

Т-359

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 539.125539.171

2-85-76

ТЕРЯЕВ
Олег Валерианович

ПОЛЯРИЗАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ
В КВАНТОВОЙ ХРОМОДИНАМИКЕ

Специальность: 01.04.02 - теоретическая
и математическая физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1985

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики
Объединенного института ядерных исследований.

Научный руководитель
доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник

А.В. Ефремов

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук,
профессор

Л.И. Лашинус

кандидат физико-математических наук,
старший научный сотрудник

А.В. Щелкачев

Ведущее научно-исследовательское учреждение
Ленинградский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова
АН СССР

Автореферат разослан _____ 198 ____ года.

Защита диссертации состоится _____ 198 ____ г. на
заседании Специализированного Совета К 047.01.01 Лаборатории
теоретической физики Объединенного института ядерных
исследований, г. Дубна, Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь
кандидат физико-математических наук

В.И. Журавлев

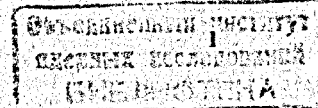
ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Успехи квантовой хромодинамики (КХД) при описании жестких, а в последнее время и некоторых мягких адронных процессов, общеизвестны. Резким контрастом поэтому выглядят простейшие поляризационные опыты, в которых фиксированы спиновые состояния единственной частицы. Поперечная поляризация инклюзивных гиперонов в соударениях неполяризованных адронов и асимметрия инклюзивных пионов, образованных при рассеянии неполяризованного пучка на поляризованной мишени, оказываются весьма большими. Простейшее распространение расчетов сечений жестких процессов в главном логарифмическом приближении на поляризацию приводит к ее величине, пропорциональной токовой массе кварка и бегущей константе связи. Наличие такой параметрической малости привело к распространенному мнению, что большие поперечные поляризации и связанные с ними одиночные асимметрии противоречат КХД или ее применимости. Таким образом, изучение одиночных асимметрий в КХД и объяснение накопленного экспериментального материала представляется весьма важным.

Помимо разъяснения драматического противоречия между теорией и экспериментом поперечная поляризация представляет и чисто теоретический интерес. Она связана с операторами твиста 3 в вильсоновском разложении на световом конусе. При ее анализе проявляются многие тонкие детали проблемы высших твистов, являющейся в настоящее время одной из центральных для КХД.

В последнее время появились экспериментальные данные, свидетельствующие о значительной тензорной поляризации (выстроенности) векторных мезонов, образованных в высокоэнергетических адронных соударениях. Изучение подобных эффектов в КХД представляет поэтому большой интерес.

Цель работы - полное описание поляризации частицы со спином $1/2$ в КХД, включающее учет всех эффектов твиста 3; выяснение истинного массового параметра поперечной поляризации; разработка методики расчета ведущих вкладов в одиночные асимметрии; расчет одиночной асимметрии в инклюзивном комптон-эффекте и анализ ее использования для измерения



структурных функций поляризованного адрона; изучение выстроенности в жестких процессах в КХД и феноменологический анализ связанной с ней структурной функции.

Научная новизна и практическая ценность. Поперечная поляризация в произвольном жестком процессе впервые описана в рамках КХД с учетом всех эффектов твиста 3. При этом вклады, определяемые глюонной компонентой волновой функции адрона, пропорциональны двум мультипартонным функциям распределения, через которые может быть выражена поляризация в любом процессе.

Впервые показано, что поперечная поляризация пропорциональна не токовой массе кварка, а массе поляризованного адрона. Установлен и исследован обеспечивающий этот факт динамический механизм, сводящийся к перенормировке массы кварка при движении его в глюонном поле адрона. Впервые показано, что сдвиг фаз, необходимый для возникновения асимметрии в жестком процессе, может возникать на его мягкой стадии. Новым является следующий отсюда вывод об отсутствии противоречия между экспериментально наблюдаемыми большими одиночными асимметриями и КХД.

Впервые вычислена право-левая асимметрия в инклюзивном комptonовском рассеянии на поляризованной мишени. Показано, что ее экспериментальное измерение позволяет получить важную информацию о мультипартонных распределениях.

Выстроенность в жестких процессах впервые исследована в рамках теории возмущений КХД. Установлено, что она не вымирает с ростом поперечного импульса. Феноменологический анализ соответствующей функции распределения свидетельствует в пользу ее большой величины.

Апробация работы. Результаты, полученные в работе, докладывались и обсуждались на семинарах в ЛТФ и ЛВЭ ОИЯИ, НИИЯФ МГУ, сессиях ОЯФ АН СССР (1980, 1981 г.г.), Международном симпозиуме (Дубна, 1981 г.) и Семинарах (Протвино, 1982-1984 г.г.) по спиновым явлениям в физике высоких энергий.

Публикации. По результатам диссертации опубликовано шесть работ.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и одного приложения, содержит 126 страниц машинописного текста, 16 рисунков. Список литературы включает 105 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** дан краткий обзор работ, посвященных применению КХД в спиновой физике, поляризационным экспериментам при высоких энергиях и их теоретическому объяснению. Сформулирована основная задача

диссертации - последовательный анализ поперечной поляризации и выстроенности в КХД - и рассмотрена ее общая структура.

Первая глава посвящена изучению поперечной поляризации, генерируемой кварк-кварковым подпроцессом. В п. 1.1 поперечная поляризация в процессе упругого рассеяния анализируется с помощью ковариантной матрицы плотности $\rho = 1/2 (\hat{p} + m)(1 + \hat{s}\gamma_5)$. Показано, что асимметрия возникает за счет интерференции разных (или одинаковых S- и U-канальных - при рассеянии тождественных частиц) инвариантных амплитуд и пропорциональна мнимой части одной из них. В п. 1.2 исследуется инфракрасная асимптотика асимметрии. Показано, что для факторизации больших и малых расстояний требуется инфракрасная стабильность первого неисчезающего приближения, определяемого интерференцией борновской и однопетлевой амплитуд. Для стабильности кварк-кваркового подпроцесса требуется равенство масс поляризованного кварка на его внутренних и внешних линиях (которое обеспечивает также калибровочную инвариантность). Соответствующий конечный вклад в асимметрию вычисляется в п. 1.3. П. 1.4 посвящен факторизации больших и малых расстояний в пренебрежении глюонной компонентой волновой функции адрона, т.е. операторными средними типа $\langle \bar{q} G q \rangle$ по адронному состоянию. Калибровочная инвариантность и равенство внутренней и внешней масс в этом случае обеспечивается уравнениями движения. В пренебрежении $\langle \bar{q} G q \rangle$ это дает для пропорциональной поляризации вклада стандартную партоновую картину с новой функцией распределения f_A . Анализ правил сумм для аксиального тока позволяет установить, что $m_q f_A \sim M$ (адрона). В результате поперечная поляризация $P \sim \alpha_s m_q f_A p_T / m_T^2 \sim \alpha_s M p_T / m_T^2$ определяется не массой кварка, а массой поляризованного адрона. Замена $m_q \rightarrow M$ в формуле, полученной в п. 1.3, и грубая оценка асимметрии пионов в центральной области приводят к малой величине $\leq 1\%$. Отмечается, что для легких кварков $m_q/M \ll 1$ (усредненной по спинам), $f_A \gg f$, что свидетельствует о нарушении положительной определенности матрицы плотности.

Центральное место занимает **вторая глава**, посвященная последовательному учету глюонных эффектов. В п. 2.1 рассмотрен случай скалярного глюона. В простейшей диаграмме глубоководного рассеяния (ГНР) поляризованных электронов на поляризованном нуклоне учет глюонных эффектов сводится к эффективной "перенормировке" массы кварка при движении последнего в глюонном поле адрона. Таким образом, и на внешних, и на внутренних линиях подпроцесса в числителях пропагаторов и матрицы плотности стоит эффективная кварковая масса (порядка адронной). Восстанавливается положительная определенность матрицы плотности $f_A \leq f$. В п. 2.1 эта картина распространена на КХД. В результате для сечения жесткого процесса с участием поляризованного адрона

получена партонная формула

$$dG_A = \int_{-1}^1 dx C_T^A \frac{1}{4} S_P [E(x) \hat{S} \gamma^5] + \int_{-1}^1 dx_1 dx_2 \left\{ B^A(x_1, x_2) \frac{1}{4} S_P [E^A(x_1, x_2) \hat{P} \gamma^5] S_T + B^V(x_1, x_2) \frac{1}{4} S_T [E^V(x_1, x_2) \gamma^5] E_{3PSP} \right\} \quad (1)$$

где E и E^A — коэффициентные функции, связанные с поляризованным адроном двумя кварковыми "ногами" и дополнительной глюонной соответственно. Функции B^A и B^V (корреляторы) связаны с матричными элементами составных операторов, содержащих глюонное поле; X_1 и X_2 — доли импульса адрона, текущие по кварковым линиям.

Свойства корреляторов изучаются в п. 2.3. Из уравнений движения следует правило сумм, которое с учетом T-инвариантности, когда функция B^A симметрична, а B^V — антисимметрична по своим аргументам, принимает вид

$$C_T^A(x) = \frac{1}{x} \int_{-1}^1 dy (B^A(x, y) + i B^V(x, y)). \quad (2)$$

П. 2.4 посвящен анализу борновской диаграммы ГНР в КХД. Совместное использование формул (1) и (2) приводит к ситуации, полностью аналогичной случаю скалярного глюона. Влияние глюонного поля сводится к переопределению массы кварка. Измерение фактора G_2 позволило бы получить информацию о корреляторе B^A . В п. 2.5 рассмотрен вклад глюонных эффектов в одиночные асимметрии. Благодаря "внешнему" (для подпроцесса) глюону разрез по S , мнимая часть и, следовательно, поляризация появляются уже в борновском подпроцессе. Сдвиг фаз при этом возникает на мягкой стадии процесса, асимметрия не пропорциональна α_s . Таким образом, обе параметрические малости (m_q и α_s) при детальном анализе исчезают. Вычислена мягкая асимметрия в инклюзивном комптон-эффекте на поперечно поляризованном адроне

$$A = 4\pi \frac{B^A(0, x) + i B^V(0, x)}{f(x)} \frac{y(1+y)}{1+y^2} \frac{P_T}{m_T^2} \quad (3)$$

Наблюдение этого эффекта было бы проверкой тонких деталей структуры КХД и позволило бы провести первые прямые измерения B^A , B^V .

В третьей главе изучается выстроенность векторных мезонов в высокоэнергетических процессах. В п. 3.1 проведен кинематический анализ выстроенности инклюзивного мезона, образованного в адронных соударениях. На основе соображений релятивистской ковариантности и сохранения четности установлено существование компонент выстроеннос-

ти, "выживающих" в пределе $P_T \rightarrow \infty$. Эта выстроенность изучается в рамках теории возмущений КХД в п. 3.2. Она возникает в борновском подпроцессе и связана с новой, "выстроенной" функцией распределения (фрагментации), имеющей характерное осцилляционное поведение. Рассмотрение мезона, состоящего из нерелятивистских кварков в п. 3.3 показывает, что эта функция имеет тот же порядок, что и усредненная по спинам. В п. 3.3 в рамках модели слияния показано, что выстроенность может быть очень большой и в мягкой области.

В заключении изложены основные результаты, полученные в работе.

В приложении приведены результаты расчетов мнимых частей фейнмановских интегралов, не использовавшихся при расчете кварк-кваркового подпроцесса, позволяющие осуществить проверку его правильности.

На защиту выносятся следующие основные результаты, полученные в работе:

1. В рамках теории возмущений КХД получена партонная формула для сечения жесткого процесса с участием поляризованного адрона. Показано, что в случае поперечной поляризации в ней присутствуют корреляторы — двухаргументные функции распределения, описывающие интерференцию одно- и двухпартонных состояний.

2. Установлено, что истинным размерным параметром поперечной поляризации является масса поляризованного адрона. Показано, что причиной этого является эффективная перенормировка массы кварка глюонным полем адрона.

3. Показано, что вклады, пропорциональные корреляторам, приводят к большим (не пропорциональным α_s) одиночным асимметриям. Сдвиг фаз при этом возникает на стадии перехода поляризованного адрона в партон, то есть, как и массовый параметр, генерируется большими расстояниями. Физика при этом оказывается связанной не с подпроцессом, а с функцией распределения.

4. Установлено, что экспериментальное изучение одиночных асимметрий в лептон-адронных и фотон-адронных процессах весьма перспективно с точки зрения партонметрии корреляторов. В связи с этим вычислена асимметрия в инклюзивном комптон-эффекте на поляризованной мишени.

5. Исследованы кинематические свойства выстроенности инклюзивных векторных мезонов с большим поперечным импульсом. Показано, что выстроенность имеет компоненты, которые не "вымирают" с ростом поперечного импульса, а стремятся к определенному пределу.

6. Асимптотическая выстроенность исследована в рамках теории возмущений КХД. Показано, что она определяется тем же подпроцессом, что и усредненное сечение и возникает лишь благодаря "выстроенной"

функции распределения. Как и мягкая одиночная асимметрия, она обязана своим происхождением большим расстояниям. Феноменологический анализ показывает, что выстроенная функция распределения может быть весьма значительной по величине, как и выстроенность в мягких процессах.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Ефремов А.В., Теряев О.В. О спиновых эффектах в квантовой хромодинамике.- Ядер. физ., 1982, т. 36, № 6, с. 242-246.

2. Ефремов А.В., Теряев О.В. Поляризационные процессы в квантовой хромодинамике.- В кн.: Спин в физике высоких энергий: Труды международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1982, с. 52-64 (Сообщение Объед. ин-т ядер. исслед.: ДИ, 2-82-27).

3. Ефремов А.В., Теряев О.В. О выстроенности векторных мезонов с большим поперечным импульсом.- Ядер. физ., 1982, т. 36, № 10, с. 950-956.

4. Ефремов А.В., Теряев О.В. Выстроенность векторных мезонов в модели слияния.- Дубна, 1982.- 6 с (Препринт Объед. ин-т ядер. исслед.: P2-82-852).

5. Ефремов А.В., Теряев О.В. Поперечная поляризация в квантовой хромодинамике.- Ядер. физ., 1984, т. 39, № 6, с. 1517-1526.

6. Ефремов А.В., Теряев О.В. Асимметрия в КХД и измерение структурных функций поляризованного адрона.- Дубна, 1984 - 9 с (Препринт Объед. ин-т ядер. исслед.: P2-84-603); Phys.Lett., 150B, No.5, p.383.

Рукопись поступила в издательский отдел
1 февраля 1985 года.