

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

С 324
У-838

2-5243

Н.И. Усюкина

**ОДНОВРЕМЕННЫЕ КОММУТАТОРЫ ТОКОВ
И ДИНАМИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ**

Специальность 041 - теоретическая физика

Автореферат диссертации на соискание учёной
степени кандидата физико-математических наук

Дубна 1970

Работа выполнена в Математическом институте им. В.А.Стеклова и Объединенном институте ядерных исследований.

Официальные оппоненты:
доктор физико-математических наук, профессор Л.Д. Соловьев,
кандидат физико-математических наук А.В. Ефремов

Ведущее научно-исследовательское учреждение: Московский государственный университет

Автореферат разослан " " 1970 года
Защита диссертации состоится " " 1970 года
на заседании Ученого совета Лаборатории теоретической физики ОИЯИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Учёный секретарь Совета

Р.А. Асанов

2-5243

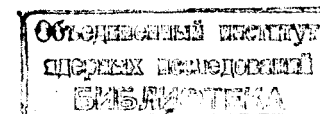
Н.И. Усюкина

**ОДНОВРЕМЕННЫЕ КОММУТАТОРЫ ТОКОВ
И ДИНАМИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ**

Специальность 041 - теоретическая физика

Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук

7071/69



В последние годы мы являемся свидетелями чрезвычайно повышенного интереса к теоретико-полевым аспектам операторов токов. Токи – естественный динамический объект в дисперсионном подходе Н.Н. Боголюбова ^{/1/}, в рамках которого Б.В. Медведев и М.К. Поливанов ^{/2/} развили динамическую схему, основанную на соотношениях между токами. Эта схема весьма удобна для учета динамики и в проблемах симметрии, связанных с алгебрами токов. Успехи и популярность алгебры токов, ^{/3/} давшей возможность получить ряд правил сумм и низкоэнергетических теорем для величин, характеризующих элементарные частицы, стимулировали более детальное изучение одновременных коммутаторов токов.

В первоначальном варианте формализма алгебры токов одновременные коммутаторы по существу постулировались в их простейшей форме, отвечающей отсутствию взаимодействия. При этом предполагалось, что учёт взаимодействия несущественным образом изменит одновременные коммутаторы.

Между тем хорошо известны примеры ^{/4,5/}, когда нетривиальность теории требует включения добавочных неканонических членов (например, известных швингеровских членов ^{/4/}) в одновременные коммутаторы токов. Более или менее очевидно, что характер этих неканонических членов определяется динамикой теории. Тем не менее изучение динамического содержания одновременных коммутаторов токов, обсуждение проблем совместности положений алгебры токов с общими принципами квантовой теории поля представляют самостоятельный интерес. При этом недостаток информации о динамическом содержании одновременных коммутаторов токов может быть восполнен обращением к теории возмущений.

В конструктивных подходах к квантовой теории поля (например, в лагранжевом подходе ^{/1/}) токи, определяемые как генераторы некоторой группы внутренней симметрии, как правило, являются билинейными комбинациями Гайзенберговских полей. Корректное определение билинейных комбинаций таких операторнозначных обобщенных функций (см. по этому поводу, например, ^{/2/}), а тем более определение их одновременных коммутаторов - отнюдь не тривиальные моменты.

Исследование одновременных коммутаторов токов - динамического характера неканонических членов, их операторной и изотопической структуры - в рамках теории возмущений является темой реферируемой диссертации.

Итерация уравнений Янга-Фельдмана в теории возмущений приводит к разложению операторов токов и соответственно их коммутаторов в ряд по нормальным произведениям асимптотических полей с явно заданными в различных порядках теории возмущений коэффициентными функциями. Коэффициентные функции коммутаторов токов, соответствующие учёту более чем одного промежуточного состояния, представляют собой произведение обобщенных функций. Переход к одновременному пределу в таких произведениях - весьма нетривиальная операция, при выполнении которой требуется известная аккуратность. Для получения правильного результата следует либо воспользоваться различными рецептурными приемами с введением предварительной регуляризации, которая снимается после выполнения перехода к равным временам (например, рецептом Швингера "раздвижки" в токе ^{/4/} или рецептом Джонсона-Лоу ^{/8/}), либо обратиться к естественному с точки зрения аппарата теории обобщенных функций методу исследования одновременных коммутаторов токов при помощи спектральных и интегральных представлений. Построение спектральных представлений Челлена-Лемана (для вакуумного среднего коммутатора токов) и интегральных представлений типа Йоста-Лемана-Дайсона (для более сложных матричных элементов) в теории возмущений состоит как раз в корректном опре-

делении произведения обобщенных функций. Переход к равным временам в спектральных и интегральных представлениях очевиден.

Первая из указанных возможностей обладает рядом недостатков. Действительно, изменение порядка предельных переходов - снятие регуляризации и переход к равным временам - всегда сомнительно. Кроме того, громоздкость и неестественность вычислительного аппарата являются ощутимым препятствием на пути выявления характерных черт одновременных коммутаторов токов.

Техника интегральных представлений несколько более сложна по сравнению, например, с техникой дисперсионных соотношений для матричных элементов S -матрицы на массовой оболочке, так как число независимых инвариантных переменных увеличивается на две внешние "массы", роль которых играют квадраты импульсных аргументов токов и которые, стало быть, уже не являются фиксированными. В то же время для изучения коммутаторов токов метод интегральных представлений столь же естествен, как и метод дисперсионных соотношений для изучения матричных элементов S -матрицы на массовой оболочке, и достаточно гибок. Кроме того, метод исследования одновременных коммутаторов токов при помощи интегральных представлений сразу приводит к однозначному результату, не зависящему от какой-либо предварительной регуляризации.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах автора ^{/7-10/}.

В первой главе описана постановка задачи и приведен обзор результатов, имеющихся в литературе и близких по теме к предмету диссертации.

Принципиальная важность швингеровских членов в вакуумных средних одновременных коммутаторах токов стимулировала детальное рассмотрение вопроса о швингеровских членах квантовой электродинамики во второй главе.

В связи с написанием определенных правил сумм, выводимых из коммутационных соотношений токов, одним из основных оказался вопрос, существуют или не существуют q -числовые швингеровские члены, иные, чем c -числовой швингеровский член в электродинамике. В третьей и четвертой главах показано, что существуют все возможные типы операторных неканонических членов.

В третьей главе для матричных элементов типа $\langle 0 | [j_1(x), j_2(y)] | p \rangle, \langle p | [j_1(x), j_2(y)] | p \rangle$ в первом порядке теории возмущений записано представлений типа Йоста-Лемана-Дайсона - представление Дезера-Гильберта-Сударшана^{/11/}. Для модели Джонсона-Лоу^{/6/} показано, что при равных временах матричные элементы коммутаторов временных и пространственных компонент векторных токов между вакуумом и одночастичным состоянием и соответствующие матричные элементы коммутаторов временных и пространственных компонент аксиальных токов содержат симметричные по изотопическим индексам неканонические градиентные члены вида $C_1 \partial_1 \delta(x-y) e^{ipx}$, и неканонические члены вида $C_2 p_1 \delta(x-y) e^{ipx}$, обращающиеся в нуль только в результате двойного интегрирования по трехмерным пространствам \vec{x} и \vec{y} .

Для частиц с изоспином 1 (если имеется в виду $SU(2)$ -алгебра) формальная каноническая коммутация в отсутствие взаимодействия^{/12/} приводит к каноническим операторным градиентным членам (симметричным по изотопическим индексам) для коммутаторов временной и пространственной компонент векторных токов и для соответствующих коммутаторов аксиальных токов. В случае коммутаторов временной и пространственной компонент векторных и аксиальных токов, соответственно, простой кварковый результат при отсутствии взаимодействия справедлив для следующей комбинации таких коммутаторов:

$$\frac{1}{2} \delta(x^0 - y^0) \{ [J_\alpha^0(x), \vec{A}_\beta(y)] - [A_\beta^0(x), \vec{J}_\alpha(y)] \} = i \epsilon_{\alpha\beta\delta} \vec{A}_\delta(x) \delta(x-y).$$

Рассмотрение σ -модели^{/13/} в третьей главе показывает, что учёт взаимодействия в первом порядке теории возмущений приводит к появлению неканонических членов с сингулярностью того же характера, что и сингулярность неканонических членов в модели Джонсона-Лоу, и с изотопической структурой, соответствующей изотопической структуре канонических градиентных членов. Указанные неканонические члены присутствуют наряду с операторными каноническими градиентными членами. Подчеркнем, что поскольку используемая техника свободна от неоднозначностей, сам факт появления неканонических членов и их операторная природа не зависят в нашем рассмотрении ни от каких рецептурных приемов.

Нетрудно понять, что изотопическая структура неканонических членов третьей главы является, конечно, отражением динамики изучаемых моделей. Заметим, кроме того, что из общих положений квантовой теории поля не следует ни наличия, ни отсутствия неканонических вкладов в одновременные коммутаторы временных компонент токов.

Пример динамической ситуации, в которой матричные элементы коммутаторов сохраняющихся изовекторных токов содержат антисимметричные по изотопическим индексам неканонические члены, обращающиеся в нуль в результате интегрирования по трехмерному пространству, приведен в четвертой главе. Рассматриваются матричные элементы коммутаторов изовекторных токов между однонуклонными состояниями с нулевой передачей импульса для весьма характерной для теории поля перенормируемой модели во втором порядке теории возмущений.

Кроме неканонических вкладов в матричный элемент коммутатора временной и пространственной компонент токов, имеющих вид

$$\epsilon_{\alpha\beta\delta} \bar{u}(p) \tau_\delta u(p) \sum_{i=1}^3 p_i \frac{\partial}{\partial x_i} \frac{\partial}{\partial x_i} \delta(x-y) A,$$

в этой модели неканонические вклады, антисимметричные по изотопическим индексам, присутствуют и в матричном элементе временных компонент токов:

$$\epsilon_{\alpha\beta\delta} \bar{u}(p) \tau_{\delta} u(p) p_0 (\vec{V})^2 \delta(x-y) \Lambda,$$

и в коммутаторах различных пространственных компонент токов:

$$\epsilon_{\alpha\beta\delta} \bar{u}(p) \tau_{\delta} u(p) p_0 \frac{\partial}{\partial x_i} \frac{\partial}{\partial x_j} \delta(x-y) \Lambda.$$

Постоянная Λ отлична от нуля и в перенормированной, и в неперенормированной теории.

Получив неканонический, антисимметричный по изотопическим индексам вклад в одновременной коммутатор различных пространственных компонент токов, мы тем самым подтверждаем соображения Бучелло, Венециано, Гатто и Окубо^{/5/} о необходимости включения выражений подобного рода в соотношения алгебры токов.

Хотя наличие или отсутствие неканонических членов с той или иной изотопической и операторной структурой целиком определяется спецификой взаимодействия, тем не менее рассмотренные модели весьма типичны для характеристики той ситуации, которая имеет место в квантовой теории поля.

Одна из основных идей алгебры токов состояла в том, чтобы описать нарушение симметрии в динамике сильных взаимодействий, используя одновременные коммутаторы соответствующим образом выбранных зарядов и токов.

Справедливость алгебры зарядов, отвечающих сохраняющимся токам, является прямым следствием закона сохранения тока. В то же время алгебра "обобщенных зарядов", соответствующих несохраняющимся токам, постулируется. Естественно возникает вопрос, может ли алгебра обобщенных зарядов оставаться справедливой в случае произвольного нарушения заданной симметрии или только в очень специальных случаях.

Вопрос о характере динамической компенсации, необходимой для справедливости алгебры обобщенных зарядов, отвечающих несохраняющимся токам, обсуждается в пятой главе. Показывается, что для справедливости алгебры зарядов, соот-

ветствующих несохраняющимся токам, в перенормированной теории необходимо еще потребовать, чтобы ток не сохранялся весьма специальным образом (можно сказать, что несохранение должно быть "слабым" — например, "частичным сохранением"). В противном случае в перенормированной теории не имеет места даже алгебра зарядов.

Таким образом, результаты настоящего исследования показывают, что одновременные коммутаторы билинейных по гайзенберговым полям выражений в сильной мере зависят от динамики взаимодействия. Члены с минимальной сингулярностью в одновременных коммутаторах токов, которые не обращаются в нуль в результате интегрирования по трехмерным пространствам \vec{x} и \vec{y} , вообще не имеют постулированного Гелл-Манном вида в перенормированной теории, если соответствующие токи не удовлетворяют требованию "слабого несохранения". Коммутаторы токов при равных временах содержат неканонические члены с различной изотопической структурой, обращающиеся в нуль в результате интегрирований по пространству. Эти неканонические члены имеют весьма общий характер: они присутствуют в одновременных коммутаторах всех компонент токов, а их операторная и изотопическая структура целиком определяется динамикой взаимодействия.

Л и т е р а т у р а

1. Н.Н. Боголюбов, Д.В. Ширков. Введение в теорию квантованных полей, Гостехиздат (1956). Н.Н. Боголюбов, Б.В. Медведев, М.К. Поливанов. Вопросы теории дисперсионных соотношений, Физматгиз (1957).
2. Б.В. Медведев, М.К. Поливанов. Лекции в международной зимней школе теоретической физики, т. 1, Дубна (1964).
3. H. Gell-Mann. Phys.Rev., 125, 1067 (1962); Physics 1, 63(1964).
4. J. Schwinger. Phys.Rev., Lett., 3, 296 (1959).
5. T. Goto, T. Immamura. Progr.Theor.Phys., 14, 395(1955);

- J. Johnson. Nucl.Phys., 25, 431 (1961); F. Buccella, G. Veneziano, R. Gatto, S. Okubo. Phys.Rev., 149, 1268(1966); I.T. Grodsky, R.F. Streater. Phys.Rev.Lett., 20, 695(1968).
6. K. Johnson, F.E. Low. Suppl. Progr.Theor.Phys.,37-38,74(1966).
7. N.I. Usyukina. Preprint E2-3539, JINR (1967).
8. Н.И. Усюкина. ЯФ 8, 1253 (1968); Препринт ОИЯИ P2-3661, Дубна, 1968.
9. Н.И. Усюкина. Препринт ОИЯИ P2-3827, Дубна, 1968.
10. Н.И. Усюкина. ТМФ 3, 228 (1970).
11. S. Deser, W. Gilbert, E.C. G. Sudarshan. Phys.Rev., 115, 731 (1959), N. Nakanishi. Progr.Theor.Phys., 25, 296(1961).
12. S.L. Adler, C.G. Callan. Preprint CERN, Th 587 (1965).
13. H. Gell-Mann, M. Levy. Nuovo Cim., 16, 715 (1960).

Рукопись поступила в издательский отдел

9 июля 1970 года.