

2-545

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2 - 11225

ЧЕТЫРКИН

Константин Григорьевич

ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЧЕЛЛЕНА-ЛЕМАНА
И ЙОСТА-ЛЕМАНА-ДАЙСОНА
И ИХ ПРИМЕНЕНИЯ К ИЗУЧЕНИЮ
ГЛУБОКОНЕУПРУГИХ ЛЕПТОН-АДРОННЫХ РЕАКЦИЙ

Специальность 01.04.02 - теоретическая
и математическая физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1978

Работа выполнена в Отделе теоретической физики Института ядерных исследований АН СССР.

Научный руководитель:

академик АН ГрССР

доктор физико-математических наук

профессор

А. Н. Тавхелидзе,

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук

старший научный сотрудник

А. Т. Филиппов,

кандидат физико-математических наук

младший научный сотрудник

Б. И. Завьялов.

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Институт физики высоких энергий, г. Серпухов.

Автореферат разослан " " _____ 1978 года

Защита диссертации состоится " " _____ 1978 года

на заседании Специализированного ученого 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 Совета

кандидат физико-математических наук

В. И. Дуравлев

Общая характеристика работы.

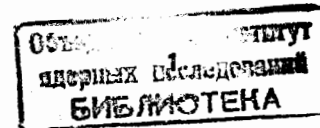
Актуальность проблемы. В последние несколько лет автомодельное поведение формфакторов глубоконеупругих лептон-адронных процессов стало предметом всестороннего экспериментального и теоретического изучения. В результате этих исследований оказалось, что быстро движущийся адрон во многих отношениях ведет себя как коллинеарный пучок квазисвободных элементарных составляющих - партонов, взаимодействующих точечным образом с электромагнитным и слабым лептонными токами.

С другой стороны, во всех известных до недавнего времени лагранжевых теориях поля взаимодействие росло при переходе к малым расстояниям, что исключало возможность естественного объяснения явления автомодельности в их рамках.

Все эти факты обусловили большой интерес к исследованию автомодельного поведения лептон-адронных реакций на основе подходов, не использующих теорию возмущений и базирующихся только на общих принципах квантовой теории поля. Одним из таких подходов является применение представлений для различных функций, встречающихся в квантовой теории поля: матричных элементов Т-произведения, коммутаторов, запаздывающих коммутаторов и т.д.

Как известно, представления Челлена-Лемана /Ч-Л/ и Йоста-Лемана-Дайсона /Й-Л-Д/ выражают наиболее общие свойства этих функций, следующие из постулатов пуанкаре-инвариантности, причинности, спектральности и положительности метрики.

В работах Н.Н.Боголюбова, В.С.Владимирова, А.Н.Тавхелидзе /1/ автомодельное поведение процесса глубоконеупругого eN -рассеяния было исследовано на основе представления Й-Л-Д. В частности,



ими была доказана непротиворечивость явления автомодельности общим принципам локальной квантовой теории поля, сформулированы ограничения на спектральные плотности представления Й-Л-Д, обеспечивающие автомодельное поведение соответствующих формфакторов.

Настоящая диссертация посвящена дальнейшему развитию и применению в конкретных задачах подхода, основанного на использовании представления Й-Л-Д. Кроме того, в диссертации уделено большое внимание исследованию процесса e^+e^- -аннигиляции в адроны в рамках асимптотически свободных теорий поля и теорий поля с аномальными размерностями. Проблема асимптотического поведения полного сечения $\sigma(e^+e^- \rightarrow \text{адроны}) = \sigma(S)$ приобрела в последнее время особенно большое значение, поскольку согласно партонной модели оно непосредственно связано с числом и электрическими зарядами фундаментальных составляющих адрона - кварков. Как показано в диссертации, использование представления Челлена-Лемана позволяет получить строгие ограничения на поведение $\sigma(S)$ на основе известного в асимптотически свободных теориях поля поведения адронной функции вакуумной поляризации $\Pi(q^2)$ при $q^2 \rightarrow -\infty$.

В диссертации рассмотрена также весьма важная, как с теоретической точки зрения, так и при сравнении теории с экспериментом, задача учета предасимптотических поправок на массу тяжелого s -кварка к асимптотическому поведению $\sigma(S)$.

Целью работы являлось исследование представлений Й-Л-Д и Ч-Л и их применение к изучению глубоконеупругих лептон-адронных реакций вида $e + N \rightarrow e + \dots$, $e^+e^- \rightarrow \text{адроны}$.

Научная новизна и практическая ценность. В диссертации предложен новый подход к исследованию асимптотических свойств представления Ч-Л, основанный на использовании методов функционального анализа. Применение этого подхода позволило впервые получить яв-

ные ограничения в форме конечноэнергетических правил сумм на поведение полного сечения процесса e^+e^- -аннигиляции в адроны в рамках асимптотически свободных теорий поля и теорий поля с аномальными размерностями.

Новым вкладом является построение представления вида Й-Л-Д для формфакторов глубоконеупругого eN -рассеяния в приближении строго безмассового нуклона. Полученное представление оказалось полезным при изучении ограничений на явный вид формфакторов, следующих из предположения о конформной инвариантности^{/2/}.

Впервые строго доказана сходимость представления Й-Л-Д для Т-произведений без вычитаний, если спектральная плотность соответствующего представления для коммутатора $\psi(\bar{u}, \lambda^2)$ имеет отрицательный порядок квазипредела по λ^2 при $\lambda^2 \rightarrow -\infty$. Предложен новый способ построения спектральной плотности представления Дезера-Гильберта-Сударшана для формфакторов реакции $eN \rightarrow e + \dots$ на основе коэффициентных функций разложения Вильсона Т-произведения адронных электромагнитных токов.

Следующие результаты выдвигаются для защиты.

I. Доказательство взаимно-однозначного соответствия между асимптотикой пропагатора в пространственно-подобной области и поведением при больших m^2 спектральной плотности $\rho(m^2)$ соответствующего представления Челлена-Лемана. Эквивалентность масштабнo-инвариантного поведения на малых расстояниях s -числовой части коммутатора адронного электромагнитного тока и асимптотического постоянства при больших S функции

$$s^{-1} \int_{4m^2}^s R(s') ds', \quad R(s) = \frac{\sigma(e^+e^- \rightarrow \text{адроны})}{\sigma(e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-)}$$

2. Ограничения на поведение $R(s)$, являющиеся необходимыми и достаточными условиями асимптотического поведения адронной функции вакуумной поляризации $\Pi(q^2)$ при $q^2 \ll 0$, предсказываемого асимптотически свободными теориями поля. Ограничения на поведение $R(s)$, достаточные для справедливости предсказаний теории поля с аномальными размерностями о поведении $\Pi(q^2)$ в пространственно-подобной области.

3. Конечнo-энергетические правила сумм для $R(s)$. Сравнение правил сумм с экспериментом.

4. Представление Йоста-Лемана-Дайсона для формфакторов реакции $e + N \rightarrow e + \dots$ в приближении безмассового нуклона. Теорема о минимально необходимом числе вычитаний в представлении Йоста-Лемана-Дайсона для хронологического произведения. Доказательство возможности выбора причинных формфакторов для процесса неупругого рассеяния поляризованного электрона на поляризованном нуклоне.

5. Вывод автомодельного поведения формфакторов в рамках квазипотенциального подхода в переменных светового фронта. Метод нахождения весовой функции представления Дезера-Гильберта-Сударшана на основе коэффициентных функций разложения Вильсона операторного произведения $T(J_\mu(x) J_\nu(0))$. Вывод о существенном нарушении условия спектральности для формфакторов, найденных в приближении ζ -скейлинга.

Апробация работы. Результаты диссертации докладывались на сессиях ОЯФ АН СССР в 1975-1976 годах, Международных конференциях "Нейтрино-77" и "Адронная структура-77" /Чехословакия/, семинарах Отдела теоретической физики ИЯИ АН СССР.

Публикации. По результатам диссертации опубликовано семь статей.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав основного содержания, заключения и трех приложений, содержит 131 страницу машинописного текста, 3 рисунка и библиографический список литературы из 84 названий.

Содержание работы.

Диссертация начинается с введения, целью которого является, во-первых, рассмотрение основных применений представления Ч-Л и Й-Л-Д к изучению глубоконеупругого лептон-адронного рассеяния, во-вторых, краткий обзор содержания работы.

В главе I исследуются асимптотические свойства двухточечной функции Грина /пропатора/. Находятся необходимые и достаточные условия существования обобщенно-степенной асимптотики пропатора в терминах свойств спектральной плотности соответствующего представления Ч-Л. Доказано взаимно-однозначное соответствие обобщенно-степенной асимптотики пропатора ведущей особенности вакуумного среднего коммутатора поля вблизи светового конуса. Полученные результаты применяются для изучения асимптотического поведения полного сечения процесса $e^+e^- \rightarrow$ адроны.

В §I изучается связь между асимптотикой пропатора нейтрального скалярного поля $G(-p^2)$ в пространственно-подобной области вида

$$G(s) = s^{\alpha-1} \varphi(s) + o(s^{\alpha-1} \varphi(s)), \quad (I)$$

$0 \leq \alpha < 1$, $\varphi(s) = a \ln^{\alpha_1} s \ln^{\alpha_2} \ln s \dots$ и поведением при больших m^2 спектральной плотности $\rho(m^2)$ в соответствующем представлении Ч-Л

$$G(-p^2) = \int_0^\infty \frac{\rho(m^2) dm^2}{m^2 - p^2 - i\varepsilon}$$

С помощью методов функционального анализа и В-преобразования Завьялова^{/3/} доказывается, что существование асимптотики пропагатора вида (I) эквивалентно условию

$$W - \lim_{k \rightarrow \infty} \rho(kS) / (k^{\alpha-1} \varphi(k)) = \\ = (\Gamma(1-\alpha))^{-1} \frac{d}{ds} \left[\theta(s) \frac{s^\alpha}{\Gamma(\alpha+1)} \right],$$

или в x-пространстве

$$\langle 0 | [\hat{\psi}(x), \hat{\psi}(0)] | 0 \rangle \stackrel{x^2 \approx 0}{=} 0$$

$$\frac{\varepsilon(x^0)}{2\pi i} 4^\alpha (\Gamma(1-\alpha))^{-2} \frac{d}{dx^2} \left[\theta(x^2) (x^2)^{-\alpha} \varphi\left(\frac{1}{x^2}\right) \right].$$

В §2 рассматривается поведение сечения e^+e^- -аннигиляции в адроны в теориях, обладающих масштабной инвариантностью на малых расстояниях. Найдено, что каноническая /т.е. такая же, как в свободной теории/ структура сингулярности вакуумного среднего коммутатора адронного электромагнитного тока

$$\langle 0 | [J_\mu(x), J_\nu(0)] | 0 \rangle \stackrel{x^2 \approx 0}{=} 0$$

$$(\partial_\mu \partial_\nu - \square g_{\mu\nu}) \varepsilon(x^0) \frac{\alpha}{6i\pi^3} \delta'(x^2),$$

$$\alpha = \sum_{i=1}^N Q_i^2, \quad J_\mu(x) = \sum_{i=1}^N Q_i \bar{\Psi}_i(x) \gamma_\mu \Psi_i(x)$$

эквивалентна асимптотическому равенству сумме квадратов зарядов фундаментальных составляющих не самого отношения $R(s)$, а усредненной величины

$$s^{-1} \int_{4m^2}^s R(s') ds'$$

Подчеркивается, что это условие не исключает присутствия в $R(s)$ осциллирующей компоненты, неубывающей в пределе больших s .

§3 посвящен выводу строгих ограничений на поведение $R(s)$ в рамках асимптотически свободных теорий и теорий поля с аномальными размерностями. На основе ранее полученных результатов найдены правила сумм,

$$s^{-1} \int_{4m^2}^s R(s') ds' \stackrel{s \rightarrow \infty}{=} a + o(1),$$

$$\int_{4m^2}^s R(s') \frac{ds'}{s'} \stackrel{s \rightarrow \infty}{=} a \ln s + b \ln \ln s + \dots d + o(1),$$

выполнение которых необходимо и достаточно для справедливости асимптотических разложений для $\Pi(-s)$ вида

$$\frac{d\Pi}{ds}(-s) \stackrel{s \rightarrow \infty}{=} -\frac{a}{s} + o\left(\frac{1}{s}\right),$$

$$\Pi(-s) \stackrel{s \rightarrow \infty}{=} a \ln s + b \ln \ln s + \dots d + o(1),$$

предсказываемых в асимптотически свободных теориях поля^{/4-6/}.

Доказаны весьма общие достаточные условия, гарантирующие выполнение ограничений на поведение $\Pi(-s)$, известных в теориях поля с аномальными размерностями.

Глава II диссертации посвящена применениям представления И-Л-Д к изучению лептон-адронных реакций в автомодельном пределе.

В §4, носящем обзорный характер, излагаются кинематика реакции $e + N \rightarrow e + \dots$ и ограничения на соответствующие формфакторы, следующие из общих принципов квантовой теории поля. Доказывается возможность выбора причинных формфакторов для процесса инклюзивного рассеяния поляризованного электрона на поляризован-

ном нуклоне.

§5 содержит вывод и обсуждение представления вида И-Л-Д для формфакторов процесса инклюзивного рассеяния γ -кванта на безмассовом нуклоне. Приближение, в котором масса нуклона полагается строго равной нулю, естественно, возникает при нахождении следствий предположения о конформной инвариантности теории при высоких энергиях^{/2/}. Полученное представление близко по форме к представлению Дезера-Гильберта-Сударшана /Д-Г-С/ и имеет вид:

$$\tilde{F}_i(x, p) = \sum_{0 \leq m \leq N} (x^2)^m \int_0^1 D(x, \lambda^2) h_i^m(xp, \lambda^2) d\lambda^2,$$

$$h_i^m(xp, \lambda^2) = \frac{1}{2\pi} \int_{-1}^1 e^{i(xp)\alpha} \varphi_i^m(\alpha, \lambda^2) d\alpha,$$

/здесь $\tilde{F}_i(x, p)$ - структурные функции в x -представлении/.

В предположении отсутствия в теории размерных констант найден точный вид весовых функций этого представления.

В §6 исследуется вопрос о зависимости числа вычитаний в представлении Йоста-Лемана-Дайсона для среднего по одночастичному состоянию Т-произведения локальных токов от асимптотического поведения соответствующей спектральной функции $\Psi(\vec{u}, \lambda^2)$. Доказано, что минимально необходимое число вычитаний N_{min} в общем случае равняется

$$N_{min} = \max \{ [\alpha] + 1, 0 \},$$

где α - порядок квазипредела функции $\Psi(\vec{u}, \lambda^2)$ по λ^2 при $\lambda^2 \rightarrow \infty$, $[\alpha]$ - целая часть α , т.е. наибольшее целое число, не превосходящее α .

Глава III диссертации посвящена выводу, в рамках квантовой хромодинамики, правил сумм при конечной энергии /ПСКЭ/ для $R(s)$. Полученные правила сумм применяются для сравнения предсказаний

различных многокварковых моделей с экспериментом.

В §7 из известного в квантовой хромодинамике поведения функции $\frac{d\Pi}{ds}(-s)$ при $s \rightarrow \infty$ получено правило сумм

$$s^{-1} \int_{4m^2}^s R(s') ds' \underset{s \rightarrow \infty}{=} \alpha + \frac{\beta}{\ln(\frac{s}{\Lambda^2})} + o\left(\frac{\beta}{\ln(\frac{s}{\Lambda^2})}\right), \quad (2)$$

справедливое в пределе $m_q^2 \ll s$. Сравнение ПСКЭ (2) с экспериментальными данными позволило выделить три кварковые модели, способные описать поведение $R(s)$ в области $s \gtrsim 40 \text{ ГэВ}^2$ (в предположении существования тяжелого заряженного лептона τ с массой $m_\tau = 1,9 \text{ ГэВ}/c^2$):

A. $N = 4, Q_2 = Q_3 = -1/3, Q_1 = Q_4 = 2/3;$

B. $N = 5, Q_2 = Q_3 = Q_5 = -1/3, Q_1 = Q_4 = 2/3;$

B. $N = 6, Q_2 = Q_3 = Q_5 = Q_6 = -1/3, Q_1 = Q_4 = 2/3$

/N - число валентных кварков, Q_i - заряд кварка i -й валентности/.

В §9 на основе предсказываемого квантовой хромодинамикой поведения функции $\Pi(q^2)$ в комплексной области $q^2 = s + i\Delta, \Delta \gtrsim \Delta_0$, $\Delta_0 = 3 \text{ ГэВ}^2$ ^{/8/} выведены ПСКЭ, учитывающие массы кварков:

$$\int_{4m^2}^s R(s') s'^n ds' \approx \int_{0}^s R(s') s'^n ds', \quad (3)$$

$n = 0, +1, +2, \dots$

$$\int_{s_0}^s R(s') s'^k ds' \approx \int_{s_0}^s R_{\text{теор}}(s') s'^k ds'. \quad (4)$$

$k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$

Здесь $R_{\text{теор}}$ обозначает результат вычислений по теории возмущений в квантовой хромодинамике вплоть до первого порядка по эффективной кварк-глюонной константе связи α_s включительно^{/8/}:

$$R_{\text{теор}}(s') = \frac{3}{2} \sum_i Q_i^2 (3 - v_i^2) v_i \left(1 + \frac{4}{3} \alpha_s f(v_i)\right),$$

$$V_i = \left(1 - \frac{4m_i^2}{S}\right)^{1/2}, \quad f(V) = \frac{\pi}{2V} - \frac{3+V}{4} \left(\frac{\pi}{2} - \frac{3}{4\pi}\right),$$

$$\mathcal{L}_S = 12\pi / \left[33 \ln\left(\frac{S}{\Lambda^2}\right) - 2 \sum_i \ln\left(\frac{S + 5m_i^2}{\Lambda^2 + 5m_i^2}\right) \right],$$

m_i — масса кварка i -й валентности, определяемая, в рамках теории возмущений, положением полюса соответствующего пропагатора. Показано, что относительная ошибка, связанная с неприменимостью пертурбационных расчетов в области $\sqrt{m_i^2} < \Delta_0$, по порядку величины равна /с точностью до возможных логарифмических факторов/ $\frac{\Delta_0}{\pi S}$ для ПСКЭ (3) и $\frac{\Delta_0}{\pi(S - S_0)}$ для ПСКЭ (4). Отметим, что ПСКЭ (3) впервые рассматривались в работах /9,10/ на основе аналогии с дуальными правилами сумм для сильных взаимодействий /II/, в квантовой хромодинамике ПСКЭ (3) при $n = 1$ использовались в работах /12,13/ для нахождения параметра Λ , определяющего масштаб кварк-глюонного взаимодействия.

§9 содержит обсуждение различных частных случаев правил сумм (3), (4) и сравнение ПСКЭ (4) с экспериментальными данными. Найдено, что для модели А ПСКЭ (4) удовлетворительно согласуются с экспериментом. Наилучшее описание экспериментальных данных дается пятикварковой моделью Б. /В обоих случаях сравнение производилось при $|K| < 10$, $S_0 = 9 \text{ ГэВ}^2$, $S = 60 \text{ ГэВ}^2$; вклад от рождения пары $\tau^+ \tau^-$ учитывался добавлением соответствующего члена в выражение для $R_{\text{теор}}$ /. Конкретные значения масс 4-го и 5-го кварков, приводящие к наилучшему согласию ПСКЭ (4) с экспериментом, весьма чувствительны к неопределенности в выборе параметра Λ .

В главе IV исследуется непротиворечивость т.н. "приближения ζ -скейлинга" /14/ для формфакторов глубоко неупругого $e N$ -рас-

сеяния общим принципам квантовой теории поля.

В §10 рассматриваются ведущее автомодельное поведение процесса $e + N \rightarrow e + \dots$ и предасимптотические поправки к нему порядка $\left(\frac{m_N^2}{Q^2}\right)^n$ с помощью квазипотенциального подхода в переменных светового фронта /15/.

В §11 предлагается новый метод построения спектральной плотности в представлении Д-Г-С для структурных функций

$$\tilde{F}_1(x, P) = \frac{1}{8\pi} \sum_z \langle P, z | [J_\mu(x), J^\mu(0)] | P, z \rangle,$$

$$\tilde{F}_2(x, P) = \frac{1}{8\pi} \sum_z \langle P, z | [J_\mu(x), J_\nu(0)] | P, z \rangle P^\mu P^\nu.$$

Метод основан на использовании разложения Вильсона для матричного элемента $\sum_z \langle P, z | i T (J_\mu(x) J_\nu(0)) | P, z \rangle$.

В следующем параграфе с помощью результатов §11 находится явный вид спектральных плотностей представления Д-Г-С для формфакторов $F_{1,2}(q, P)$, найденных в приближении ζ -скейлинга. Получено, что приближение ζ -скейлинга существенно нарушает условие спектральности, то есть при попытке учета этого условия путем введения обрезанных Θ -функций вводятся поправки того же порядка, что и учитываемые при выводе приближения.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертации.

Приложения 1, 2, 3 содержат доказательства некоторых математических теорем, использованных в диссертации.

Основные результаты, полученные в диссертации.

I. Установлено взаимно-однозначное соответствие между асимптотикой пропагатора в пространственно-подобной области; поведением при больших m^2 спектральной плотности соответствующего представ-

ления Ч-Д; структурой сингулярности вакуумного среднего коммутатора вблизи светового конуса. Доказано, что масштабно-инвариантное поведение на малых расстояниях с-числовой части коммутатора адронного электромагнитного тока эквивалентно асимптотическому постоянству не отношения $R(S)$, а усредненной величины

$$S^{-1} \int_{4m_{\pi}^2}^S R(S') dS'$$

2. Предложен новый метод изучения связи между поведением функции адронной вакуумной поляризации $\Pi(q^2)$ при $q^2 \ll 0$, которое известно для асимптотически свободных теорий поля и теорий с аномальными размерностями, и асимптотическим поведением сечения e^+e^- -аннигиляции в адроны при больших S . Найдены ограничения на поведение $R(S)$, которые, в случае асимптотически свободных теорий поля, являются необходимыми и достаточными условиями наличия предсказываемого этими теориями асимптотического поведения $\Pi(q^2)$ при $q^2 \ll 0$.

3. Выведены конечноэнергетические правила сумм для $R(S)$, основанные на известном в квантовой хромодинамике поведении функции $\Pi(q^2)$ в комплексной области значений аргумента q^2 . Проведено сравнение полученных правил сумм с экспериментальными данными. Найдено, что стандартная четырехкварковая модель удовлетворительно согласуется с экспериментом /с учетом вклада тяжелого τ -лептона/. Наилучшее описание экспериментальных результатов дается пятикварковой моделью с $Q_5 = -1/3$.

4. Получено представление И-Л-Д для формфакторов, описывающих процесс $e + N \rightarrow e + \dots$ в приближении отсутствия в теории размерных констант, найден точный вид весовых функций этого представления. Исследован вопрос о минимально необходимом числе вычитаний N_{min} для амплитуды рассеяния вперед виртуального

γ -кванта на нуклоне в зависимости от асимптотического поведения спектральной функции $\Psi(\bar{u}, \lambda^2)$ соответствующего представления И-Л-Д. Найдено, что $N_{min} = \max\{\lfloor \alpha \rfloor + 1, 0\}$, где α - порядок квазипредела $\Psi(\bar{u}, \lambda^2)$ по λ^2 при $\lambda^2 \rightarrow \infty$. Доказана возможность выбора причинных формфакторов для глубоко-неупругого процесса рассеяния поляризованных электронов на поляризованных нуклонах.

5. Показано, что квазипотенциальный подход в переменных светового фронта приводит в импульсном приближении к результатам партонной модели для формфакторов, описывающих процесс глубоко-неупругого eN -рассеяния. Предложен новый метод нахождения весовой функции представления Д-Г-С на основе использования разложения Вильсона для операторного произведения $T(J_{\mu}(x) J_{\nu}(0))$. Исследована согласованность формфакторов глубоко-неупругого eN -рассеяния, найденных в приближении ζ -скейлинга, с общими принципами квантовой теории поля. Найдено, что в этом приближении существенно нарушается условие спектральности.

Результаты диссертации опубликованы в работах:

- Э.Вицорек, Б.Дерфель, Н.В.Красников, В.А.Матвеев, Д.Робашик, К.Г.Четыркин. ТМФ, 20, 308, 1974.
- Н.В.Красников, К.Г.Четыркин. ОИЯИ, P2-8749, Дубна, 1975.
- Н.В.Красников, К.Г.Четыркин. Известия ВУЗов, Физика, вып.7, 39 1976.
- Н.В.Красников, К.Г.Четыркин. Вест. Моск. ун-та. Сер. III, физ., астр., 6, 738 1976.
- Н.В.Красников, Г.Мотц, К.Г.Четыркин. ОИЯИ, P2-9813, 1976.
- K.G.Chetyrkin, N.V.Krasnikov. Nucl. Phys., B119, 174 (1977).

В.А.Кузьмин, А.Н.Тавхелидзе, К.Г.Четыркин. Письма в ЖЭТФ, 25,
456 1977.

Литература

1. Н.Н.Боголюбов, В.С.Владимиров, А.Н.Тавхелидзе. ТМФ, 12, 3,
12, 305 (1973).
2. Э.Вицорек, В.А.Матвеев, Д.Робашик, А.Н.Тавхелидзе. ТМФ, 22,
3 (1975).
3. Б.И.Завьялов. ТМФ, 17, 178 1973 ; 19, 163 (1974).
4. T.Appelquist, H.Georgi. Phys. Rev., D8, 4000 (1973).
5. A.Zee. Phys. Rev., D8, 4038 (1973).
6. S.L.Adler. Phys. Rev., D10, 3714 (1974).
7. M.Perl. Talk at the X11 Rencontre de Moriond, 1977.
8. E.S.Poggio, H.R.Quinn, S.Weinberg. Phys.Rev., D13, 1958(1976).
9. С.Б.Герасимов. Труды Международного семинара по векторным
мезонам и электромагнитным взаимодействиям. Дубна (1969),
стр. 367.
10. I.I.Sakurai. Phys. Lett., 46B, 207 (1973).
11. A.A.Logunov, L.D.Solovjev, A.N.Tavkhelidze. Phys. Lett.,
B24, 181 (1967).
12. R.Shankar. Phys. Rev., 15D, 755 (1977).
13. R.G.Moorhose, M.R.Pennington, G.G.Ross. Nucl. Phys., B124,
285 (1977).
14. H.Georgi, H.D.Politzer. Phys. Rev., 14D, 1829 (1976).
15. В.Р.Гарсеванишвили, А.Н.Квинихидзе, В.А.Матвеев,
А.Н.Тавхелидзе, Р.Н.Фаустов, ТМФ, 23, 310 (1975)

Рукопись поступила в издательский отдел
3 января 1978 года.