

## ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора физико-математических наук Мелихова Дмитрия Игоревича, на диссертацию Тьен Тханг Чана «Слабые распады  $B$ -мезона и чармония в свете поиска новой физики», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — «теоретическая физика».

Несмотря на открытие Хиггсовского бозона, последнего составляющего элемента стандартной модели физики элементарных частиц (СМ), и впечатляющие успехи данной модели в описании экспериментальных данных, имеются обоснованные ожидания того, что СМ все же не есть полная теория физики элементарных частиц. Поэтому одной из актуальных проблем в физике микромира является поиск проявлений физики вне рамок СМ, т.н. новой физики (НФ). Такой поиск ведётся в прецизионных ускорительных экспериментах BaBar, Belle, LHCb и BES III. В целом ряде лептонных и полулептонных распадов  $B$ -мезонов были обнаружены сигналы возможных отклонений от предсказаний СМ, вызвавшие поток теоретических работ по обсуждению конкретных сценариев НФ, которые могли бы объяснить данные отклонения.

При теоретическом описании распадов тяжелых адронов в СМ, критическими являются эффекты непертурбативный КХД, корректный учёт которых необходим для вычисления матричных элементов переходов между адронными состояниями. Данные непертурбативные эффекты определяют значения адронных переходных формфакторов. Таким образом, для экспериментального изучения эффектов НФ в распадах тяжёлых мезонов, необходимо надёжные теоретические результаты по адронным форм факторам.

Диссертационная работа Т.Т.Чана посвящена (i) теоретическому вычислению характеристик слабых распадов  $B$ -мезона и чармония в рамках ковариантной модели кварков (КМК), и (ii) исследование проявления эффектов НФ в данных распадах. Выбранная диссертантом тема, вне всяких сомнений, представляет собой актуальное и важное исследование.

Диссертация состоит из введения, пяти основных глав и заключения. Полный объем диссертации составляет 123 страницы, включая 38 рисунков и 15 таблиц. Список литературы включает 112 ссылок.

Во **Введении** обсуждены актуальность выбранной темы и степень ее разработанности, поставлены цель и задачи исследования, сформулированы основные положения, выносимые диссертантом на защиту, и показаны новизна и значимость полученных результатов.

**В первой главе** дано краткое введение в ковариантную модель кварков, являющейся эффективным квантовополевым подходом к описанию адронных взаимодействий. Основ-

ными элементами данного подхода являются лагранжиан взаимодействия адронов с составляющими их кварками и соответствующая S-матрица, матричные элементы которой описывают взаимодействия адронов посредством обмена конституэнтными кварками. В данной главе также продемонстрирована техника расчета матричных элементов и приведены результаты фита свободных параметров модели. В настоящей диссертации данная модель используется для вычисления формфакторов переходов между мезонами, необходимых при изучении их слабых распадов.

**Во второй главе** в рамках СМ рассмотрены эксклюзивные лептонные и полулептонные распады  $B$ -мезона:  $B \rightarrow \ell^- \bar{\nu}_\ell$  и  $\bar{B}^0 \rightarrow D^{(*)} \ell^- \bar{\nu}_\ell$ , где  $\ell = e, \mu, \tau$ . Получено полное дифференциальное распределение по углам и квадрату переданного импульса  $q^2$  в каскадном распаде  $\bar{B}^0 \rightarrow D^* (\rightarrow D\pi) \ell^- \bar{\nu}_\ell$ . Данное распределение выражается через спиральные амплитуды, которые являются линейными комбинациями инвариантных формфакторов. Формфакторы, описывающие адронные переходы  $\bar{B}^0 \rightarrow D$  и  $\bar{B}^0 \rightarrow D^*$ , получены в рамках КМК во всей кинематической области  $q^2$ . Вычислены брэнчинги, а также ряд поляризационных характеристик полулептонных распадов, такие как параметр асимметрии “вперед-назад”, поляризации заряженного лептона и  $D^*$ -мезона, и другие. Подробно обсуждена роль конечных масс лептонов при описании различных физических наблюдаемых.

**Третья глава** посвящена теоретическому описанию проявлений НФ в тау-секторе полулептонных распадов  $B$ -мезона, а именно,  $\bar{B}^0 \rightarrow D^* \tau^- \bar{\nu}_\tau$  и  $\bar{B}^0 \rightarrow D \tau^- \bar{\nu}_\tau$ , в связи с обнаруженным на эксперименте расхождением на уровне  $4\sigma$  с предсказаниями СМ. Данные распады хорошо подходят для поиска эффектов НФ в слабых взаимодействиях, описываемых заряженными токами. Возможные объяснения наблюдаемого отклонения от СМ можно найти в ряде различных расширений СМ, в которых существуют либо лептокварки, либо заряженный хиггсовский бозон. Однако, в диссертации автором выбран модельно-независимый подход к описанию НФ, который основан на расширении эффективного гамильтониана СМ за счет введения новых 4-х фермионных операторов, содержащих векторные (аксиальные) токи с правой киральностью, (псевдо)скалярные токи с левой и правой киральностью, и тензорные токи с левой киральностью. Численные ограничения на соответствующие вильсоновские коэффициенты получены с помощью фитирования отношений брэнчингов  $R(D^{(*)}) \equiv \mathcal{B}(\bar{B}^0 \rightarrow D^{(*)} \tau^- \bar{\nu}_\tau) / \mathcal{B}(\bar{B}^0 \rightarrow D^{(*)} \mu^- \bar{\nu}_\mu)$  к их измеренным на эксперименте значениям. Подробно исследованы влияния данных новых операторов на различные физические наблюдаемые и обсуждены возможности их обнаружения в эксперименте.

**Четвертая глава** является продолжением анализа, выполненного в третьей главе. В данной главе подробно исследованы эффекты операторов НФ на продольную, поперечную и нормальную поляризационные компоненты  $\tau$ -лептона. Показано, что поляризация  $\tau$ -лептона в распаде  $\bar{B}^0 \rightarrow D \tau^- \bar{\nu}_\tau$  чрезвычайно чувствительна к скалярному оператору  $\mathcal{O}_{S_L}$ , а в распаде  $\bar{B}^0 \rightarrow D^* \tau^- \bar{\nu}_\tau$  — очень чувствительна к тензорному оператору  $\mathcal{O}_{T_L}$ . Так-

же рассмотрена корреляция между различными компонентами поляризации  $\tau$ -лептона и обсужден вопрос о возможности их измерения в последующих распадах  $\tau$ -лептона.

**Пятая глава** посвящена теоретическому изучению эксклюзивных полуплептонных распадов чармония в  $D$ -мезон и лептонную пару  $J/\psi \rightarrow D_{(s)}^{(*)} \ell \nu_\ell$ , где  $\ell = e, \mu$ . Формфакторы, описывающие адронные переходы  $J/\psi \rightarrow D_{(s)}^{(*)}$ , вычисляются в рамках КМК и используются для расчета брэнчингов данных распадов. Подробно обсуждены полученные результаты и предоставлены предсказания для отношений некоторых брэнчингов.

**В Заключение** сформулированы основные результаты диссертации.

Я бы отметил следующие замечания к диссертации:

(I) Основной проблемой при вычислении амплитуд слабых распадов тяжёлых мезонов является учёт структуры начального и конечного адронов, которая в конечном итоге определяется непертурбативной КХД. Автор использует ковариантную кварковую модель для эффективного описания данных непертурбативных эффектов. По моему мнению, было бы полезным и интересным показать (i) насколько данная модель воспроизводит строгие результаты КХД, известные в пределе тяжёлых кварков и (ii) как данная модель соотносится с другими активно используемыми подходами к описанию структуры адронов в слабых процессах (например, релятивистским дисперсионным подходом, основанным на модели конституэнтных кварков Анисовича-Мелихова и квазипотенциальным подходом Фаустова-Галкина).

(II) Диссертация не свободна от небольшого количества грамматических ошибок и опечаток, которые, однако, не затрудняют понимание сути излагаемого материала.

Сделанные замечания, однако, не влияют на оценку качества и высокого научного уровня диссертации и не умаляют ценности полученных результатов. В целом, диссертация Т.Т. Чана является законченной научно-исследовательской работой, выполненной лично автором на высоком профессиональном уровне. Полученные в диссертации результаты являются оригинальными, достоверными и хорошо обоснованными. Они вносят существенный вклад в изучение слабых распадов тяжелых мезонов и могут найти применение при поиске НФ в экспериментах BaBar, Belle и LHCb. Материалы диссертации опубликованы в 6 печатных работах, из них 4 статьи в ведущих научных журналах, многократно докладывались автором на престижных международных конференциях, а также широко известны и цитируются.

**Автореферат** правильно и полностью отражает содержание диссертации. Тема диссертации соответствует паспорту научной специальности 01.04.02 — «Теоретическая физика».

В силу вышесказанного, с уверенностью считаю, что диссертация Т.Т. Чана «Слабые распады  $B$ -мезона и чармония в свете поиска новой физики» отвечает всем требовани-

ям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – «Теоретическая физика», а ее автор, Тьен Тханг Чан безусловно заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по данной специальности.

Даю согласие на обработку моих персональных данных любым законодательно разрешенным способом.

5 сентября 2017 г.

Официальный оппонент  
Ведущий научный сотрудник НИИЯФ МГУ  
Доктор физ.-мат. наук

Д.И. Мелихов

Адрес: 119234, ГСП-1, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2  
Тел.: +7 (495) 939-55-45, e-mail: dmitri\_melikhov@gmx.de

Подпись Д.И. Мелихова удостоверяю:  
Директор НИИЯФ МГУ  
Доктор физ.-мат. наук, профессор



М.И. Панасюк