

«Утверждаю»

Проректор МГУ им. М.В. Ломоносова  
д.ф.-м.н., профессор



*А.А. Федянин*  
А.А. Федянин

«3» сентября 2014 г.

## Отзыв

ведущей организации

Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова  
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

В последнее время, с развитием новых ускорителей с высокой светимостью (HERA, Jefferson Lab, будущий проект Международный Линейный Коллайдер ILC и др.), стало возможным изучать составную структуру адронов с помощью эксклюзивных жестких процессов, т.е. в процессах, где детектируются все частицы в начальном и конечном состояниях и происходит большая передача энергии. Такого рода жесткие процессы дают уникальную возможность применения на практике методов квантовой хромодинамики (КХД).

Одним из основных строгих методов приложения КХД к описанию жестких процессов является метод, основанный на факторизации пертурбативного и непертурбативного вкладов. Процедура факторизации основывается на утверждении о том, что при больших значениях переданного импульса (которые, как правило, выражаются через виртуальность одной из частиц  $Q^2$ ) амплитуда жесткого процесса может быть представлена в виде свёртки мягкой (непертурбативный вклад) и жесткой (пертурбативный вклад) частей амплитуды, которые не зависят друг от друга. В связи с этим, актуальным становится развитие методов вычисления и учета степенных поправок по  $1/Q^2$ , которые классифицируются с помощью такой характеристики партонных

распределений в адронах как твист, в различных порядках теории возмущения по константе взаимодействия. Данные степенные поправки особо важны для исследования жестких процессов в области умеренных значений  $Q^2$ .

Диссертация Аникина И.В. «Вклады высшего твиста в жестких процессах КХД» посвящена разработке и дальнейшему развитию подходов, основанных на различных факторизационных теоремах в КХД, с целью вычисления поправок высших твистов к амплитудам различных жестких процессов. В диссертации предложен и развит подход, основанный на коллинеарной факторизации на световом конусе, основным инструментом которого является разложение амплитуд вокруг светоподобного направления, дающего основной вклад. Для описания жестких процессов с участием трех-кварковых состояний, предложенный метод дополняется способом факторизации на основе ковариантного подхода без выделения доминантного направления на световом конусе.

В диссертации представлены решения следующих основных задач:

1. При рассмотрении процесса глубоко-виртуального комптоновского рассеяния сформулирован и развит оригинальный метод учета эффектов высших твистов. В частности, показана существенная роль вкладов твиста 3 для абелевой калибровочной инвариантности амплитуд данного процесса для адронов со спином 0 и 1. В рамках данного подхода предложен новый способ вывода соотношений Вандзуры-Вильчека для пионных обобщенных партонных распределений и пионных обобщенных амплитуд распределений, который ведет к существенному упрощению учета вкладов высшего твиста. Исследованы аналитические свойства амплитуд глубоко-виртуального комптоновского рассеяния и электророждения векторных мезонов; в частности, показано, что конечная точка вычитания в дисперсионных соотношениях определяется одним из фундаментальных свойств обобщенных партонных распределений – их полиномиальностью.

2. Вычислены вклады высшего твиста в амплитуду рождения двух  $\rho$ -мезонов в двухфотонных столкновениях, когда один из фотонов имеет большую виртуальность. На основе анализа экспериментальных данных коллаборации L3 на ускорителе LEP, сделано предсказание о существовании экзотического четырех-кваркового резонанса с массой в районе 1.6 ГэВ. При этом, в отличие от процессов с участием двух реальных фотонов, основную роль в представленном анализе играют вклады твиста 4 в амплитудах процессов  $\gamma\gamma^* \rightarrow \rho^0\rho^0$  и  $\gamma\gamma^* \rightarrow \rho^+\rho^-$ . Также приведены теоретические оценки для сечений рождения в двух-фотонных реакциях других экзотических частиц – гибридных (кварк-антикварк-глюонных) состояний. Обнаружен новый эффект – дуальность между t-канальной факторизацией, описываемой посредством переходных партонных распределений и s-канальной факторизацией, описываемой посредством обобщенных партонных распределений. Показано,

что данная дуальность может служить правилом отбора для различных моделей, описывающих непертурбативные вклады в амплитуды эксклюзивных жёстких процессов.

3. Для амплитуд нуклонных процессов, включающие трех-кварковые корреляторы, предложен операторный метод выделения т.н. вкладов Вандзуры-Вильчека, используя при этом конформное разложение нелокальных операторов в спинорном/твисторном представлении. Ввиду общего характера предложенного метода, его можно использовать для любых жёстких процессов, что является несомненным преимуществом по сравнению с другими подходами.

4. Представлены результаты вычислений вкладов высшего твиста в нуклонные электромагнитные формфакторы в рамках метода правил сумм на световом конусе. Впервые вычислены радиационные поправки к вкладам в формфакторы от амплитуд распределения твиста 3 и 4, которые не были известны ранее ввиду отсутствия эффективных методов их вычисления. Данные вычисления позволили получить теоретические предсказания, необходимые для интерпретации экспериментальных результатов по формфакторам нуклонов на электрон-протонном коллайдере лаборатории им. Джефферсона (США).

5. Исследованы вклады высшего твиста в инклюзивных и полунклюзивных жестких процессах. Доказано, что условие калибровочной инвариантности адронного тензора процесса Дрелла-Яна с поперечно-поляризованным адроном, требует присутствия новых вкладов к функциям твиста 3. Доказательства основывается на оригинальном использовании наиболее общей контурной калибровки для глюоннов.

Диссертационная работа представляет собой законченное исследование. Результаты, выносимые на защиту, являются новыми и оригинальными; они получили широкую известность среди специалистов в области теории и феноменологии физики высоких энергий. Основные результаты диссертации опубликованы в ведущих российских и зарубежных реферируемых. Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Полученные результаты являются достоверными, так как основаны на строгих теоретико-полевых методах Квантовой Хромодинамики; результаты автора подтверждены имеющимися более поздними результатами других исследовательских групп.

К недостаткам можно отнести наличие некоторого количества стилистических ошибок и опечаток. Например, на странице 39, в формуле (1.49) явно отсутствует необходимый размерный параметр. В целом, ошибки и опечатки не могут повлиять на высокую оценку научной ценности представленных

результатов.

Работа выполнена на высоком научном уровне и вносит значимый вклад в развитие методов современной физики высоких энергий. Совокупность представленных результатов можно квалифицировать как научное достижение; данные результаты могут быть востребованы в российских и зарубежных научных центрах, специализирующихся на адронной физике и физике высоких энергий.

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.

Материалы докторской диссертации Аникина И.В. доложены и обсуждены на семинаре Отдела экспериментальной физики высоких энергий Научно-Исследовательского Института Ядерной Физики им Д.В.Скобельцына Московского Государственного Университета им М.В.Ломоносова.

Директор НИИЯФ МГУ  
доктор физико-математических наук



М.И. Панасюк

Заведующий отделом экспериментальной  
физики высоких энергий НИИЯФ МГУ  
доктор физико-математических наук

Э.Э. Боос

Ведущий научный сотрудник НИИЯФ МГУ  
доктор физико-математических наук

Д.И. Мелихов

Заключение составил: Мелихов Дмитрий Игоревич, доктор физико-математических наук, без звания, ведущий научный сотрудник Отдела экспериментальной физики высоких энергий, НИИЯФ МГУ им. М.В. Ломоносова, e-mail: [melichov@sinp.msu.ru](mailto:melichov@sinp.msu.ru), тел.: (495) 932 89 72  
адрес: 119991, Российская Федерация, Москва, Ленинские горы, д.1