

БРЯНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

ХАЧАТРЯН ГАГИК НОРИКОВИЧ

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИОННЫХ ЯВЛЕНИЙ В
ИНКЛЮЗИВНОЙ e^+e^- -АННИГИЛЯЦИИ

01.04.02 - теоретическая и математическая физика

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Брянск - 1981

предсказания для поведения структурных функций, сравнение которых с экспериментом позволит судить о правомерности сделанных предположений.

Цели и задачи работы состоят в следующем:

1. Построение адронных тензоров, описывающих инклюзивную e^+e^- -аннигиляцию, когда в конечном состоянии регистрируются два адрона, либо векторный мезон или частица со спином $3/2$.

2. Вычисление спиральных матриц плотностей регистрируемых частиц со спином 1 и $\frac{3}{2}$.

3. Анализ возможности экспериментального нахождения структурных функций на основе измерения угловых распределений продуктов распада регистрируемого адрона.

4. Вычисление структурных функций поляризованного вектона и изобары в скейлинговом пределе в ковариантной партонной модели.

5. Вычисление в рамках КХД структурных функций в нерелятивистской и релятивистской моделях для перехода кварков в адроны и нахождение зависимости структурных функций от поперечного импульса P_\perp регистрируемого адрона относительно оси адронных струй.

6. Нахождение элементов матрицы плотности в ковариантной партонной модели и в хромодинамике, нахождение их зависимости от P_\perp .

7. Анализ угловых распределений продуктов распада регистрируемых адронов на основе полученного скейлингового поведения структурных функций.

Научная новизна и значимость работы

Рассмотрен процесс инклюзивной аннигиляции поляризованной e^+e^- -пары в случаях, когда в конечном состоянии регистриру-

ются две неполяризованные частицы, либо векторный мезон или частица со спином $3/2$. Построены адронные тензоры, описывающие указанные конечные состояния. В случае, когда регистрируется два адрона, построен формализм парциальных ширин распада виртуального фотона, эквивалентный формализму адронных тензоров, но имеющий более простой физический смысл.

В случае, когда регистрируется адрон со спином 1 или $\frac{3}{2}$, построена поляризационная матрица плотности соответствующей частицы и изучена возможность экспериментального нахождения введенных структурных функций и определяемой ими матрицы плотности. Показано, что, рассматривая распады $V \rightarrow 2\pi, 3\pi, \ell^+\ell^-, \Delta \rightarrow N\pi$, при определенных условиях можно найти все структурные функции.

Вычислены структурные функции и матрица плотности векторного мезона и изобары в рамках ковариантной партонной модели. Показано, что в скейлинговом пределе матрица плотности диагональна.

В КХД в релятивистской и нерелятивистской моделях перехода кварк-антикварковой пары в векторный мезон найдены структурные функции вектона и его матрица плотности. Найдена их зависимость от поперечного импульса вектона относительно оси струй. Показано, что, как и в партонной модели, матрица плотности диагональна и что учет внутреннего движения кварков не оказывает на нее существенного влияния. На основе полученных выражений для матрицы плотности проанализированы угловые распределения для распадов $V \rightarrow 2\pi, 3\pi, \ell^+\ell^-$.

Практическая ценность

В диссертации получил дальнейшее развитие феноменологи-

ческий аппарат структурных функций, необходимый для описания инклюзивных процессов и, в частности, e^+e^- -аннигиляции. Полученные результаты могут быть использованы для сравнения предсказаний различных моделей друг с другом и с экспериментом.

Рассмотренные поляризационные эффекты могут служить тестом для моделей, которые дают одинаковый результат, если не учитывать поляризаций частиц, участвующих в реакции. Так, зависимость структурных функций и поляризации вектона от его поперечного импульса может служить хорошей проверкой для используемых моделей перехода $q\bar{q}$ -пары в векторный мезон и для правомерности использования КХД в том виде, как это делается во многих работах.

Апробация работы. Результаты, полученные в диссертации, докладывались на теоретическом семинаре Ереванского физического института, на сессии Отделения ядерной физики АН СССР (1979г.) и представлялись на Международные конференции по физике высоких энергий в Тбилиси (1976г.) и в Токио (1978г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано семь работ. Список приведен в конце автореферата.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, двух приложений и заключения, содержит 118 страниц машинописного текста и 9 рисунков. Список цитируемой литературы включает 84 наименования.

П. КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обсуждается актуальность вопросов, затронутых в работе, формулируется задача исследования и приводится краткое описание основного содержания диссертации.

Первая глава диссертации посвящена феноменологическому

анализу аннигиляции e^+e^- -пары. Рассмотрение проводится в формализме адронных тензоров, в котором структурные функции являются коэффициентами при независимых комбинациях импульсов. С учетом поляризации e^+e^- -пучков построены адронные тензоры для некоторых интересных процессов и выяснено, в каких экспериментах можно определить соответствующие структурные функции.

В § 1 первой главы рассмотрен процесс инклюзивного рождения двух адронов. Показано, что этот процесс описывается пятью структурными функциями, одна из которых не дает вклада, если ни одна из начальных частиц не имеет продольной компоненты поляризации. В этом случае построенный тензор с точностью до множителя совпадает с тензором, описывающим аннигиляцию неполяризованных пучков, и никакой дополнительной информации по сравнению с неполяризованным случаем мы не получаем. Найдены также некоторые ограничения на структурные функции, налагаемые эрмитовостью адронного тензора.

В § 2 сечение процесса инклюзивного рождения двух адронов выражено через парциальные ширины распада $\gamma^* \rightarrow h_1 h_2 X$ времени-подобного фотона с данной линейной поляризацией, имеющие более наглядный, чем структурные функции, физический смысл. Указано, какие угловые корреляции следует измерять для нахождения указанных парциальных ширин.

В § 3 первой главы рассмотрен процесс рождения поляризованного векторного мезона. Построен описывающий его адронный тензор и показано, что он определяется восемью независимыми структурными функциями. Четыре независимые структуры, входящие в адронный тензор, совпадают с теми, которые определяют рождение поляризованной частицы со спином $\frac{1}{2}$, причем две из них не содержат

спиновых параметров, а две включают в себя вектор поляризации вектона. Остальные четыре содержат тензор квадрупольной поляризации векторного мезона. Найден общий вид спиральной матрицы плотности вектона, который определяется структурными функциями и поляризациями начальных e^+e^- -пучков.

В § 4 анализируются адронные тензоры, введенные в § 3. Показано, что измеряя угловое распределение продуктов распада вектона на псевдоскалярные частицы (основной канал распада векторных мезонов), можно определить только шесть структурных функций, так как в указанные распады вектор поляризации векторного мезона вклад не дает. Найден угловое распределение продольно поляризованных лептонов в распаде $V \rightarrow \ell^+\ell^-$, из которого следует, что в этом случае можно определить и остальные две структурные функции. При этом необходимо, чтобы хотя бы одна из аннигилирующих частиц имела продольную компоненту поляризации.

В § 5 рассмотрено рождение частицы со спином $3/2$, для конкретности Δ -изобары.

Показано, что адронный тензор, описывающий этот процесс, содержит две дополнительные по сравнению со случаем вектона структуры, включающие тензор октупольной поляризации. Вычислены элементы спиральной матрицы плотности, которые, как и в случае вектона, определяются структурными функциями и поляризацией начальных пучков. Матрица плотности, в свою очередь, определяет угловое распределение и поляризацию продуктов распада изобары. Измеряя эти величины в процессах распада изобары, можно определить элементы матрицы плотности, а значит и структурные функции, описывающие исходный процесс.

В § 6 рассматривается вопрос о том, какие именно структур-

ные функции можно найти, рассматривая тот или иной распад. Показано, что угловое распределение продуктов распада $\Delta \rightarrow N\pi$ т.е. основного канала распада изобары, позволяет определить только шесть структурных функций, не содержащих вектор поляризации и тензор квадрупольной поляризации. Остальные четыре функции можно найти, измеряя продольную поляризацию нуклона распада.

Вторая и третья главы диссертации посвящены вычислению введенных в первой главе структурных функций в ковариантной партонной модели и в хромодинамике.

В § I второй главы изложена ковариантная партонная модель применительно к рассматриваемым процессам. Получены некоторые выражения, которые в дальнейшем используются для вычисления структурных функций. В частности, выписана связь введенных в первой главе адронных тензоров с амплитудой комптоновского рассеяния партона на поляризованной частице со спином 1 или $3/2$.

В §§ 2,3 на основе выражений, полученных в § I, рассмотрены процессы рождения вектона и Δ -изобары. В бёркенновском пределе найдено скейлинговое поведение всех структурных функций и элементов спиральных матриц плотности соответствующих частиц.

Обсуждены некоторые следствия полученного поведения структурных функций в предположении, что партоны имеют спин $\frac{1}{2}$. Учитывая, однако, что экспериментально не отброшена возможность небольших примесей заряженных партонов с другими спинами, в § 4 рассматривается случай партонов с нулевым спином. Как и в предыдущих двух параграфах, найдено поведение структурных функций и матриц плотности, которое оказывается отличным от случая спина $\frac{1}{2}$.

В третьей главе рассматривается процесс рождения вектор-

ного мезона в другой модели - в КХД. Последняя не является, как известно, законченной теорией, так как в ней не решены многие фундаментальные вопросы. Она, в частности, не описывает процессы с малыми передачами импульса. Однако одно из ее важнейших свойств - асимптотическая свобода - позволяет проводить вычисления с использованием теории возмущений для процессов, в которых есть "жесткая" часть. При этом приходится применять для описания "мягких" частей этих процессов, в частности, адронизации кварков и глюонов, те или иные модельные предположения.

В § 1 третьей главы проводится квантовохромодинамическое описание "жесткой" части рассматриваемого процесса. Для произвольного вида амплитуды перехода кварк-антикварковой пары в векторный мезон в первом порядке теории возмущений получено общее выражение для тензора

В § 2 третьей главы мы применяем к рассматриваемому процессу простейший вариант модели адронизации кварков: мы предполагаем, что движением кварков внутри векторного мезона можно пренебречь. Показывается, что в глубоко неупругой области можно пользоваться теорией возмущений, если импульс рождающегося векторного мезона близок к максимально возможному. При этом оказывается, что структурные функции, а значит и спиральная матрица плотности и все связанные с ней величины, существенным образом зависят от поперечного относительно оси адронных струй импульса вектона.

В § 3 третьей главы рассмотрена более реалистическая релятивистская кварковая модель. В этой модели также вычислены структурные функции вектона и найдена их зависимость от поперечного импульса вектона. Найдены элементы матрицы плотности и

угловые распределения продуктов распада вектона. Показано, что они мало отличаются от аналогичных величин в случае нерелятивистской модели.

В Заключении сформулированы основные результаты, которые выносятся на защиту.

В приложении I построена матрица плотности виртуального фотона, образованного при аннигиляции произвольно поляризованной электрон-позитронной пары. Вычислены также поляризационные мультипольные моменты виртуального фотона: вектор поляризации и линейность.

В приложении II вычислены интегралы, встречающиеся при вычислении структурных функций в партонной модели.

III. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Построен адронный тензор, описывающий инклюзивную аннигиляцию e^+e^- -пары с двумя выделенными частицами в конечном состоянии. Показано, что в общем случае он содержит пять структурных функций, одна из которых не дает вклада, если хотя бы одна из аннигилирующих частиц не имеет продольной компоненты поляризации.

2. Получены ограничения на структурные функции, следующие из условия положительной определенности адронного тензора.

3. Введены физически более наглядные, чем структурные функции, парциальные ширины распада виртуального фотона для различных поляризаций последнего и сечение аннигиляции записано через эти ширины.

4. На языке структурных функций и парциальных ширин проведен анализ угловых корреляций регистрируемых адронов.

5. Построены адронные тензоры, описывающие рождение поляризованного векторного мезона в процессе аннигиляции e^+e^- -пары. Показано, что они содержат восемь структурных функций (если не учитывать взаимодействие в конечном состоянии).

6. Построена поляризационная матрица плотности родившегося векторного мезона и найдена зависимость ее элементов от структурных функций.

7. Показано, что структурные функции можно определить, измеряя угловое распределение продуктов распада вектона. При этом оказывается, что рассматривая распад вектона на псевдоскалярные частицы, можно определить только шесть структурных функций. Для определения остальных двух надо рассмотреть распад на лептон-антилептонную пару.

8. Построены адронные тензоры, описывающие рождение частицы со спином $3/2$ в процессе аннигиляции e^+e^- -пары. Показано, что они содержат десять структурных функций.

9. Указано, какие угловые распределения следует измерять, чтобы определить те или иные структурные функции.

10. Построена поляризационная матрица плотности частицы со спином $3/2$ и ее элементы выражены через структурные функции. Найдена также зависимость поляризационных параметров (вектора поляризации и тензоров квадрупольной и октупольной поляризации) от структурных функций.

11. В рамках ковариантной партонной модели найдено скейлинговое поведение поляризационных структурных функций вектона и частицы со спином $3/2$, а также поведение элементов матрицы плотности этих частиц. Показано, что в скейлинговом пределе все недиагональные элементы матрицы плотности обращаются в 0.

12. Показано, что в том же пределе структурные функции связаны между собой соотношениями типа Каллана - Гросса, которые позволяют выразить матрицу плотности и все связанные с ней величины только через две структурные функции.

13. Найдены угловые распределения для распадов частиц со спином 1 и $3/2$, следующие из найденного поведения структурных функций.

14. Рассмотрено рождение векторного мезона в процессе e^+e^- -аннигиляции в квантовой хромодинамике.

В простейшей нерелятивистской кварковой модели найдено поведение структурных функций в обёркеновском пределе. Показано, что они существенным образом зависят от поперечного относительно оси адронных струй импульса вектона. Найдена зависимость спиральной матрицы плотности и связанных с ней величин от поперечного импульса. Показано, что им же определяется относительная вероятность рождения векторных и псевдоскалярных мезонов.

15. Тот же процесс рассмотрен в более реалистической модели - релятивистской кварковой модели. Показано, что учет внутреннего движения кварков в векторном мезоне практически не влияет на элементы матрицы плотности, и все результаты, полученные в нерелятивистской кварковой модели, остаются в силе.

IV. ПУБЛИКАЦИИ

1. Г.Н.Хачатрян, Ю.Г.Шахназарян. Об инклюзивной аннигиляции поляризованной e^+e^- -пары с двумя выделенными адронами. ЯФ, т.25, стр.1228-1239, 1977.

2. Г.Н.Хачатрян, Ю.Г.Шахназарян. Об инклюзивной реакции $e^+e^- \rightarrow V + X$ с учетом поляризационных состояний образующе-

- гося векторного мезона. ЯФ, т. 26, с.1258-1267, 1977.
- 3.Г.Н.Хачатрян, Ю.Г.Шахназарян. Исследование инклюзивного образования нуклонной изобары (1232) в e^+e^- -аннигиляции. ЯФ, т.29, с.144-155, 1979.
- 4.Г.Н.Хачатрян, Ю.Г.Шахназарян. Поляризационные эффекты в инклюзивном процессе $e^+e^- \rightarrow VX$ в модели партонов. Известия АН Арм.ССР, Физика, т.XIV, с.305-316, 1980.
- 5.G.N.Khachatryan and Yu.G.Shakhnazaryan. Polarization Effects in the Inclusive Process $e^+e^- \rightarrow \Delta^+X$ in the Non-Perturbative Parton Model. Nucl.Phys., V.B172, p.435-444, 1980.
- 6.Г.Н.Хачатрян. Поляризация векторного мезона в инклюзивном процессе $e^+e^- \rightarrow VX$ в КХД. ЯФ, т.33, с.1122-1125, 1981.
- 7.Г.Н.Хачатрян. О структурных функциях векторных мезонов в инклюзивном процессе $e^+e^- \rightarrow VX$ в релятивистской кварковой модели. Препринт ЕФИ-485(28)-81.

Тех.редактор А.С.Абрамян

Заказ 028

ВФ - 05056

Тираж 170

Подписано к печати 27.01.82г. Формат издания 60x84/16

Издано Отделом научно-технической информации
Ереванского физического института, Ереван-36, пер.Маркаряна, 2