

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования



**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Направление подготовки/профиль: 03.06.01 «Физика и астрономия» / 01.04.02  
«Теоретическая физика»  
Исследовательская школа физики высокоэнергетических процессов

**Научный доклад об основных результатах подготовленной  
научно-квалификационной работы**

Тема научного доклада
<b>Изучение структуры адронов на поляризованной мишени эксперимента COMPASS</b>
УДК 539.125/126:621.384.664

Аспирант

Группа	ФИО	Подпись	Дата
A6-06	Чумаков Александр Григорьевич		

Руководитель профиля подготовки

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Трифонов Андрей Юрьевич	д-р физ.-мат. наук		

Руководитель отделения

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

Научный руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Любовицкий Валерий Ефимович	д-р физ.-мат. наук		

## Аннотация

Согласно современным представлениям внутренняя (партонная) структура нуклонов определяется 5 переменными (координатами), определяющими распределение партонов (кварков и глюонов) в нуклонах: продольная координата  $x$  (доля продольного момента адрона, переносимого активным партоном), две переменные в поперечном импульсном и две переменные в координатном пространстве активного партона. Соответствующие распределения (функции 5 координат) называются распределениями Вигнера и полностью определяют структуру (томографию) нуклона. Для лидирующего твиста-2 нуклона имеется  $16=4 \times 4$  Вигнеровских функций, поскольку нуклон и кварки каждый могут находиться в 4-ех спиновых состояниях - неполяризованном и в 3-х поляризованных. Интегрирование или Фурье-преобразование распределений Вигнера трансформирует их в различные известные характеристики - распределения, упругие форм факторы и заряды. В частности, интегрирование по  $k_T$  дает 8 распределений поперечного импульса (TMD распределения). Для лидирующего твиста-2 нуклона имеется 8 TMD функций, которые подразделяются Т-четные и Т-нечетные функции. К Т-четным функциям относятся неполяризованная функция (оба нуклон и кварк неполяризованы), функция спиральности (оба нуклон и кварк продольно поляризованы), поперечная и "кренделевидная" функции (оба нуклон и кварк поперечно поляризованы), функция поперечной поляризации нуклона (кварк поперечно поляризован), функция продольной поляризации кварка нуклона (кварк продольно поляризован). К Т-нечетным функциям относятся функция Сиверса (нуклон поперечно поляризован, а кварк неполяризован) и функция Боер-Малдерса (нуклон неполяризован, а кварк поперечно поляризован). Дальнейшее интегрирование 3-х TMD распределений и по импульсу дает 3 функции партонных распределений и - PDF распределения. Именно по этой причине TMD функции иногда называют непроинтегрированными PDF распределениями. PDF и TMD распределения являются универсальными непертурбативными функциями, не зависящими от типа физического процесса характеристиками. Их физический смысл состоит в том, что они характеризуют распределение партона определенного аромата в адроне по переменным  $x$  и  $k_T$  (TMD распределения) или только по  $x$  (PDF распределения). Таким образом, прецизионное извлечение TMD и PDF распределений из одних экспериментальных данных позволяет делать предсказания для других процессов. Однако следует отметить, что PDF и TMD зависят от шкалы, на которой они определяются. Эта зависимость

определяется в рамках пертурбативной КХД: в случае PDF решением уравнения Докшитцера-Грибова-Липатова-Альтарелли-Паризи (DGLAP), пересуммирующими лидирующие логарифмы и в случае TMD решением уравнения Коллинса-Сопера пересуммирующими вклады двойных логарифмов за счет излучения глюонов активными партонами.

Последние 10 лет идет активное изучение TMD в экспериментах HERMES/DESY (Германия), JLab (США), STAR/RHIC/BNL (США) и COMPASS/CERN (Швейцария). В эксперименте HERMES асимметрия Сиверса изучалась в процессе (SIDIS) лепто-рождения пионов и заряженных каонов на поперечно-поляризованной водородной мишени. Было показано, что эффект Сиверса не является подавленным. Коллаборация Jefferson Lab Hall A исследовала асимметрию Сиверса в SIDIS процессе  $3\text{He}(e, e'\pi^\pm)X$ , используя электронный пучок с энергией 5.9 GeV. Были измерены интегральные моменты функций Сиверса и показано, что они близки к нулю для отрицательно-заряженных пионов и отрицательны для положительно-заряженных пионов. Коллаборация STAR впервые исследовала асимметрию Сиверса, используя канал реакции Дрелла-Яна  $p^\uparrow + p \rightarrow W^\pm/Z^0$  при значениях полной энергии 500 ГэВ. С точностью до неопределенностей, связанных с учетом эволюции TMD была подтверждена смена знака у функции Сиверса по сравнению с SIDIS процессами и тем самым предсказание КХД получило первое экспериментальное подтверждение.

В работе извлекаются значения асимметрий, возникающих в процессе Дрелл-Яна на поляризованной мишени при налетающем пионном пучке с энергией 190 ГэВ. Получаемые асимметрии в лидирующем (2-твист) порядке в рамках партонной модели через интегральную свёртку позволяют получить информацию о партонных функциях распределения (ПФР), включая и функции распределения поперечного импульса (TMD), в частности, так называемые: функция Боер-Малдерса  $h_{\perp q1,p}(x, kT)$ , Сиверса  $f_{\perp q1T,p}(x, kT)$ , поперечность  $hq1,p(x, kT)$ , и “кренделевидность”  $h_{\perp q1T,p}(x, kT)$ . Такие же функции в силу свойства универсальности ПФР возникают в двойственном к Дрелл-Ян процессу - в процессе глубоко неупругого рассеяния (ГНР). При этом функции Боер-Малдерса и Сиверса, возникающие в Дрелл-Ян и ГНР процессах, как предсказывается квантовой хромодинамикой, должны иметь противоположные значения по отношению к процессу (закон смены знака). Смена знака у функций Боер-Малдерса и Сиверса относительно процесса, в котором они возникли, является одним из ключевых тестов фундаментальной теории сильных взаимодействий - квантовой хромодинамики.