

ОТЗЫВ

научного руководителя 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.

Тематика, связанная с изучением теоретических неопределённостей предсказаний современной теории сильных взаимодействий (КХД) для полного сечения электрон-позитронной аннигиляции в адроны, измерявшегося в экспериментах, проводившихся до 2019 г. на ускорителе ИЯФ РАН в Новосибирске (и готовящихся в настоящее время к перезапуску) и в уже возобновлённых с мая 2020 г. на коллайдерах в Китае и Японии, в настоящий момент представляется весьма актуальной и вызывает продолжающийся интерес как у теоретиков, так и у экспериментаторов. Столь пристальное внимание к самосогласованному описанию вновь накапливаемых экспериментальных данных в промежуточных областях энергий электрон-позитронных ускорителей с использованием метода теории возмущений (ТВ) в КХД связано, в частности, с необходимостью детализованного определения теоретических неопределённостей вкладов эффектов сильных взаимодействий в аномальный магнитный момент мюона, новые данные прецизионных измерений которого в эксперименте Лаборатории Ферми (США) с нетерпением ожидают научной общественностью уже более года. При этом с точки зрения фиксации теоретических неоднозначностей важным может оказаться учёт неопределённостей, связанных с явной зависимостью теоретического выражения для полного сечения процесса однофотонной аннигиляции электрон-позитронной пары в адроны от фиксирующего калибровку свободного параметра КХД, возникающего в коэффициентах высших поправок рядов ТВ для этой фундаментальной характеристики при её вычислении в классе калибровочно-неинвариантных схем импульсных вычитаний.

Однако, учёт высших радиационных поправок к физическим величинам в КХД может приводить к асимптотическому поведению рядов ТВ, в некоторых случаях проявляющемуся даже в сравнительно низких порядках теории возмущений. Один из наиболее ярких примеров – ряд ТВ для отношения полюсной массы s -кварка к определённой в калибровочно-инвариантной MS -bar схеме его бегущей массе. В этом примере асимптотический характер наблюдается уже начиная со второго порядка. Подчеркну, что данный факт качественно согласуется с теоретическим пониманием, что при описании связанных состояний s - анти- s кварков, входящих в семейство чармония, непертурбативные эффекты взаимодействия с содержащимся в вакууме КХД конденсатом глюонных полей играют более важную роль, чем даже следующие за лидирующими вклады ТВ в КХД. При этом роль непертурбативных эффектов становится менее значительной при описании связанных состояний более тяжёлых b - анти- b кварков, для отношения полюсных и бегущих масс которых асимптотический характер поведения соответствующего ряда ТВ в КХД начинает проявляться позже, а именно, как следует из результатов диссертации Молокоедова В.С., с четвёртого порядка разложения по константе связи сильного взаимодействия. Эта проблема приводит к задаче фиксации порядков асимптотических рядов ТВ в КХД, вплоть до которых можно доверять пертурбативным предсказаниям теории. В частности, проводящиеся в диссертации исследования данной задачи позволяют обосновать, почему при изучении характеристик не образующего связанных

состояний самого тяжелого и быстро распадающегося топ-кварка (открытого в 1995 г. на ныне уже недействующем коллайдере Тэватрон (Фермилаб, США)), детально исследуемых в настоящее время специалистами, работающими как над обработкой прежних данных Тэватрона, так и новых, более точных данных Большого Адронного Коллайдера (LHC, Женева), используются определения как его полюсных, так и бегущих масс (в ряде случаев обработки данных прецизионных измерений это касается также и b -кварка).

Другим проявлением эффектов учёта высших радиационных поправок, полученных в аналитическом виде в общем случае КХД с группой цветовой симметрии $SU(N_c)$, является возможность непосредственного изучения структуры некоторых фундаментальных соотношений, например, обобщённого соотношения Крютера, являющегося проявлением эффекта нарушения конформной симметрии безмассовой КХД. Это соотношение связывает между собой ряды ТВ для характеристик процессов электрон-позитронной аннигиляции в адроны и глубоконеупругого рассеяния поляризованных лептонов на нуклонах. Данные по измерению величин, описывающих этот процесс, были получены ранее в ЦЕРН (при участии сотрудников ОИЯИ, Дубна) и в экспериментальных лабораториях США. В настоящее время планируются дополнительные измерения структурных функций поляризованного лептон-нуклонного взаимодействия в национальной лаборатории им. Джефферсона (США) и в национальной лаборатории Лоуренса в Беркли (в которой, в частности, было подтверждено существование 105-го элемента Таблицы Менделеева – дубния) в проектируемых экспериментах по соударению поляризованных лептонов и ионов.

Отличительной особенностью упомянутого выше соотношения является характерная факторизация ренормгрупповой β -функции (как и в случае перенормировки следа тензора энергии-импульса) по крайней мере в четвёртом порядке ТВ. При этом, обобщённое соотношение Крютера в КХД в общем случае является как схемно-, так и калибровочно-зависимым (поскольку, например, содержит β -функцию, выражение для которой зависит от выбора калибровочно-инвариантной или неинвариантной схемы устранения ультрафиолетовых расходимостей). Исследование условий выполнения факторизации β -функции в этом соотношении в зависимости от использования различных схем перенормировок является важной, более теоретически направленной частью диссертации и может в дальнейшем позволить пролить свет на природу и теоретические следствия изучаемого нетривиального эффекта факторизации во всех порядках ТВ.

Часть исследований, вошедших в представленную на соискание степени кандидата физико-математических наук диссертацию Молокоедова В.С., посвящена изучению описанных выше вопросов. В первой главе диссертации исследуется схемная и калибровочная зависимость ренорминвариантных величин, таких как функция Адлера e^+e^- аннигиляции в адроны и коэффициентная функция правила сумм Бьёркена глубоконеупругого рассеяния заряженных лептонов на поляризованных нуклонах. Рассматривается калибровочно-инвариантная V -схема, определяемая высшими поправками ТВ к статическому потенциалу, а также одна из широко применяющихся в настоящее время (даже в решёточных вычислениях) калибровочно-неинвариантных схем импульсных вычитаний, а именно m MOM-схема. Демонстрируется, что в КЭД β -функцию в V -схеме можно рассматривать как аналог функции Гелл-Манна—Лоу, определяющей бег инвариантного заряда.

Вторая глава диссертации посвящена изучению схемной и калибровочной зависимости обобщённого соотношения Крютера. Впервые показана выделенность калибровки Ландау $\chi=0$ в

этом соотношении, которая заключается в наличии свойства факторизации ренормгрупповой β -функции по крайней мере в четвёртом порядке ТВ во всём классе схем импульсных вычитаний. Доказывается, что калибровочная инвариантность схем перенормировок является достаточным, но не является необходимым условием для проявления эффекта упомянутой факторизации.

В третьей главе в случае массивной калибровочной теории сильных взаимодействий исследуется асимптотическая структура соотношения между полюсными и бегущими массами тяжёлых кварков. Определяются два неизвестных в аналитическом виде четырёхпетлевых коэффициента в зависимости этого соотношения от количества ароматов кварков при помощи метода наименьших квадратов. Используя три различных приближённых подхода к фиксации величины ещё не вычисленных высших вкладов теории возмущений к рассматриваемому соотношению, выполняются оценки таких поправок в 5 и 6-ом порядках ТВ. На основании данных оценок делается вывод, что для b -кварка асимптотический характер ряда теории возмущений в КХД между полюсной и бегущей массами начинает проявляться лишь с 4-петлевого уровня, в то время как для t -кварка факториальный рост коэффициентов этого соотношения всё ещё не приводит к асимптотической структуре данного ряда даже в 6-ом порядке. Это служит дополнительным теоретическим аргументом в пользу применимости как бегущих, так и полюсных масс b и t -кварков в современных теоретических и феноменологически ориентированных исследованиях.

За время работы над исследованиями, представленными в диссертации, Молокоедов В.С. проявил себя как специалист высокой квалификации в области теоретической физики и математики, способный самостоятельно решать задачи по актуальным проблемам физики высоких энергий и элементарных частиц. Молокоедов В.С. неоднократно проявлял свои знания в этих областях, которые позволили в конечном итоге решить ряд изучавшихся проблем с использованием нестандартных теоретических методов. Следует особо подчеркнуть определяющий вклад соискателя в опубликованные работы, приведшие к написанию диссертации и неоднократно цитируемые как российскими, так и зарубежными учёными.

Диссертация “Эффекты высших поправок теории возмущений в КХД и их теоретические и феноменологические следствия” полностью соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Молокоедов Виктор Сергеевич, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

30 июня 2020

Научный руководитель
Ведущий научный сотрудник ОТФ ИЯИ РАН
доктор физ.-мат. наук

А.Л. Катаев

Подпись А.Л. Катаева удостоверяю
Заместитель директора ИЯИ РАН, профессор РАН
доктор физ.-мат. наук

Г.И. Рубцов