

H-379

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

2 - 9698

Нгуен Суан Хан

МЕТОД ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ
В КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ ПОЛЯ
И НЕКОТОРЫЕ ЗАДАЧИ
ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РАССЕЯНИЯ

Специальность 01.04.02 - теоретическая
и математическая физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1976

Работа выполнена на физическом факультете Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова

Научный руководитель -
доктор физико-математических наук Б.М.БАРБАШОВ

Официальные оппоненты -
доктор физико-математических наук А.В.ВФРЕМОВ,
доктор физико-математических наук И.В.АНДРЕЕВ.

Ведущее научно-исследовательское учреждение -
Институт математики СО АН СССР г. Новосибирск.

Автореферат разослан " " 1976 года
Защита диссертации состоится " " 1976 года
на заседании специализированного Ученого совета Лаборатории
теоретической физики.

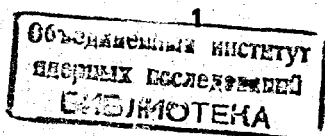
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Ученый секретарь Совета

В.И.ЖУРАВЛЕВ

В связи с описанием взаимодействия адронов при высоких энергиях большое внимание уделяется разработке приближенных методов решения уравнений квантовой теории поля, не опирающихся на разложение по константе связи. Одним из таких методов является метод функционального интегрирования, который впервые был предложен Фейнманом.

В рамках функционального интегрирования развиты приближенные подходы, которые успешно применяются к различным задачам квантовой теории поля. Для исследования инфракрасных особенностей рассеяния Е.С.Фрадким и Б.М.Барбашовым были предложены методы аппроксимации функциональных интегралов для функции Грина в этой области. Эту аппроксимацию часто называют приближением $k_i k_j = 0$, потому что после взятия в таком приближении функциональных квадратур, в квантовой функции распространения частицы отсутствуют члены типа $k_i k_j$, где k_i - импульс обменного кванта. Приближенные методы оказались эффективными и для исследования асимптотического поведения амплитуд рассеяния в квантовой теории поля в области высоких энергий и фиксированной передачи импульса. С помощью фейнмановской интерпретации амплитуды рассеяния как интеграла по траекториям сталкивающихся частиц в работах Б.М.БАРБАШОВА с сотрудниками было сформулировано приближение прямолинейных путей. Один из важнейших результатов этих работ состоит в том, что сумма всех диаграмм лестничного и кросслестничного типов асимптотически приводит к эйкональному представлению амплитуды рассеяния, которое впервые было получено в нереля-



тивистской квантовой механике и сейчас широко используется для анализа экспериментальных данных.

Настоящая диссертация посвящена дальнейшему развитию и применению функционального метода к исследованию высокоэнергетических процессов упругого и неупругого рассеяния и аннигиляции в рамках некоторых моделей квантовой теории поля.

Диссертация состоит из введения, трех глав и четырех приложений.

Во введении дается краткий обзор основных результатов, полученных с помощью функционального метода в квантовой теории поля.

В первой главе исследуется высокоэнергетическое рассеяние скалярной частицы во внешнем гравитационном поле и роль аномального магнитного момента рассеивающихся частиц в квантовой теории поля.

В § I предлагается простой способ представления функции Грина скалярной частицы во внешнем гравитационном поле $G_{\mu\nu}(x)$ в замкнутом виде с помощью функционального интеграла. Этот прием основан на применении в функциональном пространстве преобразования Вейерштрасса для того, чтобы переход от T -экспоненты к обычному операторному выражению (распутывание операторов по терминологии Фейнмана) можно было выполнить без разложения в ряд. Аналогичный метод был ранее применен Барбашовым при формальном решении уравнений Клейна-Гордона и Дирака в произвольном внешнем поле.

В § 2 на основе замкнутого выражения для функции Грина скалярной частицы во внешнем поле, полученного в предыдущем параграфе, найдено выражение для амплитуды потенциального рассеяния в виде функционального интеграла. Далее получена эйко-

нальная формула для амплитуды рассеяния скалярной частицы на тензорном потенциале. В качестве примера подробно рассмотрен потенциал Ньютона. Сравнение полученных автором результатов с результатами работы В.Н.Первушина, где рассматривалось рассеяние скалярной частицы векторным потенциалом, позволяет заключить, что

$$\frac{\sigma_{\text{вр.}}}{\sigma_{\text{век.}}} \sim \frac{\kappa^2 M^2}{e^2} p_0^2,$$

где κ - гравитационная постоянная, M - масса, создающая потенциал, p_0 - энергия рассеиваемой частицы. Это означает, что тензорный характер гравитационного поля приводит к более быстрому росту сечения по сравнению с ростом сечения при рассеянии на векторном потенциале. Исследовались полюса по энергии эйкональной амплитуды, что позволило найти энергетические уровни частицы в ньютоновском потенциале. Этот прием дал возможность вычислить основной энергетический уровень системы двух нейтральных частиц, взаимодействующих друг с другом с помощью классического гравитационного поля.

В § 3 в неперенормируемой квантовой теории поля для амплитуды "пикон-нуклонного" и "нуклон-нуклонного" рассеяния в асимптотической области $s \rightarrow \infty$, $|t| \ll s$ получены представления эйконального типа с учетом аномального магнитного момента нуклонов. При этом аномальный магнитный момент приводит к дополнительным слагаемым в амплитуде, которые описывают перевороты спина частиц в процессе рассеяния. Показано, что проблема перенормировки в асимптотике $s \rightarrow \infty$ в эйкональном приближении не возникает, так как неперенормируемые расходимости в этом приближении не дают вклад в амплитуду рассеяния.

В качестве приложения полученной эйкональной формулы рассмотрена кулоновская интерференция при рассеянии заряженных адронов и найдена формула для разности фаз, которая является обобщением формулы Бете в рамках релятивистской квантовой теории поля.

Вторая глава диссертации посвящена выводу эйкональной формулы для амплитуды рассеяния с участием составных частиц в локальной квантовой теории поля. Для описания составных частиц в локальной теории поля используется формализм, предложенный Циммерманом, Нишиджимой и другими. В этой главе развит метод построения амплитуды рассеяния с участием составных частиц при помощи функционального интегрирования в теоретико-полевой модели нейтральных "нуклонов" (поле Ψ^0), взаимодействующих со скалярным мезонным полем $\phi(x)$: $\mathcal{L}_{int} = g^2 \Psi^0(x) \phi(x)$

В § 2 рассмотрено рассеяние частицы поля $\Psi(x)$ (нуклона) на составной частице (дейтроне). Дейтрон описывается локальным лоренц-инвариантным оператором $B(x)$, который выражается через поле нуклонов $\Psi(x)$ следующим образом:

$$B(x) = \lim_{\xi \rightarrow 0} \frac{T[\Psi(x+\xi) \Psi(x-\xi)]}{Z_c^{1/2}(\xi)}, \quad (I)$$

где $Z_c(\xi)$ - константа перенормировки связанного состояния, имеющая размерность e^{-2} . Переходом на массовую поверхность в редуцированной формуле найдено выражение для амплитуды "нуклон-дейтронного" рассеяния в виде функционального интеграла. Следует отметить, что в нашем подходе удается перейти на массовую поверхность по внешним импульсам дейтрона, а не по импульсам составляющих его нуклонов, что делалось в некоторых предшествующих работах.

В § 3 исследуется высокоэнергетическое поведение найденной амплитуды рассеяния элементарной частицы на составной. В области высоких энергий это выражение переходит в глауберовское представление амплитуды рассеяния на слабосвязанной системе, тем самым найдено квантово-полевое обоснование феноменологической формулы Глаубера. В конце параграфа обсуждаются возможные обобщения предложенного подхода.

В третьей главе рассматриваются процессы множественного рождения в приближении тормозного излучения в модели скалярной электродинамики

$$\mathcal{L}_{int} = -ig \Psi^* \vec{\partial}_\mu \Psi A^\mu + g^2 \Psi^* \Psi A_\mu A^\mu.$$

Скалярные кванты поля Ψ^i условно называются нуклонами, а векторные частицы поля $A_\mu(x)$ - мезонами. Здесь исследуются два вопроса: инклюзивное сечение и аннигиляция e^+e^- в адроны. При этом предполагается, что механизм рождения мезонов носит характер тормозного излучения. Эффекты, связанные с поляризацией вакуума, считаются несущественными.

В § 2 методом функционального интегрирования исследована инклюзивная реакция $a+b \rightarrow c+\dots$, где a и b - сталкивающиеся нуклоны, c - детектируемый мезон. Полученное выражение для инклюзивного сечения согласуется с гипотезой об автомодельном поведении высокоэнергетических процессов. Иначе говоря, оно не зависит от высокоэнергетических переменных s, t, u и M^2 , а является функцией только x и K_{1c}^2

$$f(K_{1c}^2, x) = \sigma_{tot}(\infty) \frac{g^2 K_{1c}^2 x^2}{[K_{1c}^2 + M^2]^2} \exp\{-const \langle K_{1c}^2 \rangle\}^{(2)}$$

Из формулы (2) видно, что при $x \rightarrow 0$ инклюзивное сечение (2) исчезает. Следовательно, рассмотренный механизм рождения вторичных частиц не дает вклада в центральной области. Этот факт физически легко понять. В системе центра масс сталкивающихся нуклонов тормозные мезоны летят вперед и назад ($x \neq 0$) и практически не вылетают в перпендикулярном направлении ($x = 0$). Таким образом, простой механизм тормозного рождения вторичных частиц не может описывать инклюзивные процессы в области понижения.

В § 3 структурные функции для инклюзивной аннигиляции $e^+e^- \rightarrow \bar{p} + \dots$ вычислены методом функционального интегрирования. В диссертации показано, что в бьеркеновском пределе масштабно-инвариантное поведение $\gamma \bar{W}_2$ нарушено логарифмической зависимостью от асимптотической переменной

$$\frac{\gamma}{m} \bar{W}_2(\nu, \omega) = g^2 \mathcal{P}(\omega) \left[1 - \frac{2}{\omega} \left(1 - \frac{1}{\omega} \right) \right] \left[4 \left(\frac{1}{\omega} - 1 \right) \right]^{\frac{g^2 G_2 / 22}{2x} / \frac{22}{m}} (3)$$

Структурная функция \bar{W}_2 в приближении тормозного излучения стремится к нулю. Далее обсуждается область применимости механизма тормозного излучения к данной задаче.

В заключение следует отметить, что результаты диссертации свидетельствуют о том, что метод функционального интегрирования представляет собой удобный и эффективный подход к исследованию высокоэнергетических процессов в квантовой теории поля. Преимуществом этого метода по сравнению с расчетом по теории возмущений является возможность исследовать в замкнутой форме сумму того или иного класса диаграмм без разложения в ряд по константе связи. В функциональном подходе удается использовать

наглядные способы аппроксимации интегралов по траекториям в различных кинематических областях.

В приложении А для корректного вычисления амплитуды рассеяния проведена регуляризация сингулярной δ -функции, которая появлялась из-за неперенормируемости взаимодействия.

В приложении Б рассмотрен переход от Т-экспоненты к обычному выражению, т.е. проведено "распутывание" дираковских матриц по терминологии Фейнмана.

В приложении В методом функционального интегрирования вычислена константа перенормировки связанного состояния Z_c .

В приложении Г построена амплитуда рассеяния двух нуклонов a и b в присутствии внешнего классического поля $A_\mu(x)$: $T(p_1, p_2; q_1, q_2 / A_{ext})$.

Основные результаты, вошедшие в диссертацию, докладывались на семинарах в Лаборатории теоретической физики ОИЯИ, и опубликованы в следующих работах:

1. Нгуен Суан Хан. Препринт ОИЯИ P2-8570. Дубна (1975).
2. Нгуен Суан Хан, В.Н.Первушин. Препринт ОИЯИ P2-9355. Дубна (1975). ТМФ, том 28 (1976).
3. Нгуен Суан Хан, В.Н.Первушин. Препринт ОИЯИ. P2-9356. Дубна (1975). ТМФ, том 28 (1976).
4. Нгуен Суан Хан, В.В.Нестеренко. ТМФ 24, 195-205 (1975). Препринт ОИЯИ P2-8258, Дубна (1974).
5. Нгуен Суан Хан, В.В.Нестеренко. ТМФ 27, 48-54 (1976). Препринт ОИЯИ P2-8906, Дубна (1975).
6. Нгуен Суан Хан, В.В.Нестеренко. Препринт ОИЯИ P2-9381, Дубна (1975).

Рукопись поступила в издательский отдел
8 апреля 1976 года.