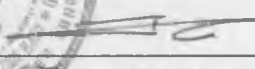


“Утверждаю”

Заместитель директора ФИАН
доктор физико-математических наук
профессор В.Н.Неволин




_____ 2014 г.

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОТЗЫВ

ведущей организации –

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Физического института им.П.Н. Лебедева РАН на диссертацию
Пославского Станислава Владимировича

"Рождение P -волновых кваркониев в адронных взаимодействиях",
представленную на соискание учёной степени кандидата
физико-математических по специальности 01.04.02 –
теоретическая физика.

Мезоны, содержащие тяжёлые кварки (c или b) оказались с самого момента их открытия объектом пристального внимания и детальных исследований как с экспериментальной, так и с теоретической стороны. Изучение механизмов их рождения предоставляет возможность комплексной проверки всей совокупности наших представлений о партонной модели, жёстких взаимодействиях и способах формирования связанных состояний. К сожалению, в настоящее время не существует модели, способной воспроизвести во всей полноте накопленные экспериментальные данные о дифференциальных сечениях рождения S - и P -волновых кваркониев и их поляризации. Нужно ли говорить, что в подобных обстоятельствах поставленная диссертантом задача не просто актуальна, но вызывает поистине животрепещущий интерес.

Но едва ли не ещё больший интерес может быть связан с отдельной включённой в диссертацию темой – с разработкой оригинальной системы компьютерной алгебры Redberry, предназначенной для проведения аналитических вычислений с тензорными объектами. В разработке этой системы нашла воплощение идея, что всякое тензорное выражение, содержащее свёртки (суммирование) по индексам, может быть представлено в виде графа, где тензорам сопоставляются вершины, а индексам суммирования – рёбра.

Диссертация состоит из Введения, четырёх глав и заключения.

Введение посвящено постановке задачи, выбору теоретического метода и обзору литературы. В качестве рабочего теоретического инструмента выбран т.н.формализм нерелятивистской хромодинамики (NRQCD). Замечания к литературному обзору состоят в следующем.

- *Отсутствует обсуждение альтернативных подходов, их успехов и недостатков.* Даётся лишь ссылка на обзор [11] двадцатилетней давности, но выводы из него не

приводятся. Не уделено никакого внимания работам, непосредственно посвящённым рождению P -волновых чармониев в рамках k_t -факторизации [P.Hägler, R.Kirschner, A.Schäfer, L.Szymanowski, O.V.Teryaev, Phys.Rev.Lett.86, 1446 (2001)] и в рамках модели "испарения цвета" (CEM) [G.Bodwin, E.Braaten, J.Lee, Phys.Rev.D72, 014004 (2005)].

- *Отсутствует упоминание о некоторых важных работах, выполненных в том же подходе, что и диссертация:* [B.Kniehl, G.Kramer, C.Palisoc, Phys.Rev.D68, 114002 (2003); Y.-Q.Ma, K.Wang, K.-T.Chao, Phys.Rev.D83, 111503 (2011)].

Первая глава посвящена изложению формализма образования связанных состояний тяжёлых кварков и проведению фита по экспериментальным данным о рождении чармониев в рамках подхода NRQCD. Замечания к этой главе состоят в следующем.

- *Не указан диапазон изменения p_t , по которому осуществлялся фит.* Поскольку теоретические сечения расходятся при $p_t \rightarrow 0$, то начинать фит от нулевых значений поперечного импульса заведомо бессмысленно. Литературные источники предлагают в качестве нижней границы применимости NRQCD различные значения p_t , однако никогда не ниже 5 ГэВ; разумеется, при этом приходится игнорировать часть имеющихся экспериментальных данных. В зависимости от того, где проведена условная граница применимости NRQCD, найденные в результате фитирования значения параметров могут отличаться в несколько раз. Хотелось бы услышать мнение автора о границах применимости NRQCD и чувствительности к ним результатов.

- *Не учтён вклад от распада $\psi(2S) \rightarrow \gamma\chi_{cJ}$.* При известном сечении рождения $\psi(2S)$ [Phys.Rev. Lett.79, 572 (1997)] и радиационного брэнчинга [86] ожидаемый вклад этого процесса соизмерим с учтённым совокупным вкладом от октетных P -волновых состояний. Вследствие мягкости сопутствующего фотона, вклад от $\psi(2S)$ распадов экспериментально неотличим от прямого рождения χ_c .

- *Поведение синглетного вклада противоречит известным литературным расчётам,* в том числе рис. 5 из работы [62] и работе [Y.-Q.Ma, K.Wang, K.-T.Chao, Phys.Rev.D83, 111503 (2011)]. Как видно из рис. 6 диссертации, изолированный синглетный вклад уже практически насыщает данные CDF. В то же время в обеих указанных работах сообщалось о явной недостаточности синглетного вклада (что побудило авторов этих работ обратиться к вкладам более высоких порядков – либо в форме k_t -факторизационного подхода, либо к "лобовым" расчётам в порядке $\mathcal{O}(\alpha_s^4)$).

- Для иллюстрации роли теоремы Ландау-Янга в отношении сечений $\sigma(\chi_1)/\sigma(\chi_2)$ было бы уместно привести сравнение с данными экспериментов $E673$, $E705$, $E771$, $HERA-b$ [Phys.Rev.Lett.54, 753 (1985); Phys.Rev.D49, 543 (1994); Phys.Rev.D62, 032006 (2000); Phys.Rev.D79, 012001 (2009)], проведёнными при более низких энергиях, в силу чего подавление χ_{c1} состояний становится хорошо заметным.

- *Есть основания сомневаться в справедливости соотношения (65).* С точки зрения NRQCD испускание мягких глюонов и фотонов вполне аналогично и отличается только общим цветовым множителем. Тем самым мы могли бы ожидать такой же пропорции и для ширин радиационных переходов: $\Gamma(\psi' \rightarrow \gamma\chi_{c1}) : \Gamma(\psi' \rightarrow \gamma\chi_{c2}) \simeq 3 : 5$. Но нет, эксперимент показывает, что эти ширины примерно равны. Равны также и ширины распадов $\Upsilon(2S) \rightarrow \chi_{b1,b2}(1P)$ и ширины $\Upsilon(3S) \rightarrow \chi_{b1,b2}(2P)$. Возможно, что отклонение от пропорции 3:5 связано с различием волновых функций χ_1 и χ_2 мезонов или с большой ролью радиационных поправок, которые не обязательно должны быть

одинаковыми для состояний с разными наборами квантовых чисел. Но эти различия должны сказаться тогда и на испускании глюонов.

Вторая глава посвящена вычислению сечений рождения боттомониев и выводу масштабно-инвариантных соотношений между сечениями процессов с участием χ_c и χ_b . Замечания к этой главе состоят в следующем.

- Автор опирается на устаревшее издание *Particle Data [86] 2010 года*. Так, на стр. 51 он пишет, что на сегодня известно 7 состояний чармония и 12 состояний боттомония ниже порога распада по каналам с открытым ароматом. Тем самым автор упустил открытые после 2010 года состояния $\eta_c(2S)_{3639}$, $\eta_b(1S)_{9398}$, $h_b(1S)_{9899}$, $\eta_b(2S)_{9999}$, $\Upsilon(1D)_{10164}$, $h_b(2S)_{10260}$. То же замечание относится к стр. 62, где приведены устаревшие значения брэнчингов радиационных переходов $\chi_b(nP) \rightarrow \gamma\Upsilon(mS)$.
- Соотношение (67) содержит смысловую опечатку. Правильная форма $v_c/v_b \simeq 3$.
- Числа, приведённые в таблице 8, не имеют смысла без указания конкретных значений поперечного импульса, для которых они сосчитаны. Предложенная автором формула пересчёта от экспериментальной наблюдаемой γ (см. текст) к неизвестному брэнчингу распада $\chi_{b1}(3P) \rightarrow \gamma\Upsilon(1S)$ (приведена ниже табл. 8) содержит отношение сечений $\sigma(\chi_{b2}(3P))/\sigma(\chi_{b1}(3P))$; но как мы видели на рис. 10, это отношение сильно меняется с поперечным импульсом.

Третья глава посвящена вычислению сечений рождения чармониев в протон-антипротонных взаимодействиях при низких энергиях. Замечания к этой главе состоят в следующем.

- Имеется терминологическая неточность. Под протон-антипротонной аннигиляцией автор в действительности подразумевает кварк-антикварковую аннигиляцию, не сопровождающуюся полной аннигиляцией антипротонов с протонами.
- Утверждение о малой вероятности прямого рождения J/ψ мезонов кажется недостаточно обоснованным. Автор приводит в качестве аргумента лишь запрет, связанный с зарядовой чётностью. Действительно, процесс $q+\bar{q} \rightarrow g^* \rightarrow J/\psi+g+g$ имеет формально более высокий порядок по константе взаимодействия α_s , чем процесс $q+\bar{q} \rightarrow g^* \rightarrow \chi_c+g$, но зато обладает перед ним колоссальным преимуществом в виде S -волнового конечного состояния против P -волнового состояния: $|\mathcal{R}_S(0)|^2 \gg |\mathcal{R}'_P(0)|^2/m^2$. Правильное соотношение между сечениями указанных процессов вряд ли возможно получить без проведения прямых вычислений.

Четвёртая глава посвящена описанию оригинальной разработанной автором системы алгебраических вычислений с тензорными объектами. Предложенная алгебраическая система представляет значительную самостоятельную ценность и может рассматриваться независимо от остальных глав диссертации. Единственное замечание к четвёртой главе касается стиля подачи материала, который не может быть усвоен без обращения к первоисточникам.

- Обсуждение преимуществ оригинальной системы представляется в контексте диссертационной работы наиболее важным среди прочих вопросов, однако автор ограничивается лишь ссылкой на электронный архив [50], не указывая при этом ни класса математических задач, по которым проводилось сравнение быстрогодействия, ни аналитических систем, принимавших участие в "соревновании". Вычисления сечений, представленных в главе I, вряд ли могут быть названы "масштабными" (как говорится на стр. 97), а проведение соответствующих расчётов с помощью широко известных

систем REDUCE или FORM занимает трудно замечаемые глазом доли секунды.

Заключение и выводы.

Изложенные здесь замечания, несмотря на их многочисленность, не умаляют значимости диссертационной работы и не свидетельствуют о её низком качестве. Все замечания носят либо стилистический, либо исключительно дискуссионный характер и скорее являются приглашением к продолжению научных обсуждений на высоком профессиональном уровне, заданном диссертацией.

Диссертация Пославского Станислава Владимировича отвечает всем требованиям "Положения о порядке присуждения ученых степеней", утвержденного Постановлением 842 Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Диссертация основана на опубликованных, в том числе в реферируемых высокорейтинговых журналах, работах. Результаты исследований многократно докладывались автором на семинарах и международных конференциях. Выводы диссертации обоснованы, полностью соответствуют поставленной задаче и логично вытекают из проведённой работы. Автореферат полно и ясно отражает содержание диссертации. Полученные диссертантом результаты могут использоваться во всех организациях, ведущих исследования в области физики высоких энергий, в том числе ИФВЭ, ИЯИ, ИТЭФ, НИИЯФ, ОИЯИ, ФИАН, а также других научных центрах России, Европы, Азии и США.

Считаем, что Станислав Владимирович Пославский заслуживает присвоения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Результаты диссертационной работы и отзыв обсуждены на семинаре Отделения ядерной физики и астрофизики ФИАН 15 апреля 2014 года.

Отзыв составил: доктор физико-математических наук,
ведущий научный сотрудник Лаборатории электронов высоких энергий ФИАН
Тел.: (499) 132 6317 E-mail: baranov@sci.lebedev.ru

Баранов

С.П.Баранов

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физический институт им.П.Н. Лебедева Российской Академии Наук
119991 Москва, Ленинский проспект 53, Тел.: (499) 132 4264, Fax: (499) 135 7880
E-mail: postmaster@lebedev.ru <http://www.lebedev.ru>

Подпись С.П.Баранова удостоверяю,
учёный секретарь ФИАН

Полухина

Н.Г.Полухина