудный анализ без использования резонансной параметризации сигнала, включив в модель свободные независимые постоянные амплитуды в шести бинах в области наблюдаемого пика. Результаты такого анализа демонстрируют значительное движение фазы в нужном направлении, подтверждающее резонансную природу сигнала. Измерены масса и ширина резонанса. Измерены вероятности распада  $\bar{B}^0$  по каналам  $J/\psi K^- \pi^+$ ,  $J/\psi K^*(892)$ ,  $Z_c(4430)^+ \rightarrow J/\psi \pi^+ K^-$ ,  $Z_c(4200)^+ \rightarrow J/\psi \pi^+ K^-$ . Наблюдение нового резонанса, на который ранее не было ни экспериментальных ни теоретических намеков, следует признать важным научным достижением. Этот результат выглядит вполне достоверным, чему способствует не только высокая статистическая значимость сигнала, но и общий высокий уровень анализа данных. Здесь можно особо отметить умелое использование диссертантом современных методов статистического анализа.

К двум последним главам этой очень хорошей диссертации хочется сделать одно общее замечание. Обычно, получаемые в результате амплитудного анализа параметры сильно коррелированы. В диссертации эти корреляции не упоминаются. Было бы полезно привести значение корреляций массы и ширины резонансов  $Z_c(4430)^+$ ,  $Z_c(4200)^+$ , параметров амплитуд  $H_{+1}$  и  $H_{-1}$  (таблица 4.2), либо объяснить причину малости этих корреляций. В последнем случае остается и вовсе непонятным, как без учета корреляций ошибок спиральных амплитуд получить ошибки амплитуд в поперечном базисе (формула 4.19).



В заключение хотелось бы еще раз отметить очень высокое качество представленного для защиты материала. Работа написана ясно, хорошим русским языком. Упомянутые выше отдельные недостатки не отражаются на основном содержании и не влияют на общую очень высокую оценку диссертации. Результаты, представленные в диссертации, имеют несомненную научную и практическую ценность. Они достоверны и заслуживают самой высокой оценки.

Содержание диссертации соответствует специальности 01.04.23 - физика высоких энергий. Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Полученные результаты опубликованы в ведущих научных журналах за рубежом, доложены на международных и российских конференциях и семинарах.

Диссертация полностью соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Кирилл Александрович Чиликин, безусловно заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Отзыв составил

заместитель директора по научной работе по направлению физика частиц  
Федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный научный  
центр Российской Федерации - Институт физики высоких энергий» НИЦ «Курчатовский  
институт» Адрес: 142281, Московская область, город Протвино, площадь Науки, дом 1  
Телефон: +7 (4967) 71-38-79  
e-mail: Alexandre.Zaitsev@ihep.ru  
доктор физ.-мат. наук, профессор

Александр Михайлович Зайцев

27/05/2015

Подпись А.М. Зайцева заверяю Учёный  
ФГБУ ГНЦ ИФВЭ НИЦ «Курчатовский

Трокопенко

