

СОВЕЩАНИЯ И КОНФЕРЕНЦИИ

539.02.01(063)

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ ПОЛЯ

(по материалам IV международного совещания
по нелокальной квантовой теории поля,
Алушта, 21—27 апреля 1976 г.)

М. К. Волков, В. Н. Первушин

За последние годы в физике элементарных частиц явно заметно значительное увеличение интереса к методам и подходам квантовой теории поля. После бурного развития квантовой теории, происходившего в 50-х годах, и последовавшего затем некоторого охлаждения интереса к ней в настоящее время намечается период нового подъема. Изучаются новые весьма перспективные области теории поля, старые проблемы решаются на совершенно ином математическом уровне. Это позволяет уже сейчас получать интересные физические следствия в теоретико-полевом подходе и ожидать еще более значительных открытий в этой области в ближайшем будущем.

В такой ситуации крайне важным представляется организация международных конференций и совещаний для подведения итогов и уяснения дальнейших перспектив развития квантовой теории поля. IV международное совещание по нелокальной квантовой теории поля явилось одной из встреч такого рода, где были подведены итоги развития теории поля за последние три года, прошедшие со времени проведения третьего совещания (Алушта, 1973 г.)¹.

Шесть рабочих дней совещания были посвящены шести наиболее актуальным направлениям квантовой теории поля:

- 1) нелокальные квантовые теории поля;
- 2) киральные теории и гравитация;
- 3) калибровочные и суперсимметричные теории;
- 4) частицеподобные решения в теории поля (солитоны);
- 5) дуально-резонансные модели и модели релятивистской струны;
- 6) кварковые модели протяженных частиц.

Как отметил в своем докладе Д. И. Блохинцев, все эти темы совещания были объединены тремя основными идеями: 1) изучением нелокальных теорий с различных точек зрения; 2) учетом все возрастающей роли динамических симметрий в теории поля; 3) выходом за рамки обычной теории возмущений (существенно-нелинейные поля).

Одной из основных трудностей в квантовых теориях поля является проблема устранения ультрафиолетовых расходимостей. Разрешению этой проблемы в рамках нелокальной квантовой теории поля были посвящены обзорные доклады Г. В. Ефимова и В. Г. Кадышевского с сотрудниками. Г. В. Ефимову удалось построить свободную от ультрафиолетовых расходимостей нелокальную квантовую теорию поля для скалярных полей и для спинорной электродинамики, удовлетворяющую условиям унитарности и причинности. Получены оценки величины элементарной длины, характеризующей степень нелокальности теории. Выяснено, что нелокальные поправки в спинорной электродинамике не играют существенной роли.

Совершенно иной подход к построению нелокальной теории поля был предложен В. Г. Кадышевским совместно с А. Д. Донковым, Р. М. Мир-Касимовым, М. Д. Матеевым. Теория поля была рассмотрена в импульсном пространстве постоянной кривизны. Проведен анализ поведения амплитуды рассеяния при больших передачах импульса. В области сверхвысоких энергий сделан ряд физических предсказаний для однофотонной аннигиляции и глубоконеупругого рассеяния. Исследована проблема калибровочной инвариантности теории.

В докладе В. Я. Файнберга и М. А. Соловьева обсуждались последние результаты исследования локальных свойств функций Грина в теориях с неполиномиальным ростом; показано, что экспоненциальный рост матричных элементов в импульсном пространстве несовместим с микропричинностью теорий.

Обсуждению тех глубоких следствий, к которым приводит учет динамических симметрий в квантовой теории поля, были посвящены следующие два дня совещания. Широкие возможности для интересных физических приложений заключены в квантовой теории поля с кирально-симметричным лагранжианом. Учет динамической симметрии, соответствующей группе $SU(3) \times SU(3)$, при построении лагранжиана взаимодействия адронов позволяет уже в низших порядках теории возмущений корректно описывать сильные, слабые и электромагнитные взаимодействия адронов, несмотря на присутствие сильной константы связи. В докладе М. К. Волкова и В. Н. Первушина в рамках киральной теории поля были описаны различные физические свойства мезонов. Интересные идеи о связи киральных теорий с фазовыми переходами в задаче многих тел развиты французскими физиками (доклад Зинн-Жюстена).

Теория гравитации обсуждалась в докладах Б. Де Витта (Англия), Е. С. Фрадкина, Н. А. Черникова, М. А. Маркова. Де Витт рассмотрел задачу квантования скалярного поля во внешнем гравитационном поле со шварцшильдовской метрикой. Полученные результаты применяются к проблеме рождения пар черными дырами. Е. С. Фрадкин и Г. А. Вилковский произвели каноническое квантование произвольной динамической системы со связями. Полученное ими выражение для S -матрицы в квантовой теории гравитации позволило показать эквивалентность канонической и ковариантной формулировки гравитации. Н. А. Черникову удалось решить предложенные еще Эйнштейном уравнения для коэффициентов связности. Показано, что из равенства нулю вектора кручения следуют уравнения Борна — Инфельда для электромагнитного поля. Об интересной возможности появления нелокальности в квантовой теории гравитации было рассказано М. А. Марковым. Элементарная длина может возникать естественным образом как флуктуация метрики на малых расстояниях, при этом причинность теории в микромире не нарушается.

В теории суперсимметрии уже в настоящее время созданы реалистические модели, позволяющие описывать слабые и электромагнитные взаимодействия в рамках единой схемы. Обсуждению такого рода теорий были посвящены доклады А. А. Славнова, В. И. Огиевского, Я. Лопушаньского, А. А. Славновым предложен новый общий метод спонтанного нарушения суперсимметрии. На его основе построена реалистическая суперсимметричная модель слабых и электромагнитных взаимодействий адронов. В. И. Огиевский и Е. Сокачев обсуждали другие аспекты суперсимметрий. Они показали, что при заданном внешнем спине суперполе приводимо по суперспину и наоборот (теория двойственности). Обсуждалась также проблема связи суперсимметрии и гравитации. Я. Лопушаньски (Польша) рассмотрел различные представления супералгебр в аксиоматическом подходе и конформную супералгебру.

Д. А. Кирижниц и А. Д. Линде представили обзор результатов, касающихся макроскопических воздействий на спонтанно нарушенные симметрии в квантовой теории поля (повышение температуры или плотности, внешние поля или токи).

Одна из интереснейших возможностей объяснения все растущего многообразия мира элементарных частиц связывается в настоящее время с поиском частицеподобных решений в теории поля — солитонов. Л. Д. Фаддеев предложил интересный метод для поиска солитонных решений, не являющихся магнитными монополями. Наличие определенной группы симметрии приводит к существованию токов и зарядов, называемых топологическими. Для стабильного солитона топологический заряд должен отличаться от нуля.

О различных проявлениях солитонов в задачах квантовой теории поля было рассказано в докладе А. М. Полякова. Обсуждалась возможность использования солитонных решений в калибровочных теориях для удержания кварков в ограниченном объеме.

Таким образом, последние достижения в этой области показали, что нелокальные объекты могут быть введены, в принципе, в рамках обычной локальной, но нелинейной теории поля путем точного решения классических уравнений движения.

Одно из возможных проявлений нелокальности дают дуально-резонансные модели, развитие которых было стимулировано в значительной мере динамикой сильных взаимодействий. Принцип дуальности, положенный в основу этих моделей, отражает экспериментально подтверждаемый факт, что сумма резонансов в одном канале равна сумме резонансов в другом канале.

Следствием принципа дуальности является модель адронов в виде нелокального объекта — струны. Спектр масс-квантованной струны отражает классификацию адронов по траекториям Редже, причем длина струны характеризует параметр наклона траектории. Заметим, что модель струны адекватна модели Борна — Инфельда.

(Последняя была исследована в работах Б. М. Барбашова и Н. А. Черникова еще в 1965 г.).

В настоящее время струны в значительной мере исследованы как на классическом, так и на квантовом уровне (обзорный доклад Б. М. Барбашова и В. В. Несстеренко). Вместе с тем выявлены следующие трудности в применении математически самосогласованной модели струны для описания эксперимента:

- 1) существование тахионов в спектре состояний;
- 2) экзотическое число измерений пространства (26, 10), которое допускает математически непротиворечивую схему релятивистского квантования;
- 3) кроме того, проблема унитаризации дуальных амплитуд требует последовательного учета N -петлевых дуальных амплитуд и их регуляризации, т. е. построения «квантовой теории поля» для струн.

Интересная идея устранения тахионов реализуется в работах харьковских теоретиков (доклад Д. В. Волкова с сотрудниками), которые исследуют спонтанные вакуумные переходы с помощью дополнительного введения взаимодействия частицы с вакуумом. Как известно, подобная процедура позволяет избавиться от тахионных состояний в моделях обычной квантовой теории поля. Введение взаимодействия с вакуумом в дуально-резонансную модель образно напоминает помещение атомной системы во внешнее магнитное поле. Последующее расщепление вырожденных уровней энергии свидетельствует о наличии спиновых степеней свободы. Именно такое расщепление траекторий Редже наблюдается в дуальных моделях, что соответствует дополнительной классификации кварковых линий в дуальных диаграммах по $SU(N)$ -группе, $N = 1, 2, 3 \dots$

В интересном обзоре Ж. Шерка (Франция) обсуждалась возможность использования дуальных моделей для построения единых перенормируемых теорий элементарных частиц и их взаимодействий, включая и гравитацию.

В последнее время появилось большое число кварковых моделей, описывающих эксперименты как в области высоких, так и низких энергий. Однако при описании разных энергий вкладывается разный смысл в само понятие кварка. Мы остановимся здесь на структурных и токовых кварках. Обычно первые из них рассматриваются как структурные составляющие адронов. Они используются при описании физики низких энергий в основном в моделях кварковых мешков — адронов (обзорный доклад П. Н. Боголюбова), т. е. протяженных квантовых объектов, внутри которых находятся связанные состояния массивных кварков. Первая подобная модель квазизависимых тяжелых кварков была предложена около 10 лет назад в Дубне (Н. Н. Боголюбов, А. Н. Тавхелидзе и др.). Такие модели удовлетворительно описывают низкоэнергетические характеристики адронов, формфакторы различных взаимодействий, аномальные магнитные моменты и т. д.

Токовые кварки отождествляют с безмассовыми (или почти безмассовыми) партонами и рассматривают в основном в рамках единых теорий поля (типа теории Вайнберга). При этом можно устанавливать различные аналогии между кварками и лептонами, которые могут приводить к осцилляциям нейтрино (доклад С. М. Биленького, Б. М. Понтекорво). Процессы с большой передачей импульса дают прямые указания на составную (партонную) структуру адронов при высоких энергиях (обзорный доклад А. В. Ефремова).

Асимптотическое поведение формфакторов, скейлинг Бьеркена в глубоко-неупругих процессах, поведение сечений при больших передачах импульса (правило кваркового счета В. А. Матвеева, А. Н. Тавхелидзе, Р. М. Мурадяна) и другие данные говорят о том, что кварк-партоновые модели являются достаточно хорошим описанием структуры адронов.

Одна из центральных задач теории кварков — связать два различных способа описания с помощью структурных и токовых кварков. Как было указано в докладе А. Т. Филиппова, данная проблема может быть решена по аналогии с микроскопической теорией сверхпроводимости Бардина, Купера, Шриффера, Боголюбова. В частности, преобразование между токовыми и структурными кварками является частным случаем канонических преобразований Н. Н. Боголюбова. Введение динамического спонтанного нарушения симметрии в кварковую модель может быть тем исходным пунктом, который бы объединил кварковые модели, описывающие низкие и высокие энергии. В настоящее время область исследования динамического спонтанного нарушения симметрий в релятивистских моделях становится все более актуальной и привлекает большое число теоретиков. И. Согами (Япония) использовал кварковую модель для развития идей Юкавы в применении к многокомпонентным системам. В предложенном им формализме вычисляются элементы S -матрицы в адронных процессах.

В работе совещания приняло участие более 120 ученых из 13 стран мира. Характерной чертой совещания явилось широкое обсуждение отдельных наиболее интересных проблем на специальных семинарах, проводимых почти ежедневно после окончания официальной программы дня. Общая оценка совещания была дана рядом участников на заключительном заседании (М. А. Марков, Б. М. Понтекорво, А. М. Балдин

(СССР), А. Ульманн (ГДР), Х. Христов (НРБ), Зинн-Жюстан (Франция)). Было отмечено большое значение этих совещаний для плодотворного обмена идеями в области квантовой теории поля и несомненная полезность периодического их повторения.

Издательский отдел ОИЯИ выпустил сборник трудов IV международного совещания по нелокальной квантовой теории поля, в котором представлено около половины (22 из 48) докладов, прочитанных на совещании². Туда вошли в основном обзоры, упомянутые в этом сообщении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Материалы III международного совещания по нелокальным квантовым теориям поля, Дубна, ОИЯИ, Д2-7164, 1973.
2. Материалы IV международного совещания по нелокальной теории поля, Дубна, ОИЯИ, Д2-9788, 1976.