

**Отзыв официального оппонента на диссертацию Станислава Владимировича Пославского “Рождение  $P$ -волновых кваркониев в адронных экспериментах”, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — теоретическая физика.**

Тема диссертационной работы Станислава Владимировича Пославского на сегодняшний день является крайне актуальной. С момента открытия частиц семейства тяжелых кваркониев, они являются объектом пристального изучения как экспериментаторов, так и теоретиков. В настоящий момент, активная программа исследований тяжелых кваркониев разрабатывается и проводится в ведущих ускорительных центрах мира, в первую очередь на большом адронном коллайдере.

Пристальный интерес к изучению мезонов, содержащих тяжелые кварки, вызван тем, что, с одной стороны, рождение тяжелых кварков является пертурбативным процессом, а, с другой стороны, их адронизация — существенно непертурбативным. Таким образом, изучение этих частиц дает возможность детальной проверки широкого спектра явлений КХД: партонной модели, жестких процессов, связанных состояний и т.п. С развитием экспериментальной техники, и появлением возможности раздельного измерения  $p_T$ -спектров  $P$ -волновых состояний  $\chi_{c1,2}$  и  $\chi_{b1,2}$ , построение теоретических предсказаний соответствующих процессов представляет крайне актуальную задачу.

В диссертации С. В. Пославского дается теоретическое описание процессов рождения  $\chi_c$ - и  $\chi_b$ -мезонов в рамках эффективной нерелятивистской КХД. Первые две главы диссертации посвящены процессам рождения  $\chi_c$ - и  $\chi_b$ -мезонов в адронных взаимодействиях при высоких энергиях. Стоит отметить, что для извлечения непертурбативных параметров модели, в диссертации проведен подробный анализ и фитирование всей совокупности имеющихся экспериментальных данных с установок CDF, LHCb, CMS и ATLAS. Полученные диссертантом предсказания дифференциальных сечений рождения чармониев и боттомониев уже сегодня используются коллаборациями LHCb, CMS и ATLAS, что явно свидетельствует о качестве проделанной работы и практической значимости полученных результатов.

Третья глава диссертации посвящена рождению  $\chi_c$ -мезонов в эксперименте PANDA на ускорительном комплексе FAIR, который строится в Германии при значительном участии российских ученых, в том числе из ИФВЭ. Исследования чармониев составляет значительную часть физической программы исследований PANDA. В диссертации получены предсказания сечений рождения чармониев  $\chi_{c1,2}$  и  $J/\psi$  в условиях

PANDA. Особым достижением диссертанта является создание генератора событий рождения этих частиц в программной среде PandaRoot для проведения симуляции соответствующих процессов в условиях реального эксперимента. Данный генератор встроен в основной код PandaRoot, используемый коллаборацией PANDA для компьютерного моделирования эксперимента.

В рамках диссертационной работы, диссертантом в ИФВЭ была разработана система компьютерной алгебры Redberry на языке Java. Описанию Redberry посвящена Глава 4 диссертации. Создание данной системы стоит отметить как особое достижение представленной работы. На сегодняшний день существует ряд систем (как коммерческих, так и свободных), которые предназначены для проведения аналитических расчетов в физике высоких энергий. Однако, универсальной системы, которая позволяла бы с равным успехом проводить вычисления в разных областях физики высоких энергий включая теорию поля, квантовую гравитацию, стандартную модель пока нет. В диссертации продемонстрировано, что разработанная в ИФВЭ диссертантом свободная система Redberry позволяет решать широкий круг актуальных задач физики высоких энергий. В качестве иллюстрации, в диссертации приводятся примеры вычисления диаграмм Фейнмана в КЭД и вычисления однопетлевых контрчленов в квантовой гравитации. Все аналитические расчеты в диссертации проведены с использованием Redberry.

В Главах 1 и 2 даны теоретические оценки сечений рождения  $\chi_c$ - и  $\chi_b$ -мезонов, полученные в рамках НРКХД, для экспериментов на ускорителе LHC, а также приведены сравнения полученных предсказаний с имеющимися данными. Показано, что отношение сечений  $\sigma(\chi_{c2})/\sigma(\chi_{c1})$  является наиболее чувствительным к непертурбативным параметрам модели. При этом выявлено рассогласование наборов экспериментальных данных с предсказаниями модели. Это рассогласование может быть связано с необходимостью учета следующих за лидирующим вкладов в сечение жесткого процесса. Это факт может рассматриваться как важная задача для будущих исследований диссертанта. В Главе 1 независимо обнаружена ошибка в расчетах проведенных группой авторов из Германии в 2003 году при вычислении дифференциального сечения патронных процессов рождения кварк-антикварковой пары в октетном по цвету состоянии в подпроцессе глюон-глюонных взаимодействий. К сожалению, автором незамечено, что ошибка в работе 2003 года была устранена и находится в соответствии с результатами более поздних вычислений M. Meijer, J. Smith and W. van Neerven, Phys.Rev. D77 (2008) 084014, что также отмечено в непроцитированном в диссертационно работе опубликованном расчете M. Klassen, B.A. Kniehl, L. Mikhaïla and M. Steinhauser,

Phys.Rev. D77, 117501 (2008).

Среди недостатков диссертации стоит отметить следующие:

- Во Введении диссертантом неверно указано, что программа Schoonship вошла в цикл работ Профессора М. Вельтмана и Профессора Гурарда Т Хоофта, удостоенных Нобелевской премии по физике 1999 года за создание квантово-полевых методов и их использование для доказательства перенормируемости Стандартной Теории электро-слабых взаимодействий. Хотя система Schoonship и была использована в аналитических вычислениях в этой Теории, КЭД и КХД проводившимся в том числе группами ученых ОИЯИ (Дубна) и ИЯИ РАН она даже не была опубликована ее автором – Профессором Вельтманом, а описана в научном журнале лишь ее дальнейшим разработчиком Х. Струбе из ЦЕРН.
- В Главе 2, при приведении теоретических предсказаний сечений рождения боттомониев, не приведены теоретические неопределенности. Большая их часть связана с выбором масштаба перенормировки константы связи КХД  $\alpha_S(\mu)$  и масштабов факторизации партонных распределений  $f(x, \mu)$ . Они могут быть значительными и последовательно определяются лишь при проведении расчетов и обработки данных в следующих за лидирующем порядке теории возмущений, что может рассматриваться в качестве задачи автору для будущих исследований.
- Приведенные в таблицах 2 и 3 доверительные интервалы не согласуются со значениями ошибок, приведенными в этих же таблицах.
- В диссертации встречаются жаргонные выражения: например, во Введении вместо словосочетания “область допустимых значений”, написано просто “вилка”.
- В ходе работы над диссертацией, автором использовались результаты работы сотрудника ИФВЭ С. И. Алехина, выполненной в соавторстве с коллегами из Германии (S.I. Alekhin et. al., Phys.Rev. D81 (2010) 014032). К сожалению, ссылка на данную работу отсутствует в диссертации.
- Во Введении, автор не упомянул, что частица  $J/\psi$  была также независимо открыта коллаборацией ADONE в институте Фраскати (Phys. Rev. Lett. 33, 1408). Эта работа была опубликована в том же номере Phys.Rev.Lett., что и работа коллабораций, работавших под руководством Проф. Самуэля Тинга в Брукхэвине и Проф. Бертона

Рихтера в СЛАКе, за которые в дальнейшем они были удостоены Нобелевской премии по физике 1976 года.

- В Разделе 4, где дается описание системы компьютерной алгебры недостаточно ссылок и сравнения с другими известными системами, такими как FORM, REDUCE, FeynCalc и т.п.

К числу пожеланий, я бы хотел отнести необходимость в срочной публикации статьи о системе Redberry в российском научном журнале, так как она уже была отклонена от публикации в международном журнале Computer Physics Communications при 3 положительных и 1 необоснованно критическом. При этом желательно указать, что данная система уже используется для проведения актуальных вычислений в физике высоких энергий.

Изложенные выше замечания, не умаляют значимости диссертационной работы. Все замечания носят либо стилистический, либо дискуссионный характер.

Материалы диссертационного исследования соответствуют требованиям п. 10 Положения о порядке присуждения ученых степеней ВАК РФ и отражены в 6 публикациях по теме диссертации, 4 из которых — в рецензируемых высокорейтинговых журналах, входящих в Перечень ВАК РФ. Публикации соответствуют требованиям п. 10 Положения о порядке присуждения ученых степеней.

Диссертация Пославского С.В. “Рождение  $P$ -волновых кварконигов в адронных экспериментах” соответствует требованиям, предусмотренным п.п. 7 и 8 Положения о порядке присуждения ученых степеней, и представляет собой специально подготовленную рукопись, содержащую совокупность новых научных результатов и положений, выдвигаемых автором для защиты, свидетельствующих о личном вкладе автора в науку. Полученные автором новые результаты строго аргументированы, полностью соответствуют поставленной задаче и логично вытекают из проделанной работы. Результаты работы многократно докладывались на семинарах, и в том числе на Теоретическом Семинаре ИЯИ РАН, и на международных конференциях. Автореферат полностью отражает содержание работы. Полученные диссертантом результаты могут использоваться во всех организациях, ведущих исследования в области физики высоких энергий, в том числе ИФВЭ, ИЯИ, ФИАН, НИИЯФ, ОИЯИ, а также других научных центрах России и мира.

Считаю, что Станислав Владимирович Пославский заслуживает присвоения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — теоретическая физика.

