

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

P2-86-147

Я.З.Дарбаидзе,* В.А.Матвеев, З.В.Меребашвили,*
Л.А.Слепченко*

ТОРМОЗНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ГЛЮОНОВ
В СУПЕРСИММЕТРИЧНОЙ КХД

Направлено в журнал "ТМФ" и в оргкомитет
Международного семинара "Кварки-86", Тбилиси,
апрель 1986 г.

* ИФВЭ ТГУ, Тбилиси

1986

1. Анализ процессов тормозного излучения безмассовых векторных бозонов тесно связан с исследованием инфракрасного поведения в калибровочных теориях поля.

В рамках квантовой электродинамики эта проблема впервые рассматривалась в работе Блоха и Нордсика /1/. Было показано, что в силу равенства нулю массы фотона наблюдаемые характеристики процессов взаимодействия заряженных частиц должны учитывать возможность излучения бесконечно большого числа мягких фотонов /1-4/.

В работе /3/ была дана формулировка проблемы инфракрасных расходимостей в квантовой электродинамике и доказано общее свойство факторизации вкладов излучения мягких фотонов.

Обнаружение глюонных струй /5/ инициировало соответствующие исследования в квантовой хромодинамике /6/.

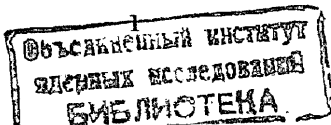
В настоящей работе изучается структура сечений процессов тормозного испускания глюонов в рамках суперсимметричной квантовой хромодинамики (ССКХД). В частности, рассматриваются процессы образования пары скалярных кварков с сопутствующим излучением глюонов в порядке α^3 теории возмущений ССКХД. Показано, что в ультрарелятивистском пределе сечения этих процессов могут быть записаны в виде двух сомножителей, один из которых связан с сечением борновского рассеяния ($2 \rightarrow 2$), а второй представляет собой обобщенный "инфракрасный" фактор глюонного излучения.

Вычисления проведены в рамках $N=1$ суперсимметрии с мультиплетом фермионных и скалярных кварков в фундаментальном представлении калибровочной группы. Мы будем использовать лагранжиан, правила Фейнмана вместе с соответствующими обозначениями, приведенными в работе /7/.

2. Рассмотрим реакцию соударения кварка и антикварка с образованием пары скалярных кварков ($\Phi, \bar{\Phi}$) и глюона (G):

$$q_\alpha(p_1) + \bar{q}_\beta(p_2) \rightarrow \Phi_\alpha(p_3) + \bar{\Phi}_\beta(p_4) + G(k).$$

Здесь $p_1, p_2, p_3, p_4, p_5 = k$ - импульсы частиц, α, β - ароматы фермионных кварков и их скалярных партнеров. Матричный элемент данной реакции представляется суммой двух калибровочно-инвариантных наборов древесных диаграмм с обменом глюона (S - канал) и глиино (t - канал) соответственно. Квадрат матричного элемента первого набора диаграмм в пределе точной $N=1$ суперсимметрии



($\mu = m = 0$ можно представить в следующем виде (скалярные и псевдоскалярные кварки считаются неразличимыми):

S - канал

$$|M|^2 = \frac{g^6}{54} \frac{ut + u_1 t_1}{s s_1} [(P_1 K)(P_2 K)(P_3 K)(P_4 K)]^{-1} \cdot \left\{ 2(s + s_1)[3(tt_1 - ss_1) - 4uu_1] + (u + u_1)[9(tt_1 - uu_1) - 5ss_1] + 8t(su + s_1 u_1) + 8t_1(su_1 + s_1 u) \right\} \delta_{\alpha\beta}, \quad (1)$$

где g - константа сильного взаимодействия,

$$s = (P_1 + P_2)^2, \quad t = (P_1 - P_3)^2, \quad u = (P_1 - P_4)^2,$$

$$s_1 = (P_3 + P_4)^2, \quad t_1 = (P_2 - P_4)^2, \quad u_1 = (P_2 - P_3)^2$$

со связью $s + t + u + s_1 + t_1 + u_1 = 0$.

Данный и последующие результаты получены с использованием методов аналитического программирования /8/ системы REDUCE /9/.

Анализ вкладов других каналов показывает, что полученные сечения можно записать в факторизованном виде:

$$|M_i|^2 = g^2 A_i |M_i^{(0)}(s, s_1, \dots)|^2 \cdot \mathcal{D}^{-1} \cdot I_i, \quad (2)$$

где

$$\mathcal{D} = (P_1 K)(P_2 K)(P_3 K)(P_4 K),$$

индекс i определяет различные каналы реакций. В частности, для случая S - канала процесса $q\bar{q} \rightarrow \Phi\bar{\Phi}G(\alpha=\beta)$ $i=1$ и величины, входящие в выражение (2), определены следующим образом:

$$A_1 = \frac{1}{54}, \quad |M_1^{(0)}|^2 = g^4 \frac{ut + u_1 t_1}{s s_1}, \quad I_1 = 2(s + s_1)[3(tt_1 - ss_1) - 4uu_1] + (u + u_1)[9(tt_1 - uu_1) - 5ss_1] + 8t(su + s_1 u_1) + 8t_1(su_1 + s_1 u). \quad (3)$$

Соответствующие выражения для остальных процессов, рассмотренных в данной работе, представлены в таблице I.

Таблица I

i	A_i	$ M_i^{(0)}/g^2 ^2$	I_i
1 $q\bar{q}(s)$	$\frac{1}{54}$	$\frac{ut + u_1 t_1}{s s_1}$	$2(s + s_1)[3(tt_1 - ss_1) - 4uu_1] + (u + u_1)[9(tt_1 - uu_1) - 5ss_1] + 8t(su + s_1 u_1) + 8t_1(su_1 + s_1 u)$
2 $q\bar{q}(t)$	$\frac{1}{108}$	$\frac{ut + u_1 t_1}{t t_1}$	$2(t + t_1)[3(ss_1 - tt_1) - 4uu_1] + (u + u_1)[9(ss_1 - uu_1) - 5tt_1] + 8t(su + s_1 u_1) + 8t_1(su_1 + s_1 u)$
3 $q\bar{q}$ (ИHT)	$\frac{1}{324}$	$\frac{ut + u_1 t_1}{s s_1 t t_1} \times$ $(s s_1 + t t_1 - u u_1)$	$9(u + u_1)(s s_1 + t t_1 - u u_1) - 2s s_1(t + t_1) - 2t t_1(s + s_1) + 8t(su + s_1 u_1) + 8t_1(su_1 + s_1 u)$
4 $q\bar{q}(t)$	$\frac{1}{108}$	$\frac{ut + u_1 t_1}{t t_1}$	$(t + t_1)[s s_1 - t t_1 - 3uu_1] + (u + u_1)[9(s s_1 - uu_1) + 5tt_1] + 8t(su + s_1 u_1) + 8t_1(su_1 + s_1 u)$
5 $q\bar{q}(u)$	$\frac{1}{108}$	$\frac{ut + u_1 t_1}{u u_1}$	$(u + u_1)[s s_1 - u u_1 - 3tt_1] + (t + t_1)[9(s s_1 - tt_1) + 5uu_1] + 8t(su + s_1 u_1) + 8t_1(su_1 + s_1 u)$

Таблица 2

Необходимо отметить симметрию вкладов двух различных наборов диаграмм с обменом глюона и глюино соответственно, описывающих реакцию $q\bar{q} \rightarrow \Phi\Phi G$, относительно замены переменных $s \leftrightarrow t$ и $s_1 \leftrightarrow t_1$ в "инфракрасном" факторе I . Заметим также, что в сечении реакции $q\bar{q} \rightarrow \Phi\Phi G$ происходит зануление интерференционного вклада t и u -каналов, связанное с симметрией между скалярными и псевдоскалярными кварками.

В пределе мягких глюонов ($\kappa \rightarrow 0$) легко видеть, что множители $|M_i^{(0)}|^2$ переходят в соответствующие выражения для борновских сечений процессов $2 \rightarrow 2$ [17]. Последние, вместе с "инфракрасными" множителями в данном пределе, представлены в таблице 2. Величина \mathcal{D} при этом переходит в

$$\mathcal{D} = \left(\frac{s+t+u}{2} \right)^4.$$

Таким образом, полученные нами выражения (2) аналогичны результату, полученному в абелевой калибровочной теории [3]. Например, для квадрата матричного элемента процесса $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^- \gamma$ имеем [6]

$$|M|^2 = e^2 A |M^{(0)}|^2 \mathcal{D}^{-1} I, \quad (4)$$

где

$$A = \frac{1}{4}, \quad |M^{(0)}|^2 = e^4 \frac{t^2 + t_1^2 + u^2 + u_1^2}{s s_1},$$

$$I = 2 s s_1 (t+t_1) + 2 t t_1 (s+s_1) + u (s t_1 + s_1 t_1) + u_1 (s t_1 + s_1 t_1),$$

$$\mathcal{D} = (P_1 \kappa)(P_2 \kappa)(P_3 \kappa)(P_4 \kappa).$$

В пределе мягких фотонов (4) сводится к виду

$$|M^{(0)}|^2 = e^4 \frac{2(t^2+u^2)}{s^2}, \quad \mathcal{D} = \left(\frac{s+u+t}{2} \right)^4, \quad (5)$$

$$I = 4 s t (s+t+u), \quad A = \frac{1}{4}.$$

Подчеркнем, что выражения, входящие в таблицу 2 для процесса $q\bar{q} \rightarrow \Phi\Phi G$ в ССКХД, могут быть представлены в полностью факторизованной форме:

$$\sigma(2 \rightarrow 3) \sim g^2 I \sigma(2 \rightarrow 2) \quad (6)$$

i	A_i	$ M_i^{(0)}/g^2 ^2$	I_i
1 $q\bar{q}(s)$	$\frac{1}{54}$	$\frac{2ut}{s^2}$	$32 su(s+t+u)$
2 $q\bar{q}(t)$	$\frac{1}{108}$	$\frac{2ut}{t^2}$	$32 tu(s+t+u)$
3 $q\bar{q}$ (ИИТ)	$\frac{1}{324}$	$-\frac{4ut}{st}$	$32 st(s+t+u)$
4 $q\bar{q}(t)$	$\frac{1}{108}$	$\frac{2ut}{t^2}$	$32 ut(s+t+u)$
5 $q\bar{q}(u)$	$\frac{1}{108}$	$\frac{2ut}{u^2}$	$32 ut(s+t+u)$

и, таким образом, в пределе мягких глюонов соответствует результату абелевой калибровочной теории.

3. В заключение отметим, что в выражениях для квадратов матричных элементов отдельных диаграмм реакций $q\bar{q}(q) \rightarrow \Phi\Phi(\Phi)G$ присутствуют кратные (двойные) полюса. Полученные в данной работе сечения, составленные на основе калибровочно-инвариантных наборов диаграмм, содержат только простые полюса. Обнаруженное сокраще-

ние кратных полюсов оказывается существенным для справедливости свойства факторизации сечений. Аналогичный результат в рамках КЭД и КХД был найден в работе /6/.

Авторы выражают благодарность А.Н. Тавхелидзе за интерес к работе и стимулирующие дискуссии, И.С. Авалиани, В.П. Гердту, А.В. Радзихину, А.Н. Сисакяну за полезные обсуждения.

Литература

1. Bloch F., Nordsieck A. Phys. Rev., 1937, v. 52, № 2, 54.
2. Боголюбов Н.Н., Ширков Д.В. Введение в теорию квантованных полей, М., "Наука", 1984.
3. Yennie D.R., Frautschi S.C., Suura H. Ann. Phys., 1961, v.13, 379. Erikson K.E., Nuovo Cim., 1961, v.19, 1010.
4. Соловьев Л.Д. ТМФ, 1974, т. 18, № 1, 3;
Кулиш П.П., Фаддеев Л.Д. ТМФ, 1970, т. 4, № 2, 153.
5. Wiik B.H. Proc. Intern. Neutrino Conf. Bergen, Norway, 1979, v.1, II3.
6. Berends F.A. et al Phys. Lett., 1981, v.103, № 2, 124.
7. Матвеев В.А., Слепченко Л.А. ТМФ, 1984, т. 59, № 2, 224.
Dawson S., Eichten E., Quigg C. Phys. Rev., 1985, D31, No 7, 1581.
8. Меринг Х.Д., Шиллер А. В кн.: Аналитические вычисления на ЭВМ и их применение в теоретической физике, Дубна, ОИЯИ, ДП-80-13, 1980, с.127.
9. Hearn A.C. REDUCE. User's Manual Version 3.0, Rand Corporation, Santa Monica, 1983.

Рукопись поступила в издательский отдел
14 марта 1986 года.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

D17-81-758	Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики, Дубна, 1981.	5 р. 40 к.
P18-82-117	Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981.	3 р. 80 к.
D2-82-568	Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982.	1 р. 75 к.
D9-82-664	Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982.	3 р. 30 к.
D3,4-82-704	Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982.	5 р. 00 к.
D11-83-511	Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982.	2 р. 50 к.
D7-83-644	Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983.	6 р. 55 к.
D2,13-83-689	Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983.	2 р. 00 к.
D13-84-63	Труды XI Международного симпозиума по ядерной электронике. Братислава, Чехословакия, 1983.	4 р. 50 к.
D2-84-366	Труды 7 Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1984.	4 р. 30 к.
D1,2-84-599	Труды VII Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1984.	5 р. 50 к.
D17-84-850	Труды III Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1984. /2 тома/	7 р. 75 к.
D10,11-84-818	Труды V Международного совещания по проблемам математического моделирования, программированию и математическим методам решения физических задач. Дубна, 1983	3 р. 50 к.
	Труды IX Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1984 /2 тома/	13 р. 50 к.
D4-85-851	Труды Международной школы по структуре ядра, Алушта, 1985.	3 р. 75 к.

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований