

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

доктора физико-математических наук Котикова Анатолия Васильевича
на диссертацию Молокоедова Виктора Сергеевича «**Эффекты высших поправок
теории возмущений в КХД и их теоретические и феноменологические следствия**»,
представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук
по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Тема диссертации Молокоедова Виктора Сергеевича посвящена одной из наиболее интересных проблем Квантовой Хромодинамики (КХД): исследованию свойств пертурбативных вкладов в физические величины в высших порядках теории возмущений. Эти пертурбативные вклады являются очень важными для физических процессов, изучаемых при проведении прецизионных измерений на ускорителях частиц. Как хорошо известно, общепринятой теорией для описания пертурбативных и непертурбативных процессов сильного взаимодействия в настоящее время является Квантовая Хромодинамика, базирующаяся на представлении о кварках и глюонах, как о составных частях адронов. Наличие нелинейных по полям слагаемых в лагранжиане КХД приводит к асимптотической свободе, согласно которой с уменьшением расстояния эффективная константа связи КХД логарифмически убывает. Этот факт влечёт за собой вывод о том, что на малых расстояниях кварки становятся практически свободными, что способствует хорошему описанию процессов в ультрафиолетовой области энергий при помощи теории возмущений.

Диссертация как раз и посвящена изучению эффектов КХД, а также Квантовой Электродинамики (КЭД), проявляющихся в физических величинах в области энергий, где оказываются справедливыми расчёты, выполненные в рамках теории возмущений. С середины 60-х годов предсказания КХД успешно прошли целую серию проверок при сравнении с результатами различных экспериментов, таких как глубоконеупругое рассеяние лептонов на адронах и ядрах, электрон–позитронная аннигиляция в адроны, а также адрон–адронные столкновения. С целью улучшения точности полученных ранее экспериментальных данных исследования этих процессов ведутся и в настоящее время. Более того, в будущем возможно строительство международного линейного электрон–позитронного коллайдера высоких энергий, приоритетной задачей которого будет поиск возможного проявления эффектов новой физики вне рамок Стандартной модели.

Применение процедуры перенормировки делает поправки высших порядков теории возмущений к физическим величинам зависимыми от выбора схем вычитаний ультрафиолетовых расходимостей. В связи с этим в диссертации, в частности, изучается схемная и калибровочная

зависимости как коэффициентной функции правила сумм Бьёркена глубоконеупругого рассеяния заряженных лептонов на поляризованной нуклонной мишени, так и R -отношения процесса электрон–позитронной аннигиляции в адроны. Результаты данных исследований могут быть полезными для оценки теоретических неопределённостей при сравнении с экспериментальными данными существующих и будущих измерений.

Рассмотренные в диссертации вопросы, посвящённые анализу асимптотического поведения отношения полюсных к бегущим массам тяжёлых кварков, могут в настоящее время представлять интерес в связи с извлечением масс c , b и t -кварков с большой точностью.

Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения и списка литературы.

Введение содержит сформулированные цели и задачи исследования, обоснование актуальности, научной новизны и практической значимости работы. Здесь перечислены также основные положения, выносимые на защиту, и отмечен личный вклад автора.

Первая глава посвящена изучению схемной и калибровочной зависимостей рядов теории возмущений для D -функции Адлера и R -отношения электрон–позитронной аннигиляции в адроны, а также для коэффициентной функции правила сумм Бьёркена глубоконеупругого рассеяния заряженных лептонов на поляризованных нуклонах. В разделе 1.4 обсуждается также схемная зависимость статического кулоновского потенциала взаимодействия тяжёлого кварка и антикварка. Автором используются как калибровочно-инвариантные схемы (такие как MS -bar и V -схемы), так и калибровочно-неинвариантные (в частности, так называемая минимальная MOM-схема импульсных вычитаний, или коротко $mMOM$ -схема).

Вторая глава диссертации посвящена рассмотрению соотношения Крютера и его обобщения на случай учёта высших радиационных поправок. Данное соотношение связывает между собой характеристики процессов электрон–позитронной аннигиляции в адроны и глубоконеупругого лептон-нуклонного рассеяния. Исследуются его схемная и калибровочная зависимости. Показано, что, если обобщенное соотношение Крютера будет справедливым в калибровочно-инвариантных схемах во всех порядках теории возмущений, то оно также будет верным во всех порядках и в классе схем импульсных вычитаний в КХД в поперечной калибровке (т. е. в калибровке Ландау).

Третья глава диссертации посвящена изучению асимптотического поведения отношения полюсных (т. е. определённых в схеме вычитаний на массовой поверхности) к бегущим массам c , b и t -кварков в КХД. При помощи метода наименьших квадратов определены численные значения двух неизвестных в аналитическом виде коэффициентов в разложении четырёхпетлевой поправки к отношению полюсных к бегущим массам тяжёлых кварков по

степеням числа ароматов безмассовых кварков. Исследовано поведение рядов теории возмущений для этого отношения в высших порядках и показано, что в случае с b-кварком его асимптотический характер проявляется, начиная с 4-го порядка теории возмущений, а для t-кварка не проявляется даже на шестипетлевом уровне.

В заключении перечислены основные результаты работы, а также сформулированы следующие из них выводы.

Диссертация и автореферат написаны хорошо, понятно и почти без опечаток. Хотелось бы отметить только несколько недочетов. Так, в диссертации и автореферате часть ссылок в списке литературы даны в необычном виде (т. е. вначале идет название, а потом авторы). В автореферате — это ссылки 50, 51, 54, 61, 65, 66, 71; а в диссертации — это ссылки 59, 78, 79, 86, 88, 89, 100, 106, 107, 120, 132, 133, 144, 145, 146, 148, 156, 158, 166, 177, 190, 191, 193, 197, 199, 200, 208, 220, 224, 226.

Далее в диссертации:

- пропущен глагол, по-видимому, "связан" (на стр. 15, строка после уравнения (1.13));
- вторую Λ_{NLO} на стр. 26 (7я строка) надо заменить на Λ_{NNLO} ;
- на стр. 26 (2я строка в 3ем параграфе) используется обозначение "L" для логарифмов, которое определено только на стр. 28 (после уравнения (1.57));
- на стр. 70 (2я строка), по-видимому, слово "масса" надо заменить на "масса других свойств";
- на стр. 84 (строка после уравнения (3.25)) фраза «был посчитан долгое время назад» надо заменить на «был посчитан ранее»;
- на стр. 101 вторая строка снизу содержит жаргонную фразу «ошибку, связанную с учётом эффекта бега».

Сделанные замечания, однако, не носят принципиального характера и не снижают научной ценности диссертации. Диссертация Молокоедова Виктора Сергеевича является законченным научным исследованием, содержащим решение актуальных задач Квантовой Хромодинамики:

- нахождение аналитических выражений для коэффициентов рядов теории возмущений функции Адлера и R-отношения однофотонной электрон–позитронной аннигиляции в адроны, а также функции Бьёркена правила сумм глубоконеупругого рассеяния заряженных лептонов на поляризованных нуклонах в КХД в V- и mMOM-схемах в четырёхпетлевом приближении;
- изучение схемной и калибровочной зависимостей обобщённого соотношения Крютера;

- оценка численных значений двух неизвестных в аналитическом виде коэффициентов, входящих в разложение поправки четвёртого порядка к отношению полюсной к бегущей массе тяжёлых кварков по степеням числа ароматов безмассовых кварков. Анализ структуры и поведения рядов теории возмущений для этого отношения до 6-го порядка теории возмущений.

Полученные результаты имеют важное значение для развития КХД и её феноменологических приложений. Результаты могут быть использованы для анализа данных, полученных на современных ускорителях, а также при планировании новых экспериментов.

Основные результаты диссертации своевременно опубликованы в ведущих научных журналах, докладывались на международных и российских конференциях. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Диссертация полностью соответствует требованиям “Положения о присуждении учёных степеней”, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Молокоедов Виктор Сергеевич, безусловно, заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Ведущий научный сотрудник

Лаборатории теоретической физики

Объединенного института ядерных исследований

Доктор физ.-мат. наук

А.В. Котиков

Объединённый институт ядерных исследований, Лаборатория теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова;

Адрес: 141980, г. Дубна, Московская область, ул. Жолио Кюри 6

Тел.: +7 (49621) 63339

e-mail: kotikov@theor.jinr.ru

Подпись А.В. Котикова заверяю:

Заместитель директора

Лаборатории теоретической физики

Объединенного института ядерных исследований

Доктор физ.-мат. наук

Н.В. Антоненко

«19» ноября 2020 г.

№	Пункт	Сведения об официальном оппоненте
1	ФИО	Котиков Анатолий Васильевич
2	Ученая степень	доктор физико-математических наук
3	Ученое звание	нет
4	Научная специальность	01.04.02 – теоретическая физика
5	Полное название организации	Объединенный институт ядерных исследований
6	Подразделение	Лаборатория теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова
7	Должность	Ведущий научный сотрудник
8	Почтовый адрес	141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, 6
9	Телефон	+7 496 216-3339
10	e-mail	kotikov@theor.jinr.ru

Список основных публикаций официального оппонента по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15):

1. James A., Kotikov A. V., Teber S. Landau-Khalatnikov-Fradkin transformation of the fermion propagator in massless reduced QED // Phys. Rev. D 101 (2020) 4, 045011.
2. Kotikov A. V., Lipatov A. V., Shaikhatdenov B. G., Zhang P. Transverse momentum dependent parton densities in a proton from the generalized DAS approach // JHEP. – 2020. – Vol. 02. – P. 028.
3. Kotikov A. V. SUSY-Like Relation of the Splitting Functions in Evolution of Gluon and Quark Multiplicities // Phys. Part. Nucl. Lett. – 2019. – Vol. 16. – P. 427.
4. Kniehl B. A., Kotikov A. V., Onishchenko A. I., Veretin O. L. Two-loop diagrams in non-relativistic QCD with elliptics // Nucl. Phys. B. – 2019. – Vol. 948. – P. 114780.
5. Kotikov A. V., Teber S. Landau-Khalatnikov-Fradkin transformation and the mystery of even ζ -values in Euclidean massless correlators // Phys. Rev. D. – 2019. – Vol. 100. – P. 105017.
6. Kaptari L. P., Kotikov A. V., Chernikova N. Y., Zhang P. Longitudinal structure function FL at small x extracted from the Berger–Block–Tan parametrization of F2 // Pisma Zh. Eksp. Teor. Fiz. – 2019. – Vol. 109. – P. 291.
7. Kaptari L. P., Kotikov A. V., Chernikova N. Y., Zhang P. Extracting the longitudinal structure function FL(x,Q2) at small x from a Froissart-bounded parametrization of F2(x,Q2) // Phys. Rev. D. – 2019. – Vol. 99. – P. 096019.
8. Kotikov A. V., Teber S. Multi-loop techniques for massless Feynman diagram calculations // Phys. Part. Nucl. – 2019. – Vol. 50. – P. 1.
9. Kotikov A. V., Teber S. New Results for a Two-Loop Massless Propagator-Type Feynman Diagram // Theor. Math. Phys. – 2018. – Vol. 194. – P. 284.
10. Kniehl B. A., Kotikov A. V. SUSY-like relation in evolution of gluon and quark jet multiplicities // Phys. Part. Nucl. – 2018. – Vol. 49. – P. 921.
11. Ayala C., Cvetič G., Kotikov A. V., Shaikhatdenov B. G. Bjorken sum rule in QCD frameworks with analytic (holomorphic) coupling // Int. J. Mod. Phys. A. – 2018. – Vol. 33. – P. 1850112.
12. Ayala C., Cvetič G., Kotikov A. V., Shaikhatdenov B. G. Bjorken polarized sum rule and infrared-safe QCD couplings // Eur. Phys. J. C. – 2018. – Vol. 78. – P. 1002.
13. Kotikov A. V., Shaikhatdenov B. G., Pengming Zhang Application of the rescaling model at small Bjorken x values // Phys. Rev. D. – 2017. – Vol. 96. – P. 114002.
14. Kotikov A. V. The property of maximal transcendentality: calculation of Feynman integrals // Theor. Math. Phys. – 2017. – Vol. 190. – P. 455.
15. Kotikov A. V., Gluon distribution function from the Berger–Block–Tan form of the structure function F_2 // Phys. Atom. Nucl. – 2017. – Vol. 80. – P. 572.