

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

К 703

2-87-413

УДК 530.145

КОРЧЕМСКИЙ
Григорий Петрович

ИНФРАКРАСНЫЕ АСИМПТОТИКИ
ПЕРТУРБАТИВНОЙ КВАНТОВОЙ ХРОМОДИНАМИКИ

Специальность: 01.04.02 - теоретическая
и математическая физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 1987

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований

Научные руководители:

кандидат физико-математических наук А.В. РАДЮШКИН
кандидат физико-математических наук С.В. ИВАНОВ

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук А.Н. ВАСИЛЬЕВ
кандидат физико-математических наук А.В. СМИЛГА

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Институт ядерных исследований АН СССР, Москва

Автореферат разослан "___" _____ 1987 г.

Защита диссертации состоится "___" _____ 1987 г. на заседании специализированного совета К 047.01.01 Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна, Московской области.

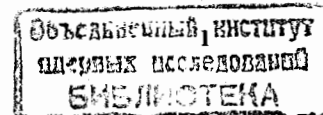
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Объединенного института ядерных исследований.

Ученый секретарь специализированного совета

кандидат физико-математических наук А.В. ДОРОХОВ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность тем. Одна из важных задач современной физики элементарных частиц состоит в построении теории сильного взаимодействия. В настоящее время общепризнано, что претендентом на роль такой теории является квантовая хромодинамика (КХД) – неабелева калибровочная теория взаимодействующих цветных кварков и глюонов. КХД обладает замечательным свойством – асимптотической свободой, заключающимся в том, что эффективная константа связи логарифмически уменьшается на малых расстояниях взаимодействия, стремясь к нулю в пределе бесконечно больших передач импульсов. Это свойство КХД позволяет надеяться на применимость теории возмущений при описании адронных процессов с большой передачей импульса (жестких процессов). Однако в любом жестком процессе взаимодействие частиц происходит не только на малых, но и на больших расстояниях, где теория возмущения неприменима. Поэтому успешное использование пертурбативной КХД для расчета амплитуд и сечений жестких процессов возможно только при условии, что эффекты, обусловленные динамикой на малых расстояниях, могут быть отделены от эффектов, связанных с динамикой на больших расстояниях. При таком разделении эффектов (факторизации) часть амплитуды, определяемая малыми расстояниями, может быть вычислена по теории возмущений, а вклад больших расстояний учитывается феноменологически через введение, например, волновых или структурных функций адронов. Глубоко неупругое рассеяние было первым жестким процессом, успешно описанным в КХД. Факторизация больших и малых расстояний в сечении этого процесса устанавливалась с помощью операторных разложений. Однако методы, основанные на операторных разложениях, оказались неприменимыми к большинству других жестких процессов. Дальнейшие успехи пертурбативной КХД связаны с разработкой общего подхода к анализу произвольных жестких процессов, основанного на исследовании асимптотик фейнмановских интегралов. Указанный подход позволяет устанавливать выполнение факторизации вкладов больших и малых расстояний для каждого конкретного жесткого процесса. Для большинства жестких процессов доказательство факторизации осложняется необходимостью изучения подпроцессов, содержащих мягкие глюоны. Вклад таких подпроцессов в каждую отдельную диаграмму содержит инфракрасные особенности, разрушающие факторизацию больших и малых расстояний. Ожидается, что при суммировании по всем диаграммам инфракрасные особенности сократятся и факторизация восстановится. При этом возможно, что оставшаяся после сокращения ин-



фрактальных расходимостей конечная часть нарушит универсальность вклада больших расстояний, т.е. независимость волновой функции и функции распределения адрона от остальных адронов, участвующих в жестком процессе. Окончательное решение этих и некоторых других вопросов связано с необходимостью более детального исследования инфракрасных асимптотик пертурбативной КХД.

Цель работы - разработка метода исследования инфракрасных асимптотик в пертурбативной квантовой хромодинамике на основе построения процедуры выделения инфракрасных особенностей из амплитуд жестких процессов и функций Грина.

Научная новизна работы. В диссертации введен новый класс калибровочных условий - контурных калибровок, свободных от грибовских неоднозначностей.

Сформулирован алгоритм факторизации инфракрасных особенностей из амплитуд жестких процессов и функций Грина. В его основе лежит новый метод суммирования по мягким глюонам, участвующим в мягком подпроцессе. Он позволил выделить все инфракрасные особенности в отдельный инфракрасный множитель $F_{ик}$, имеющий вид контурного функционала

$$F_{ик} \sim \langle 0 | T P \exp \left(i g \int_C dx^\mu \hat{A}_\mu(x) \right) | 0 \rangle.$$

Найден новый метод исследования инфракрасных множителей $F_{ик}$, основанный на установленной связи инфракрасных асимптотик контурных функционалов и свойств перенормировки их ультрафиолетовых особенностей. Определены процедуры вычитания ультрафиолетовых угловых особенностей контурных функционалов. С их помощью доказана перенормированная теорема экспоненциации, позволяющая вычислять $F_{ик}$.

Получены ренормгрупповые уравнения на инфракрасную асимптотику амплитуд процессов и функции Грина. Впервые вычислена входящая в них двухпетлевая угловая аномальная размерность, ее свойства исследованы в высших порядках теории возмущений.

Развитый подход применен к изучению инфракрасных асимптотик кваркового пропагатора и синглетного по цвету кваркового формфактора. С его помощью вычислена полная поправка (К-фактор) к сечению процессов $\gamma\gamma \rightarrow 2jets$, $pp \rightarrow \mu^+\mu^- + X$, $pp \rightarrow \gamma\gamma + X$, обусловленная вкладом мягкого подпроцесса.

Практическая ценность работы. Разработанный в диссертации метод исследования инфракрасных асимптотик может быть применен при изучении вопросов факторизации в жестких адрон-адронных процессах.

Полученные в диссертации результаты могут быть использованы при обработке экспериментальных данных по процессам $\gamma\gamma \rightarrow 2jets$, $pp \rightarrow \mu^+\mu^- + X$, $pp \rightarrow \gamma\gamma + X$.

Предлагаемый подход допускает обобщение на случай изучения инфракрасных асимптотик суперсимметричных теорий.

Еще одна область применения результатов диссертации связана с интенсивно обсуждаемыми в последнее время попытками описания динамики полей Янга-Миллса в терминах контурных функционалов.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 10 работ.

Апробация работы. Основные результаты диссертации докладывались на семинарах Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований (Дубна), Института ядерных исследований АН СССР (Москва), Института теоретической и экспериментальной физики (Москва), на сессии Отделения ядерной физики АН СССР (1986 г.), на международных совещаниях "Кварки-84,86" (Тбилиси, 1984, 1986 гг.), "Ренормгруппа-86" (Дубна, 1986 г.)

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав основного текста, заключения и приложения. Она содержит 139 страниц текста, включающего 15 рисунков, таблицу и список литературы из 120 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обсуждается актуальность вопросов, рассмотренных в диссертации, кратко излагаются содержание работы и полученные результаты. Приводится обзор литературы, имеющей отношение к рассмотренным в диссертации вопросам.

В главе I вводится новый класс калибровочных условий - контурные калибровки, которые особенно удобны при исследовании инфракрасных асимптотик фейнмановских диаграмм. Эта калибровка, в частности, не содержит грибовских неоднозначностей.

Общий вид контурной калибровки:

$$P \exp \left(i g \int_{C_{x_0 x}} dz^\mu \hat{A}_\mu(z) \right) = 1, \quad C_{x_0 x} = (z_\mu(s), 0 \leq s < 1 | z(0) = x_0, z(1) = x)$$

получен в § 2 на основе использования геометрического смысла калибровочного условия, определенного в § 1. Частные случаи контурной калибровки рассмотрены в § 3. В классе контуров $C_{x_0 x}$ с точкой x_0 , не зависящей от x , найдена связь калибровочного потенциала с тензором напряженности:

$$\hat{A}_\mu(x) = \int_{x_0}^x dz^\nu \frac{\partial z^\rho}{\partial x^\mu} F_{\nu\rho}(z).$$

Частным выбором контура интегрирования реализованы три известные калибровки: калибровка Фока-Швингера, гамильтонова калибровка и акси-

альная калибровка $n^k \hat{A}_\mu(x) = 0$. Установлен оператор $\hat{E}_n(x, \infty)$ калибровочного преобразования к аксиальной калибровке

$$\hat{E}_n(x, \infty) = \text{Pexp} \left(ig \int_0^\infty ds n^k \hat{A}_\mu(x + ns) e^{-\epsilon s} \right), \quad \epsilon \rightarrow 0$$

и сформулированы его свойства.

В главе 2 формулируется процедура факторизации инфракрасных особенностей в амплитуде фейнмановских диаграмм. Рассмотрение проводится на примере кваркового синглетного по цвету формфактора и кваркового пропагатора, а в § 5 обобщается на случай жестких процессов.

В § 1 рассмотрены вопросы, связанные с определением кваркового формфактора, пропагатора.

В § 2 на основе анализа фейнмановских интегралов из исходных диаграмм выделены три типа подпроцессов: жесткий, коллинеарный и мягкий, вносящих ведущий вклад в асимптотику амплитуд процессов. Определены импульсы и типы частиц, участвующих в каждом из подпроцессов.

В § 3 использование свойств контурных калибровок позволило провести суммирование по всем коллинеарным глюонам, участвующим в жестком подпроцессе, и по всем мягким глюонам, участвующим в коллинеарных подпроцессах. В первом случае использовалась связь калибровочного потенциала с напряженностью в аксиальной калибровке. Во втором случае коллинеарный подпроцесс \mathcal{J}_p представляется происходящим во внешнем поле мягких глюонов. Для пропагаторов коллинеарных кварков и глюонов во внешнем поле мягких глюонов \hat{A}_μ найдены выражения:

$$S(x, y; A) = \hat{E}_p^+(x, \infty) S_0(x-y) \hat{E}_p(y, \infty) + O\left(\frac{1}{a^2}\right),$$

$$D^{\mu\nu}(x, y; A) = \tilde{E}_p^+(x, \infty) D_0^{\mu\nu}(x-y) \tilde{E}_p(y, \infty) + O\left(\frac{1}{a^2}\right),$$

отличающиеся от свободных пропагаторов инфракрасными множителями, которые сокращаются друг с другом во внутренних вершинах коллинеарного подпроцесса. Единственными несократившимися остаются множители $\hat{E}_p^+(x, \infty) \hat{E}_p(y, \infty)$ на концах x и y внешних кварковых линий подпроцесса \mathcal{J}_p , содержащие всю инфракрасную асимптотику \mathcal{J}_p .

В § 4 получены выражения для кваркового формфактора и кваркового пропагатора с факторизованными вкладами всех подпроцессов. Вклад мягкого подпроцесса можно представить в виде:

$$F_{ик} \sim \langle 0 | T P \exp \left(ig \int_C d z^k \hat{A}_\mu(z) \right) | 0 \rangle_{ик},$$

где "ИК" указывает на область изменения импульсов мягких глюонов $\hat{A}_\mu(k) : |k_\nu| < \mu$. Контур интегрирования C представляет собой два луча с общим началом и два отрезка с общим началом для кварково-

го формфактора на (и вблизи) массовой поверхности, соответственно, и отрезок для кваркового пропагатора.

В § 5 инфракрасные особенности выделяются из формфактора пиона и из сечения дрелл-яновского процесса. В обоих случаях результатом суммирования по мягким глюонам, участвующим в одном из коллинеарных подпроцессов, явилось появление инфракрасных множителей $\hat{E}_p^+(x, \infty)$ для кварка и $\tilde{E}_p(y, \infty)$ для антикварка, сокращающихся в лидирующей асимптотике (при $x=y$). Отмечено, что сокращение инфракрасных особенностей отсутствует в процессах с цветными связанными состояниями.

Глава 3 посвящена изучению ультрафиолетовых особенностей контурных функционалов $W(C)$:

$$W(C) = \langle 0 | T P \exp \left(ig \int_C d z^k \hat{A}_\mu(z) \right) | 0 \rangle,$$

вошедших в выражение для вклада $F_{ик}$ мягкого подпроцесса в формфактор и пропагатор. Проведенное в этой главе рассмотрение позволяет вычислить $F_{ик}$ в главе 4 после установления связи ультрафиолетовых асимптотик $W(C)$ и инфракрасных асимптотик $F_{ик}$.

В § 1 приведены основные свойства перенормировок особенностей контурных функционалов. Особое внимание в этой главе уделено перенормировкам угловых особенностей $W(C)$, связанных с существованием на C единичного излома.

В § 2 определены процедуры вычитания угловых особенностей K_γ , которые, действуя на $W(C)$, вычитают угловые особенности во всех расходящихся подграфах.

В § 3 доказана перенормированная теорема экспоненциации, позволяющая находить перенормированные контурные функционалы $W(C)$, ограничиваясь вычислением вклада $\tilde{W}(C) (= \ell_n W(C))$ диаграмм с максимально неабелевыми цветовыми весами. Показано, что угловая аномальная размерность, соответствующая угловым особенностям $W(C)$, при разложении в ряд теории возмущений имеет максимально неабелевые цветовые веса.

Двухпетлевое вычисление $W(C)$ для контура C - двух лучей с общим началом и углом излома γ , проведено в § 4,5. Найдено выражение для двухпетлевой аномальной размерности:

$$\begin{aligned} \Gamma_{асп}(\gamma, g) = & \frac{\alpha_s}{\pi} C_F (\gamma \text{cth} \gamma - 1) + \left(\frac{\alpha_s}{\pi}\right)^2 C_F N \left[\frac{1}{2} + \left(\frac{67}{36} - \frac{\pi^2}{24}\right) (\gamma \text{cth} \gamma - 1) \right. \\ & - \text{cth} \gamma \int_0^\gamma d\phi \phi \text{cth} \phi + \text{cth}^2 \gamma \int_0^\gamma d\phi \phi (\gamma - \phi) \text{cth} \phi \\ & \left. - \frac{\text{sh} 2\gamma}{2} \int_0^\gamma d\phi \frac{\phi \text{cth} \phi - 1}{\text{sh}^2 \gamma - \text{sh}^2 \phi} \ell_n \frac{\text{sh} \phi}{\text{sh} \phi} \right]. \end{aligned}$$

В § 6 исследованы асимптотики $\Gamma_{cusp}(\gamma, g)$ в пределе больших и малых углов излома контура γ . В первом случае получена оценка:

$$\Gamma_{cusp}(\gamma, g) = \gamma \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{\alpha_s}{\pi}\right)^n c_n a_n + O(\gamma^0),$$

где c_n - максимально небелевы цветовые веса, a_n - числовые коэффициенты.

В § 7 анализируется аналитичность выражения для $\Gamma_{cusp}(\gamma, g)$ по углу излома γ .

В главе 4 на примере кваркового формфактора и кваркового пропагатора устанавливается связь между инфракрасной асимптотикой амплитуд пертурбативной КХД и свойствами перенормировок контурных функционалов. На основе этой связи вычисляются вклады мягких подпроцессов F_{uk} в факторизованные амплитуды формфактора и пропагатора и формулируются ренормгрупповые уравнения на их инфракрасную асимптотику.

В § 1 изучена зависимость инфракрасных сомножителей F_{uk} от размерных величин. Проведенное рассмотрение позволило снять верхнее ограничение на величину импульсов глюонов $|k_\gamma| < \mu$ в выражении для F_{uk} . При этом в F_{uk} появляются ультрафиолетовые расходимости, устраняемые процедурой вычитания K_γ . Зависимость F_{uk} от ренормпараметра отождествляется с зависимостью исходного выражения для F_{uk} от μ^2 -параметра разбиения мягкого подпроцесса.

В § 2 проведена перенормировка инфракрасных сомножителей и получены ренормгрупповые уравнения на их зависимость от μ^2 :

$$\left(\mu \frac{\partial}{\partial \mu} + \beta(g) \frac{\partial}{\partial g} + I \Gamma_{cusp}(\gamma, g) + N \Gamma_{end}(g)\right) F_{uk} = 0,$$

где I, N - число изломов и концевых точек на контуре C в выражении для F_{uk} , $\Gamma_{end}(g)$ - концевая аномальная размерность.

Граничные условия для этих уравнений и их решения установлены в § 3.

В § 4 с учетом явного вида вклада мягкого подпроцесса найдены уравнения на инфракрасную асимптотику кваркового пропагатора и кваркового формфактора:

$$\frac{d \ln F}{d \ln(p^2 m^2)} = I \Gamma_{cusp}(\gamma, g(1/2)) + N \Gamma_{end}(g(1/2)),$$

где L - эффективная длина контура C в выражении для F_{uk} , $p^2 m^2$ - виртуальность внешних импульсов.

В § 5 на примере квантовой электродинамики проведена проверка полученных соотношений.

Глава 5 посвящена вычислению больших (~100%) радиационных поправок к сечению процессов $\gamma\gamma \rightarrow 2jets, pp \rightarrow \mu^+\mu^- + X, pp \rightarrow \gamma\gamma + X$, обусловленных вкладом в сечение инфракрасного режима виртуальных и тормозных глюонов. Важность такого расчета, как отмечено в §1, обусловлена необходимостью суммирования всего ряда теории возмущений для получения осмысленного предсказания пертурбативной КХД.

В § 2 вычислена большая однопетлевая поправка $\sim \frac{\alpha_s}{2\pi} C_F \pi^2$ к борновскому сечению процесса $\gamma\gamma \rightarrow 2jets$, вносимая виртуальными и тормозными мягкими глюонами.

В § 3 двухпетлевым расчетом указано на возможность экспоненцирования больших поправок, вносимых виртуальными мягкими глюонами, и на относительную малость поправок, вносимых тормозными глюонами, к сечению процесса $\gamma\gamma \rightarrow 2jets$.

В § 4 указано на связь больших радиационных поправок с величиной времениподобного судаковского формфактора, для которого получено выражение:

$$F(\alpha_s(Q^2), \frac{Q^2}{\Lambda^2}) = F(\alpha_s(Q^2), 1) \exp\left\{\int_{\Lambda^2}^{Q^2} \frac{dt}{t} T(\alpha_s(t)) - \frac{1}{2} \int_{\Lambda^2}^{Q^2} \frac{dt}{t} \Gamma_{cusp}(\gamma(t), g(t))\right\}, \text{ch } \gamma(t) = \frac{Q^2}{t} \\ - F(\alpha_s(Q^2), 1) \exp\left\{\int_{\Lambda^2}^{Q^2} \frac{dt}{t} T(\alpha_s(t)) - \frac{i}{2} \int_{\Lambda^2}^{Q^2} \frac{dt}{t} \ln \frac{Q^2}{t} \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{\alpha_s(t)}{\pi}\right)^n c_n a_n\right\}.$$

В § 5 на основе этой связи найдена величина полной поправки к сечению процесса $\gamma\gamma \rightarrow 2jets$:

$$\frac{d\sigma}{dt} = K(s) \frac{d\sigma^{(борн)}}{dt}, \quad K(s) = \exp\left(\frac{\alpha_s(s)}{2\pi} C_F \pi^2\right) - \frac{\alpha_s(s)}{2\pi} C_F \frac{\pi^2}{3} + O\left(\left(\frac{\alpha_s}{\pi}\right)^2 \pi^2\right)$$

и к сечению дрелл-яновского процесса $pp \rightarrow \mu^+\mu^-(Q^2) + X$:

$$\frac{d\sigma}{dQ^2} = K(Q^2) \frac{d\sigma^{(борн)}}{dQ^2}, \quad K(Q^2) = \exp\left(\frac{\alpha_s(Q^2)}{2\pi} C_F \pi^2\right) + O\left(\left(\frac{\alpha_s}{\pi}\right)^2 \pi^2\right).$$

Вычисленные значения К-факторов значительно улучшили согласие предсказаний КХД с экспериментом.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертации.

В приложении определены и вычислены пропагаторы кварка, глюона во внешнем поле мягких глюонов.

Основные результаты, полученные в диссертации:

1. Развита общий подход к определению инфракрасной асимптотики жестких процессов и функций Грина в пертурбативной квантовой хромодинамике, основанный на использовании свойств перенормировок контурных функционалов и свойств контурных калибровок.

2. Введен класс калибровочных условий - контурных калибровок, свободных от грибовских неоднозначностей. Установлено, что три широкоизвестные "бездуховые" калибровки (аксиальная, гамильтонова, Фока-Швингера) являются частным случаем контурной калибровки.

3. Показано, что инфракрасные особенности выделяются из амплитуд жестких процессов и функций Грина в инфракрасные множители, имеющие вид контурных функционалов - вакуумных средних от упорядоченных вдоль определенных контуров экспонент.

4. Установлено, что имеется взаимнооднозначное соответствие между ультрафиолетовыми и инфракрасными сингулярностями контурных функционалов, вошедших в выражения для инфракрасных множителей. На его основе доказана применимость методов ренормализационной группы к изучению инфракрасных асимптотик. Аномальная размерность найденных ренормурований совпала с линейной комбинацией угловой и концевой аномальных размерностей контурных функционалов.

5. Построены процедуры вычитания ультрафиолетовых угловых особенностей в контурных функционалах. Доказана перенормированная теорема экспоненциации, позволяющая находить угловую аномальную размерность.

6. Вычислена двухпетлевая угловая аномальная размерность, найдена ее асимптотика в высших порядках теории возмущений и исследованы свойства аналитичности.

7. С помощью развитых методов найдены инфракрасные асимптотики кваркового пропагатора и синглетного по цвету кваркового формфактора в различной кинематике.

8. Найдено значение К-фактора в процессах $\gamma\gamma \rightarrow 2jets$, $pp \rightarrow \gamma\gamma + X$. В области экспериментально доступных энергий $K \approx 2$.

Результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Ефремов А.В., Иванов С.В., Корчемский Г.П. К-фактор в двухфотонном рождении адронных струй.- ЯФ, 1984, т. 39, в. 4, сс. 1559-1568 (Препринт ОИЯИ P2-83-336, Дубна, 1983, 14 с.).
2. Иванов С.В., Корчемский Г.П. КХД-поправки к процессу $p\bar{p} \rightarrow \gamma\gamma + X$. - Известия вузов. Физика, 1985, т. 28, в. 1, сс. 82-87.
3. Иванов С.В., Корчемский Г.П. Непертурбативный подход к квантованию неабелевых полей.- Материалы семинара "Кварки-84", т. 2, сс. 30-34, м., ИЯИ АН СССР, 1985.
4. Ivanov S.V., Korchemsky G.P. Some supplements of nonperturbative gauges.- Phys. Lett. B, 1985, v. 154, n. 2,3, pp. 197-201.
5. Иванов С.В., Корчемский Г.П., Радюшкин А.В. Инфракрасная асимптотика пертурбативной КХД. Контурные калибровки.- ЯФ, 1986, т. 44, в. 1, сс. 230-240 (JINR, preprint E2-85-595, Dubna, 1985, p. 15).
6. Korchemsky G.P., Radyushkin A.V. Loop- space formalism and renormalization group for the infrared asymptotics of QCD.- Phys.Lett. B, 1986, v. 171, n. 4, pp. 459-467. (Препринт ОИЯИ P2-85-7I6, Дубна, 1985, с. 14). (Формализм контурных средних и ренормгруппа для инфракрасных асимптотик в КХД).
7. Корчемский Г.П., Радюшкин А.В. Инфракрасная асимптотика пертурбативной КХД. Кварковый и глюонный пропагаторы.- ЯФ, 1987, т. 45, в. 1, сс. 198-210. (JINR, preprint E2-85-901, Dubna, 1985, p. 16).
8. Корчемский Г.П., Радюшкин А.В. Ренормализационные свойства вильсоновских петель в высших порядках теории возмущений.- ЯФ, 1986, т. 44, в. 5, сс. 1351-1362. (JINR, preprint E2-85-779, Dubna, p.20)
9. Korchemsky G.P., Radyushkin A.V. Renormalization of the Wilson loops beyond the leading order.- Nucl.Phys.B, 1987, v.283, n.1,2, pp. 342-364. (Перенормировки вильсоновских петель в высших порядках теории возмущений.)
10. Корчемский Г.П., Радюшкин А.В. Инфракрасная асимптотика пертурбативной КХД. Вершинные функции.- ЯФ, 1987, т. 45, в. 5, сс. 1466-1478. (JINR, preprint E2-86-293, Dubna, 1986, p. 19).

Рукопись поступила в издательский отдел
11 июня 1987 года.