

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.119.01
НА БАЗЕ Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН)
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от **24.12.2020 г. № 6/63**

О присуждении **Молокоедову Виктору Сергеевичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Эффекты высших поправок теории возмущений в КХД и их теоретические и феноменологические следствия» по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика, принята к защите 15 октября 2020 года, протокол №5/62 диссертационным советом Д002.119.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН), 117312, г. Москва, пр-т 60-летия Октября, 7а., приказ Министерства образования и науки России № 75/нк от 15 февраля 2013 года.

Соискатель Молокоедов Виктор Сергеевич 1992 года рождения. В 2014 году соискатель с отличием окончил бакалавриат Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)» (МФТИ) по направлению подготовки «Прикладные математика и физика» (диплом № 105024 0345361). В 2016 году соискатель с отличием окончил магистратуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Московский физико-технический институт (государственный университет)» (МФТИ) по направлению подготовки «Прикладные математика и физика» (диплом № 107724 1454639). С 2016 по 2020 г. соискатель обучался в очной аспирантуре МФТИ по специальности 01.04.02 «Теоретическая физика» (диплом № 107724 4873603), по итогам которой ему была присвоена квалификация преподавателя-исследователя.

В настоящее время работает в должности стажёра-исследователя отдела теоретической физики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН).

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте ядерных исследований Российской академии наук, Отдел теоретической физики.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, Катаев Андрей Львович, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований Российской академии наук, отдел теоретической физики, ведущий научный сотрудник.

Официальные оппоненты:

Брагута Виктор Валерьевич, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», начальник лаборатории информационно-измерительных систем визуализации характеристик светодиодов,

Котиков Анатолий Васильевич, доктор физико-математических наук, Объединённый институт ядерных исследований (ОИЯИ), лаборатория теоретической физики имени Н.Н. Боголюбова, научный отдел физики фундаментальных взаимодействий, сектор №1, ведущий научный сотрудник,
- дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация- Федеральное государственное бюджетное учреждение Институт физики высоких энергий имени А.А. Логунова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт» (НИЦ «Курчатовский институт» - ИФВЭ) в своем положительном отзыве, составленном Лиходедом Анатолием Константиновичем — доктором физико-математических наук (отдел теоретической физики ИФВЭ, главный научный сотрудник, профессор), подписанном Петровым Владимиром Алексеевичем – доктором физико-математических наук (начальник отдела теоретической физики ИФВЭ, профессор), и утвержденном Ивановым Сергеем Владиславовичем - доктором физико-математических наук (директор НИЦ “Курчатовский институт” – ИФВЭ, академик РАН), указала, что работа соответствует требованиям ВАК РФ,

предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, а её автор Молокоедов Виктор Сергеевич заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика.

Соискатель имеет 8 опубликованных работ по теме диссертации, из них 5 в рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК (ссылки в диссертации [25-29]), и 3 в рецензируемых трудах международных конференций, цитируемых в диссертации [30-32].

В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах.

Список опубликованных работ соискателя:

В регулярных рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК:

1. Fourth-order QCD renormalization group quantities in the V-scheme and the relation of the β function to the Gell-Mann-Low function in QED / A. L. Kataev and V. S. Molokoedov // Phys. Rev. D – 2015. – V. 92. – No. 5. – P. 054008.
2. On the flavour dependence of the $O(\alpha_s)$ correction to the relation between running and pole heavy quark masses / A. L. Kataev and V. S. Molokoedov // Eur. Phys. J. Plus – 2016. – V. 131. – No. 8. – P. 271.
3. Renormalization scheme and gauge (in)dependence of the generalized Crewther relation: what are the real grounds of the β -factorization property? / A. V. Garkusha, A. L. Kataev and V. S. Molokoedov // JHEP – 2018. – V. 1802. – P. 161.
4. Dependence of five and six-loop estimated QCD corrections to the relation between pole and running masses of heavy quarks on the number of light flavours / A. L. Kataev and V. S. Molokoedov // JETP. Lett. – 2018. – V. 108. – No. 12.
5. Least Squares Method: Application to Analysis of the Flavor Dependence of the QCD Relation Between Pole and Scheme Running Heavy Quark Masses / A. L. Kataev and V. S. Molokoedov // Theor. Math. Phys. – 2019. – V. 200. – No. 3. – P. 1374-1382; Teor. Mat. Fiz. – 2019. – V. 200. – No. 3. – P. 522-531.

В рецензируемых трудах международных конференций:

1. On the relation between pole and running heavy quark masses beyond the four-loop approximation / A. L. Kataev and V. S. Molokoedov // EPJ. Web. of Conferences – 2018. – V. 191. – P. 04005.

2. The analytical $O(a_4s)$ expression for the polarized Bjorken sum rule in the miniMOM scheme and the consequences for the generalized Crewther relation / A. L. Kataev and V. S. Molokoedov // J. Phys. Conf. Ser. – 2017. – V. 938. – No. 1. – P. 012050.

3. From perturbative calculations of the QCD static potential towards four-loop pole-running heavy quarks masses relation / A. L. Kataev and V. S. Molokoedov // J. Phys. Conf. Ser. – 2016. – V. 762. – No. 1. – P. 012078.

Все результаты получены лично соискателем или при его непосредственном участии. Соискатель внёс определяющий вклад в подготовку всех цитируемых работ.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы оппонентов и ведущей организации, в которых отмечено, что работа представляет собой законченное исследование, выполненное на высоком научном уровне, которое полностью отвечает всем требованиям к кандидатским диссертациям, предъявляемым Положением о порядке присуждения ученых степеней, утверждённым Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.

Отмечены следующие критические замечания и пожелания:

- В диссертации не проводится детальное сравнение теоретических предсказаний для поведения R -отношения электрон-позитронной аннигиляции в адроны с экспериментальными данными, в первую очередь в представляющей наибольший интерес области средних и низких энергий, которые могут извлекаться при изучении столкновений электрон-позитронных пучков на планируемой для создания супер чарм-тау фабрике в Новосибирске. При этом, не уделено должного внимания вопросу об исследовании поведения R -отношения в различных схемах перенормировок (в том числе калибровочно-неинвариантных) при прохождении через пороги рождения масс c и b -кварков.
- Было бы интересно исследовать причину выделенности калибровки Ландау, проявляющуюся в различных задачах как пертурбативных, так и решёточных вычислений. Кроме этого, представляется важным также изучить калибровочную зависимость рядов теории возмущений для наблюдаемых

физических величин в схемах, где традиционно рассматривается лишь калибровка Ландау, например, в схеме RI/MOM.

- В диссертации и автореферате замечены несущественные опечатки и неточности в употреблении в целом грамотного русского языка, которые, однако, не носят принципиального характера и не снижают научной ценности диссертации.
- При исследовании соотношения между полюсными и бегущими массами кварков целесообразно было бы упомянуть и о других часто используемых в физике элементарных частиц понятиях масс тяжёлых кварков, например, о конституентных массах, часто встречающихся при изучении спектроскопии связанных состояний тяжёлых кварков в рамках потенциальных моделей.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается высокой квалификацией ученых по сходной тематике.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- Впервые получены аналитические выражения для коэффициентов рядов теории возмущений функций Адлера, Бьёркена и R-отношения в калибровочно-инвариантной V-схеме и в неинвариантной mMOM-схеме в четырёхпетлевом приближении в $SU(N_c)$ КХД. Показано уменьшение схемной и калибровочной зависимости рядов ТВ исследуемых физических величин при переходе от 2-го к 4-му порядку теории возмущений. В КЭД выявлено, что β -функция в V-схеме совпадает с Ψ -функцией Гелл-Манна-Лоу на трёхпетлевом уровне и начинает от неё отличаться с 4-го порядка на поправку, связанную с проявлением эффектов рассеяния света на свете в трёхпетлевом вкладе к статическому кулоновскому потенциалу.
- Предложен и реализован способ исследования факторизации β -функции в обобщённом соотношении Крютера в КХД в калибровочно-инвариантных и неинвариантных схемах перенормировок. Установлена справедливость данного соотношения в V-схеме в КХД в четвёртом порядке теории возмущений. Впервые выявлена факторизация КХД β -функции во всём классе схем импульсных вычитаний в третьем порядке теории возмущений при

значениях калибровочного параметра $\xi=0$, -3 и при $\xi=0$ в четвертом. Доказано, что, если обобщённое соотношение Крютера будет справедливым в MS-bar-схеме во всех порядках ТВ, то оно также будет верным во всех порядках и в MOM-подобных схемах в КХД в калибровке Ландау. Сделан вывод, что калибровочная инвариантность схем перенормировок является достаточным, но не является необходимым условием для факторизации β -функции в обобщённом соотношении Крютера в КХД.

- Предложен и реализован способ нахождения численных значений двух неизвестных в аналитическом виде четырёхпетлевых коэффициентов в соотношении между полюсными и бегущими массами тяжёлых кварков. Исследовано поведение рядов ТВ для данного соотношения в высших порядках и показано, что в случае с b-кварком его асимптотический характер проявляется, начиная с 4-го порядка ТВ, а для t-кварка не проявляется даже на шестипетлевом уровне. На основании данных результатов сделан вывод, что для b-кварка в феноменологически ориентированных задачах в 4-ом порядке целесообразнее использовать понятие его бегущей массы. В случае t-кварка можно использовать понятия как полюсной, так и бегущей массы при обработке современных экспериментальных данных Большого Адронного Коллайдера, в которых, однако, в настоящее время учитываются лишь двухпетлевые эффекты КХД.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что впервые изучена калибровочная зависимость рядов теории возмущений для наблюдаемых физических величин в четвертом порядке теории возмущений. Впервые исследована факторизация β -функции в члене, нарушающем конформную симметрию безмассовой КХД и входящем в обобщённое соотношение Крютера, в классе схем импульсных вычитаний на четырёхпетлевом уровне. Доказана справедливость этой факторизации во всех порядках ТВ в MOM-подобных схемах вычитаний ультрафиолетовых расходимостей в калибровке Ландау. Изучено асимптотическое поведение рядов теории возмущений между полюсными и бегущими массами тяжёлых кварков. Сделан важный вывод, что асимптотическая природа исследуемого ряда ТВ для t-кварка не проявляется на шестипетлевом уровне, а будет наблюдаться после 7-го порядка. Это позволяет

применять определение его и полюсной, и бегущей массы при обработке современных экспериментальных данных (в отличие от s и b -кварка, где асимптотическая структура проявляется во 2-ом и 4-ом порядке соответственно, а следовательно в этих порядках целесообразнее использовать их бегущие массы).

Практическое значение полученных соискателем результатов исследования состоит в том, что изучаемая в диссертации схемная и калибровочная зависимость R -отношения может быть полезной для детализации оценки теоретических неопределённостей при сравнении с данными имеющихся и возможных будущих экспериментов по измерению полного сечения процесса e^+e^- аннигиляции в адроны, которые могут быть получены при изучении столкновений электрон-позитронных пучков на планируемой для создания супер чарм-тау фабрике в Новосибирске. Представленные в работе результаты для соотношения между полюсной и бегущей массой тяжёлого t -кварка могут вызывать определённый интерес как теоретиков, так и экспериментаторов, извлекающих значения этих масс, например, из экспериментальных данных по исследованию процессов с участием топ-кварка в протон-протонных соударениях (CMS и ATLAS, CERN).

Оценка достоверности результатов выявила, что частные случаи ряда полученных результатов согласуются с ранее представленными в литературе. Достоверность результатов, определённых при помощи метода наименьших квадратов, подтверждается их устойчивостью по отношению к изменению числа уравнений в рассматриваемой переопределённой системе и к вариации числа входящих в неё неизвестных. Приведённые оценки для пятипетлевой поправки к соотношению между полюсной и бегущей массой b -кварка согласуются (с фактором порядка 2) с независимыми оценками, имеющимися в научной литературе.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном решении ряда изучавшихся в исследовании задач по актуальным проблемам физики высоких энергий и элементарных частиц. Вклад соискателя в результаты, представленные в диссертации и опубликованные в ведущих российских и зарубежных рецензируемых журналах, является определяющим. Также, основным является

вклад соискателя в подготовку публикаций по теме исследования. Соискатель неоднократно выступал с докладами по результатам работы на российских и международных конференциях и семинарах.

На заседании, проведенном 24 декабря 2020 года в удаленном интерактивном режиме в соответствии с Приказом Минобрнауки № 734 от 22 июня 2020 года, диссертационный совет принял решение присудить Молокоедову В.С. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении открытого голосования диссертационный совет в количестве **22** человека, (в т.ч. участвующих в удаленном интерактивном режиме -**13**) из них **6** докторов наук по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика, участвовавших в заседании, из **30** человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту **0** человек, проголосовали: за – **22**, против – **0**.

Председатель

диссертационного совета Д 002.119.01

доктор физ.- мат. наук, академик РАН _____ Рубаков В.А.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 002.119.01

кандидат физ.- мат. наук _____ Демидов С.В.

24.12.2020 г.

м.п.