

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

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

Диссертация Молокоедова В.С. посвящена изучению такой принципиально важной тематике в квантовой хромодинамике и электродинамике, и в квантовой теории поля в целом, как изучение поведения рядов теории возмущений для различных ренорминвариантных величин. В частности, рассматривается схемная и калибровочная зависимость некоторых физически наблюдаемых в четырёхпетлевом приближении. Несмотря на давнюю историю исследований этой темы, в настоящее время в литературе в этом порядке теории возмущений явная зависимость оборванных пертурбативных рядов для экспериментально измеряемых величин от калибровочного параметра ξ , входящего в лагранжиан в виде ξ -калибровки Лоренца, изучена и представлена весьма отрывочно, в неполном объёме. В диссертации исследуется целый класс калибровочно-неинвариантных в КХД схем импульсных вычитаний, но наибольшее внимание уделено минимальной MOM-схеме mMOM, основанной на особом условии, наложенном на константу перенормировки глюон-дух-антидуховой вершины, и схеме MOMgggg, определяемой из рассмотрения четырёхглюонной вершины. Интерес к изучению схем импульсных вычитаний лежит прежде всего в возможности непосредственного учёта влияния пороговых эффектов, а также использования любых известных процедур регуляризаций, помимо размерной, в том числе и регуляризации на решётке. Более того, схема mMOM изначально была введена в рассмотрение в работе, посвящённой именно решёточным вычислениям в КХД. В частности, в калибровке Ландау данная схема неоднократно использовалась при изучении поведения пропагаторов глюонов и духов в непertурбативной инфракрасной области энергий и исследовании возможных конформных окон. В связи с тем, что в большинстве работ при рассмотрении конкретной схемы импульсных вычитаний (например той же mMOM или MOMgggg, MOMggg, RI/MOM-схем) чаще всего калибровка фиксируется равной нулю (калибровка Ландау), то принципиальный интерес вызывают прежде всего вычисления, позволяющие исследовать поведение рядов теории возмущений для характеристик различных физических процессов в зависимости от параметра ξ . Именно этому вопросу в диссертации уделено одно из центральных положений.

Изучение схемной и калибровочной зависимостей проводится в диссертации для пертурбативных поправок к таким величинам, как сечение реакции электрон-позитронной аннигиляции в адроны и коэффициентная функция правила сумм Бьёркена глубокоэластичного рассеяния заряженных электронов и мюонов на поляризованной нуклонной мишени, эффективно описывающая отклонение от Бьёркеновского скейлинга. Данные характеристики измерялись ранее, например, в исследовательских центрах DESY, KEK и коллаборации COMPASS (CERN) соответственно, и продолжают, и будут в дальнейшем извлекаться из экспериментальных данных LHC, а также ускорительного комплекса в ИЯФ СО РАН им. Г.И. Будкера. Интерес к изучению процесса e^+e^- аннигиляции в адроны связан как с проверкой предсказаний Стандартной модели и извлечением ряда значений физических параметров (например, константы связи сильного взаимодействия), так и с исследованием возникающих резонансов ρ , ω , J/ψ , Υ и их возбуждённых состояний.

В свете значительного интереса мирового научного сообщества к тематике, связанной с извлечением значений масс тяжёлых кварков из экспериментальных данных с максимальной возможной на сегодняшний день точностью, в диссертации изучается более чем актуальная задача – исследование асимптотического поведения в отношении полюсной массы s , b и t -кварков к их бегущим в \overline{MS} -bar схеме аналогам. Знание масс ароматов кварков важно не только при изучении свойств наблюдаемых бесцветных частиц, их содержащих, но и в областях теории поля, где эти параметры КХД являются исходными для определения сценариев описания различных явлений, таких как, например, нарушение комбинированной чётности в кварковом секторе Стандартной модели или вопрос о стабильности электрослабого вакуума хиггсовского потенциала, где существенную роль играет значение массы топ-кварка. Понимание того, как быстро эффекты факториального роста коэффициентов соотношения между полюсными и бегущими массами тяжёлых кварков приведут к его асимптотической структуре, важно с точки зрения определения границ применения понятия полюсной массы тяжёлого кварка. Для s и b -кварков этот параметр КХД зачастую используется в феноменологически ориентированных задачах в случаях, когда целесообразнее было бы использовать понятие их бегущих масс.

Рассмотрению этих вопросов и посвящена диссертация. Она состоит из введения, трёх глав, заключения и списка литературы.

Во введении формулируется актуальность темы исследования, основные цели и задачи диссертации, её научная новизна и практическая значимость. Приводится обоснование степени достоверности полученных результатов и положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертации проводится анализ поведения рядов теории возмущений для характеристик процессов аннигиляции электрон-позитронной пары в адроны и рассеяния заряженных лептонов на поляризованных нуклонах в зависимости от выбора схем перенормировок и значений изначально не фиксированного калибровочного параметра (на примере V-схемы, базирующейся на аналитическом трёхпетлевом выражении для кулоновского потенциала КХД, и mMOM-схемы). Данные исследования выполнены в четвёртом порядке теории возмущений в аналитической форме для случая КХД с группой симметрии $SU(N_c)$ и КЭД с группой $U(1)$. Продемонстрировано уменьшение схемной и калибровочной зависимостей рассматриваемых величин при переходе от двух- к четырёхпетлевому приближению. Получены интересные аналогии между V- и MOM-схемой в КЭД.

Во второй главе исследуются условия, при которых возможна факторизация ренормгрупповой β -функции в обобщённом соотношении Крютера в различных схемах перенормировок. Данное соотношение является прямым следствием эффекта нарушения конформной симметрии в безмассовой КХД. С точки зрения наличия β -факторизации в классе схем импульсных вычитаний в третьем порядке теории возмущений показана выделенность калибровок $\xi=0$ и $\xi=-3$, а на четырёхпетлевом уровне и дальше – только калибровки Ландау.

Используя результаты полуаналитических вычислений для поправок к соотношению между полюсными и бегущими массами тяжёлых кварков, выполненных на суперкомпьютере “Ломоносов” группой учёных из НИИЯФ МГУ, ИЯФ СО РАН и Университета физики частиц в Карлсруэ в четвертом порядке теории возмущений, было исследовано асимптотическое поведение этого соотношения. Более конкретно, были получены оценки вкладов пятого и шестого порядков, на основании которых сделан вывод о предпочтительности того или иного понятия массы тяжёлого кварка при использовании его в конкретных приложениях. Исследована структура этих оценок в их разложении по степеням количества безмассовых ароматов кварков.

В заключении сформулированы основные результаты работы, полученные в диссертации.

Подводя итоги и оценивая диссертацию В.С. Молокоедова в целом, следует заключить, что она представляет собой актуальную научно-квалификационную работу, выполненную на достаточно высоком уровне и содержащую многочисленные новые результаты, часть из которых пока что не опубликована. Надёжность и достоверность некоторых результатов подкрепляется независимыми вычислениями, полученными впоследствии другими авторами

и согласующимися с теми, что представлены в диссертации. Хотелось бы сделать несколько замечаний и пожеланий автору:

- Принципиальный интерес вызывает исследование поведения R -отношения электрон-позитронной аннигиляции в адроны в области низких энергий, а также изучение его схемной и калибровочной зависимости в этой области. В связи с этим неплохо было бы включить рассмотрение этой задачи в первую главу диссертации и посмотреть на величину возникающих при этом теоретических неопределённостей, которые могут оказать существенное влияние при извлечении, например, значений константы связи сильного взаимодействия, нормированной на масштабе массы тау-лептона.
- Другой не менее важной задачей было бы исследование поведения R -отношения в различных схемах перенормировок (в том числе калибровочно-неинвариантных) при прохождении через пороги рождения масс появляющихся кварков.
- Было бы интересно также изучить калибровочную зависимость рядов теории возмущений для наблюдаемых физических величин в схемах, где традиционно рассматривается лишь калибровка Ландау, например, в связанной с решёточными вычислениями схеме RI/MOM.
- Из результатов диссертации не вполне понятно, удовлетворяют ли коэффициенты пятого и шестого порядков теории возмущений к соотношению между полюсными и бегущими массами тяжёлых кварков свойству знакопеременности в их разложении по степеням количества безмассовых ароматов. И стоит ли рассматривать результаты, полученные в рамках ренормального подхода, как указание на возможное нарушение этой знакопеременности. Хотелось бы в дальнейшем разъяснить этот вопрос.

Данные замечания и пожелания ни в коей мере не снижают ценности работы в целом. Текст диссертации подготовлен очень хорошо. Автор использует обширный список литературы. Полученные в диссертации результаты оригинальны и представляют интерес как для интерпретации экспериментов на коллайдерах, так и для теоретических исследований. Результаты своевременно опубликованы в зарубежных и российских рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК. Они также были доложены автором на многочисленных международных и российских научных конференциях и семинарах. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Диссертация «Эффекты высших поправок теории возмущений в КХД и их теоретические и феноменологические следствия» полностью удовлетворяет всем требованиям «Положения

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

Начальник лаборатории информационно-измерительных
систем визуализации характеристик светодиодов

Доктор физ.-мат. наук

В.В. Брагута

Тел.: +7 495 955-00-32

e-mail: victor.v.braguta@gmail.com

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования “Национальный исследовательский технологический университет “МИСиС”

Адрес: 119049, Москва, Ленинский пр-кт, 4

Подпись В.В. Брагута подтверждаю:

Проректор по науке и инновациям

НИТУ “МИСиС”

М.Р. Филонов

«26» ноября 2020 г.

Сведения об официальном оппоненте

Брагута Виктор Валериевич

Учёная степень: доктор физико-математических наук

Учёное звание: доцент

Специальность: 01.04.02 – теоретическая физика

Место работы: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования “Национальный исследовательский технологический университет “МИСиС”

Подразделение: Лаборатория “Информационно-измерительные системы визуализации характеристик светодиодов”

Должность: Начальник лаборатории

Адрес: 119049, Москва, Ленинский пр-кт, 4

Телефон: +7 495 955-00-32

e-mail: victor.v.braguta@gmail.com

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

1. V.G. Bornyakov, V.V. Braguta, E. M. Ilgenfritz, A.Yu. Kotov, A.V. Molochkov, A.A. Nikolaev. Observation of deconfinement in a cold dense quark medium. JHEP 1803 (2018) 161
2. N.Yu. Astrakhantsev, V.V. Braguta, A.Yu. Kotov. Temperature dependence of the bulk viscosity within lattice simulation of SU(3) gluodynamics. Phys.Rev. D98 (2018) no.5, 054515
3. N.Yu. Astrakhantsev, V.V. Braguta, A.Yu. Kotov. Temperature dependence of shear viscosity of SU(3)-gluodynamics within lattice simulation. JHEP 1704 (2017) 101
4. V.V. Braguta, E. M. Ilgenfritz, A.Yu. Kotov, A.V. Molochkov, A.A. Nikolaev. Study of the phase diagram of dense two-color QCD within lattice simulation. Phys.Rev. D94 (2016) no.11, 114510
5. D.L. Boyda, V.V. Braguta, M.I. Katsnelson, M.V. Ulybyshev. Many-body effects on graphene conductivity: Quantum Monte Carlo calculations. Phys.Rev. B94 (2016) no.8, 085421
6. V.V. Braguta, M.I. Katsnelson, A.Yu. Kotov, A.A. Nikolaev. Monte-Carlo study of Dirac semimetals phase diagram. Phys.Rev. B94 (2016) no.20, 205147
7. D.L. Boyda, V.V. Braguta, M.I. Katsnelson, A. Yu. Kotov. Lattice Quantum Monte Carlo Study of Chiral Magnetic Effect in Dirac Semimetals. Annals Phys. 396 (2018) 78-86
8. V.V. Braguta, M.N. Chernodub, A. Yu Kotov, A.V. Molochkov, A.A. Nikolaev. Finite-density QCD transition in a magnetic background field. Phys.Rev.D 100 (2019) 11, 114503