

Отзыв

официального оппонента Ларина Сергея Александровича,
доктора физико-математических наук, ведущего научного сотрудника
ИЯИ РАН, г. Москва e-mail: larin@ms2.inr.ac.ru тел.: 8(499)135-21-69
адрес: 117312, Москва, В-312, проспект 60-летия октября, 7а.
на диссертационную работу Аникина Игоря Валерьевича
“Вклады высшего твиста в жестких процессах КХД”,
представленную к защите на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук
по специальности 01.04.02 — теоретическая физика

Диссертационная работа Аникина И.В. “Вклады высшего твиста в жестких процессах КХД” посвящена разработке и развитию различных схем факторизации квантовой хромодинамики для учета поправок высшего твиста в жестких процессах.

Практическая важность данной темы диктуется главным образом развитием в последнее время современных ускорителей. Действительно, в течение последних десятилетий информация о составной структуре адронов собиралась на основе исследований инклюзивных жестких процессов, таких как глубоко-неупругое рассеяние лептонов на нуклонах, с большой передачей энергии. Но с развитием новых ускорителей с высокой светимостью (например, эксперименты на ускорителях HERA, лаборатории им. Джефферсона и будущий проект Международный Линейный Коллайдер (ILC)), в последнее время стало возможным изучать сложную составную структуру адронов с помощью эксклюзивных жестких процессов, где все частицы детектируются.

С теоретической точки зрения, жесткие процессы, т.е. процессы с большими передачами энергии, в отличие от других типов процессов дают уникальную возможность для использования аналитических методов КХД. С другой стороны, поскольку проблема конфайнмента цвета в рамках КХД остается до сих пор нерешенной, единственным методом приложения квантовой хромодинамики (КХД) является метод, основанный на факторизации динамик малых (пертурбативный сектор) и больших (непертурбативный сектор) расстояний. Физическая процедура разделения динамик описывается так называемой теоремой факторизации, утверждающей, что при больших значениях переданного импульса Q^2 , амплитуду жесткого процесса можно вычислить или оценить с определенной точностью, используя разложения по малой величине $1/Q^2$. Как результат этого, динамики малых и больших расстояний оказываются полностью факторизованными.

В связи с этим, весьма актуально развитие методов вычисления и учета поправок по $1/Q^2$, для классификации которых вводят понятие твиста, в различных порядках теории возмущения по константе взаимодействия. Необходимо отметить, что данные поправки особо важны для теоретического и экспериментального анализа жестких процессов в области умеренных значений Q^2 .

В диссертации предложена и развита коллинеарная факторизация на световом конусе. В основе данного подхода лежит факторизация в импульсном представлении вокруг доминантного свето-подобного направления. Отмечу, что предложенный метод ведет к наиболее естественным определениям соответствующих корреляторов. Отличительной чертой предложенного метода является редукция числа корреляторов к минимальному независимому набору с помощью использования интегральных соотношений, вытекающих из уравнений движения КХД и требования инвариантности амплитуд рассеяния относительно обобщенных лоренцевских вращений на световом конусе. Кроме того, для описания нуклонных жестких процессов в диссертации предложен метод, который включает также способ факторизации на основе ковариантного подхода без выделения доминантного направления на световом конусе.

Диссертация состоит из введения, заключения и 5-ти глав.

В первой главе при рассмотрении процесса глубоко-виртуального комптоновского рассеяния сформулирован и развит оригинальный метод учета высшего твиста. Показана роль твиста 3 для абелевой (КЭД) калибровочной инвариантности амплитуд данного процесса для адронов с произвольным спином и, в частности, для адронов со спином 0, 1. Предложен альтернативный способ вывода соотношений Вандзуры-Вильчека для пионных обобщенных партонных распределений и пионных обобщенных амплитуд распределений, который значительно упрощает учет вкладов высшего твиста. Получено также полное выражение для калибровочно-инвариантной амплитуды процесса $\gamma\gamma^* \rightarrow \pi\pi$, который связан преобразованиями кроссинга с глубоко-виртуальным комптоновским рассеянием. Исследован ряд аналитических свойств данных амплитуд. В частности, показано, что точка вычитания в соответствующих дисперсионных соотношениях определяется так называемым D -членом, который необходим для выполнения фундаментального свойства полиномиальности обобщенных партонных распределений.

Во второй главе вычислены вклады высшего твиста в столкновениях реального и глубоко-виртуального фотонов. Предложено обобщение описанного в первой главе метода учета высшего твиста для процессов рождения двух ρ мезонов в двухфотонных столкновениях. На основе экспериментальных данных коллаборации L3 на ускорителе LEP предсказано существование экзотического четырех-кваркового резонанса с массой в районе 1.6 GeV. При этом основную роль в проделанном анализе играют вклады твиста 4 в амплитудах процессов $\gamma\gamma^* \rightarrow \rho^0\rho^0$ и $\gamma\gamma^* \rightarrow \rho^+\rho^-$. Приведены также теоретические оценки для сечений рождения экзотических гибридных (кварк-антикварк-глюонных) состояний в двухфотонных столкновениях. Обнаружена дуальность между t -канальной факторизацией, идущей через механизм с переходными партонными распределениями и s -канальной факторизацией, идущей через механизм с обобщенными партонными распределениями. Показано, что дуальность может служить правилом отбора для различных моделей, описывающих непертурбативные объекты в эксклюзивных амплитудах.

В третьей главе представлен операторный метод выделения вкладов Вандзуры-Вильчека для амплитуд с трехкварковыми корреляторами на основе использования конформного разложения нелокальных операторов в спинорном (или твисторном) представлении. Данный метод носит довольно общий характер и не зависит от конкретной параметризации соответствующих корреляторов. Поэтому метод, что важно подчеркнуть, пригоден для любых процессов. В данной главе представлены результаты очень объемных вычислений вкладов высшего твиста для нуклонным электромагнитных формфакторов в рамках правил сумм на световом конусе. В частности, вычислены нуклонные формфакторы до α_S -поправок ккладам от амплитуд распределения твиста 3 и 4. Впервые вычислены коэффициентные функции, соответствующие твисту 3 и 4, с точностью до α_S -поправок, которые очень востребованы для экспериментального изучения нуклонов на установках лаборатории им. Джефферсона (Hall A-коллаборация).

В четвертой главе вычислены вклады высшего твиста в процессах электророждения поперечно-поляризованного ρ мезона и экзотического гибридного кварк-антикварк-глюонного мезона с $J^{PC} = 1^{-+}$. Продемонстрировано, что, несмотря на ожидания, амплитуда эксклюзивного жесткого электророждения гибридного мезона имеет исчезающий вклад от лидирующего твиста 2. Обоснована возможность исследования данных экзотических мезонов на эксперименте. Изучены механизмы нарушения факторизации амплитуд электророждения поперечно-поляризованных векторных мезонов. Показан недостаток применения стандартной процедуры Бродского-Лепаж-Маккензи (БЛМ) для фиксации масштаба в эксклюзивном электророждении векторных мезонов и предложен способ, как обойти данную трудность.

В пятой главе исследованы вклады высшего твиста в инклюзивных и полунклюзивных жестких процессах. Доказана необходимость дополнительных вкладов к функциям твиста 3 для того, чтобы восстановить абелевую калибровочную инвариантность адронного тензора процесса Дрелла-Яна с поперечно-поляризованным адроном. Доказательство строится на прямой связи с определенной комплексной прескрипцией в глюонном полюсе кварк-глюонной функции, которая, в свою очередь, связана с условием причинности пропагаторов в жесткой части амплитуды. Основную роль при доказательстве играет путезависимая контурная калибровка для глюонных полей. Предложен новый метод факторизации для случая рождения двух адронов в e^+e^- аннигиляции.

Все результаты выносимые на защиту являются новыми, они своевременно опубликованы в авторитетных российских и зарубежных реферируемых журналах. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Результаты диссертации представляют несомненный интерес как для специалистов в области квантовой теории поля, в частности, в квантовой хромодинамике, так и в целом для развития современной физики высоких энергий. Особо необходимо отметить вклад автора в исследование роли высшего твиста 3 в процессах глубоко-виртуального комптоновского рассеяния. Приоритет полу-

ченных результатов этих исследований широко признан мировым физическим сообществом.

Разработанные и развитые методы позволяют существенно расширить область применения метода факторизации КХД на случай поправок высшего твиста и открывают новое широкое направление теоретических исследований. Значимость проведенных в диссертации исследований определяется требованиями современных экспериментов на существующих и будущих ускорителях, теоретические расчеты для которых являются абсолютно важными и необходимыми.

Достоверность полученных результатов также не вызывает сомнений, поскольку во многих случаях результаты подтверждались в дальнейшем другими исследовательскими группами.

К недостаткам диссертации можно отнести недостаточное обсуждение кинематических и массовых поправок к разложению по твисту. Особенно для случая дейтронной мишени в глубоко-виртуальном комптоновском рассеянии и при обсуждении поправок к нуклонным форм-факторам.

Однако, вышеизложенные замечания не снижают ценности и значимости выдвигаемых на защиту результатов. В целом, можно сказать, что работа выполнена на высоком профессиональном уровне и является важной для развития современной физики высоких энергий. Полученные результаты могут быть использованы во многих российских (ИЯИ РАН, ПИЯФ, НИИЯФ МГУ, Институте Физики СПГУ, Институте Математики СО РАН, ОИЯИ и др.) и зарубежных научных центрах.

Резюмируя, можно с уверенностью сказать, что диссертация “Вклады высшего твиста в жестких процессах КХД” удовлетворяет всем требованиям ВАК Российской Федерации (п.9 “Положения о порядке присуждения ученых степеней”), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 — теоретическая физика, а ее автор, Аникин Игорь Валерьевич, несомненно заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук.

ведущий научный сотрудник ИЯИ РАН
доктор физико-математических наук

С.А. Ларин

01.09.2014

Подпись С.А. Ларина удостоверяю

Ученый секретарь ИЯИ РАН
кандидат физико-математических наук



А.Д. Селидовкин