

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКСОВЕЩАНИЯ И КОНФЕРЕНЦИИ

530.145

**II МЕЖДУНАРОДНОЕ СОВЕЩАНИЕ ПО НЕЛОКАЛЬНОЙ
КВАНТОВОЙ ТЕОРИИ ПОЛЯ
(Азау, 15—24 марта 1970 г.)**

С 15 по 24 марта в Азау (Кабардино-Балкарская АССР) проходило II Международное совещание по нелокальной квантовой теории поля, организованное Объединенным институтом ядерных исследований. В нем приняло участие около восьмидесяти ученых из одиннадцати стран, в числе которых были ученые из восьми стран-участниц ОИЯИ, а также из Италии, Франции и ФРГ. В работе совещания принимали участие крупнейшие ученые Советского Союза из таких институтов, как ФИАН (Москва), ИТЭФ (Москва), ИАЭ (Москва), ИФВЭ (Серпухов), МИАН (Москва), МГУ, ЛГУ, ИТФ (Киев), Харьковский политехнический институт и некоторые другие.

По сравнению с I Международным совещанием по нелокальной квантовой теории поля (Дубна, июль 1967 г.) значительно расширился круг рассматриваемых вопросов. В целом совещание в Азау было посвящено основным проблемам квантовой теории поля: вопросы нелокальной и локальной квантовой теории, существенно нелинейные и неперенормируемые взаимодействия, вопросы киральной симметрии и взаимодействие Янга — Миллса, проблемы функциональных методов в теории поля, обзор последних экспериментальных фактов и ряд других вопросов, касающихся структуры квантовой теории поля.

На совещании было заслушано около пятидесяти докладов, из которых девять были посвящены обзору последних достижений в различных областях квантовой теории поля.

Второе совещание по нелокальной квантовой теории поля открыл председатель Организационного комитета совещания профессор Д. И. Б л о х и н ц е в. В своем вступительном слове он подчеркнул важность этого совещания для общего прогресса теоретической физики и отметил возрастающий интерес к поставленным здесь проблемам, о чем свидетельствует существенное увеличение числа представленных на это совещание докладов по сравнению с предыдущим, состоявшимся в Дубне в 1967 г.

От имени Оргкомитета Д. И. Блохинцев поблагодарил представителей местной власти Кабардино-Балкарской АССР за гостеприимство и помощь в организации совещания.

Во вводном докладе Д. И. Б л о х и н ц е в а (СССР) «Современное состояние нелокальной, и неперенормируемой теории поля» была подчеркнута общность для всех нелокальных теорий тенденции в той или иной форме отказаться в области малых масштабов от закона распространения «сигналов» со скоростью света в пустоте.

В дальнейшем обзор был посвящен в основном работам, выполненным в Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований.

Особо были отмечены направления, связанные с построением нелокальной матрицы рассеяния, удовлетворяющей условиям макроскопической причинности и унитарности, и исследованиям теории поля, описывающим существенно нелинейные взаимодействия. В докладе было указано на работы, выполненные в ЛТФ ОИЯИ, в которых изучается роль гравитации в теории элементарных частиц: проблема квантования в искривленном пространстве и возможное значение гравитации для построения теории частиц без расходимостей.

В докладе были также отмечены исследования по квантованию в искривленном импульсном пространстве.

М. А. М а р к о в (СССР) рассказал о модели протяженной частицы в общей теории относительности, так называемом «фридмоне». Его можно рассматривать как специфический пример модели с формфактором, когда, благодаря изменению метрики, сигнал распространяется со скоростью, меньшей скорости света. В плоском пространстве формфактор, как правило, ведет к появлению сверхсветовых сигналов.

М. А. Марков обратил внимание на то обстоятельство, что в общей теории относительности возникают своеобразные возможности для введения размеров частиц.

Д. Ю. Бардин, С. М. Биленький и Б. М. Понтекорво (СССР) в своем докладе показали, что совокупность существующих экспериментальных исследований в области нейтринной физики не противоречит гипотезе о существовании сильного нейтрин-нейтринного взаимодействия.

Л. Д. Соловьев (СССР) сделал обзор экспериментальных данных при больших энергиях, полученных на ускорителе в Серпухове. В настоящее время эти эксперименты не могут быть использованы для проверки какой-либо определенной теории: они используются для проверки самых общих принципов теории и весьма частных моделей. В докладе затронуты следующие вопросы: проверка дисперсионных соотношений, о постоянстве разностей сечений для мезонов и антимезонов, о возможном росте сечений, полные сечения и комплексные моменты, о радиационных поправках к полным сечениям, сужение дифракционного конуса в протон-протонном расщеплении, о дифференциальных сечениях и поляризаационных характеристиках упругих мезон-нуклонных процессов, о новых частицах, *CPT* и экспериментах с нейтрино и мюонами.

В. А. Петрунькин, С. А. Старцев (СССР) рассмотрели возможность проверки квантовой электродинамики на встречных пучках. Теоретические трудности возникают при учете сильных взаимодействий. Показано, что если принять экспериментальную точность измерения сечений равной 10% и считать достоверным отклонение от теории не менее чем на 20%, то измерение сечений процессов $e^- + e^+ \rightarrow e^- + e^+$ и $e^- + e^+ \rightarrow \mu^- + \mu^+$ при полной энергии в с. ц. м. 7—10 Гэв соответствуют проверке квантовой электродинамики до расстояний 10^{-15} — $6 \cdot 10^{-16}$ см.

В. А. Петрунькин сделал также обзор экспериментальных данных по проверке применимости локальной квантовой электродинамики. Вся совокупность экспериментальных данных согласуется с выводами локальной теории.

Докладом Г. В. Ефимова (СССР) была открыта важная тема совещания — «Нелокальные теории поля». В докладе сделан обзор современного состояния нелокальной квантовой теории поля. За последнее время в нелокальной теории был достигнут определенный прогресс, поставивший нелокальную теорию на уровень строгости, которым мы располагаем в локальной теории. В рамках построения ряда теории возмущений по нелокальному лагранжиану взаимодействия была выявлена связь между требованиями унитарности и причинности *S*-матрицы и допустимым классом формфакторов. Оказалось, что существует достаточно широкий класс формфакторов, с помощью которых можно построить конечную *S*-матрицу, унитарную и макропричинную в каждом порядке теории возмущений.

В рамках аксиоматического подхода оказалось возможным не только сформулировать аксиомы нелокальной теории, основываясь на расширении пространства допустимых обобщенных функций, но и получить все важнейшие результаты аксиоматики: *CPT*-инвариантность, связь спина со статистикой, существование асимптотических соотношений.

М. З. Иоффа и В. Я. Файнберг (СССР) рассказали об аксиоматическом подходе в нелокальной квантовой теории поля. Их подход основан на расширении пространства допустимых обобщенных функций. При этом пространство основных функций содержит только аналитические функции. Оказывается, что в нелокальной теории функции Вайтмана также имеют некоторую область голоморфности, которая содержит точки Йоста. Это позволяет доказать теоремы о *CPT*-инвариантности, связи спина со статистикой, существовании асимптотических состояний и, следовательно, *S*-матрицы.

В докладе Д. И. Блохинцева и Г. И. Колерова (СССР) «Теория возмущений с «cut-off» был описан алгоритм, позволяющий построить последовательные приближения по константе взаимодействия. В основу алгоритма положено введение формфактора, зависящего от полного импульса каждой несвязанной диаграммы Фейнмана. Метод обеспечивает соблюдение условий макроскопической причинности и унитарности матрицы рассеяния.

Н. Н. Мейман (СССР) показал, что если амплитуда $T(s)$ в нелокальной теории в комплексной плоскости s растет не быстрее экспоненты первого порядка роста и в физической области растет медленнее любой линейной экспоненты, то эта амплитуда $T(s) = \exp(-i!^2 s) T_1(s)$, где функция $T_1(s)$ растет медленнее любой линейной экспоненты в верхней полуплоскости.

Г. В. Ефимов и Ш. З. Сельцер (СССР) в теории электромагнитных и слабых взаимодействий ввели гипотезу, что нейтрино является «носителем» нелокальности, что эффективно в теории возмущений и приводит к изменению свободного пропагатора нейтрино. Полученная теория оказывается перенормируемой и градиентно-инвариантной.

Э. Капусцик (Польша) сделал попытку применить методы А. Джаффе, развитые в гильбертовом пространстве состояний при доказательстве существования нетривиальной теории $\lambda\phi^4$ в перенормируемых спинорных теориях.

К. Л. Надь (Венгрия) рассмотрел на простых решаемых моделях теории поля проблему унитарности в связи с предложением Ли и Вика использовать индефинитную метрику при построении электродинамики без ультрафиолетовых расходимостей.

В. Г. Кадышевский (СССР) рассказал о попытке построения квантовой теории поля, исходя из геометрической модификации понятия относительного импульса. Автор исходит из гипотезы, что относительные 4-импульсы в квантовой теории поля принадлежат пространству постоянной кривизны, которое реализуется на пятимерном гиперboloиде:

$$p_0^2 - p_1^2 - p_2^2 - p_3^2 - p_4^2 = -\frac{\hbar^2}{l^2}.$$

Параметр l играет роль фундаментальной длины. Устремляя его к нулю, мы возвращаемся к обычной теории. Автор показывает на примере функций Вайтмана, что формулировка теории поля в терминах неевклидовых относительных импульсов не приводит к модификации понятия суммарного 4-импульса и оставляет в силе закон сохранения этой величины.

В докладе Х. П. Дюрра (ФРГ) обсуждалась проблема унитарности и макропричинности в квантовой теории поля с индефинитной метрикой. Показывается, что введение «духовых состояний» с комплексной массой и определенных правил вычисления сохраняет унитарность и макропричинность теории.

В докладе Б. В. Медведева, В. П. Павлова, А. Д. Суханова (СССР) показано, что в противоположность традиционной точке зрения, между свойствами эрмитовости и локальности лагранжиана взаимодействия, с одной стороны, и свойствами унитарности и причинности матрицы рассеяния, с другой, — нет прямой корреляции. На ряде конкретных моделей теории поля продемонстрировано, что правильную матрицу рассеяния обеспечивает нелокальный или неэрмитов лагранжиан. Такие аномалии имеются и в перенормируемых теориях, за счет контрчленов с производными или производных в затравочном лагранжиане.

Следующая большая тема совещания — «Существенно нелинейные и неперенормируемые взаимодействия» — была открыта обзорным докладом М. К. Волкова (СССР). Был дан обзор методов, используемых в квантовой теории поля со спектральными функциями быстрого роста. К такого рода теориям, описывающим неперенормируемые взаимодействия элементарных частиц, относятся, например, нейтральная псевдоскалярная теория с псевдовекторной связью скалярных и спиновых полей, несохраняющее четность слабое взаимодействие нейтрального векторного мезона со спиновым полем, слабое четырехфермионное взаимодействие, теории с кирально-симметричными лагранжианами и др. При построении матричных элементов рассеяния частиц в таких теориях вместо обычного пропагатора используется некая обобщенная двухточечная функция Грина, учитывающая возможность рождения произвольного числа частиц в каждой вершине. Ее можно назвать суперпропагатором.

Две трудности встречаются при исследовании этого суперпропагатора. Первая из них связана с появлением ультрафиолетовых расходимостей при переходе к импульсному пространству, поскольку в этой функции содержатся полюсы любого порядка в нуле интервала, а в локализуемых взаимодействиях даже имеется существенно особая точка.

Другая трудность является характерной чертой нелокализуемых взаимодействий и заключается в том, что бесконечный ряд по степеням пропагатор свободных частиц, через который выражается суперпропагатор в X -пространстве, не сходится и является асимптотическим рядом.

Основные требования, которым необходимо удовлетворить при решении этих проблем, заключаются в том, чтобы S -матрица окончательной теории была конечной и унитарной. В теориях с локализуемыми взаимодействиями должны выполняться условия микропричинности, в теориях с нелокализуемыми взаимодействиями — условия макропричинности.

Все методы построения суперпропагаторов можно разбить на четыре группы:

1. Определение суперпропагатора в X -пространстве (Г. В. Ефимов, Е. С. Фрадкин, Б. В. Ли и Б. Зумино).
2. Определение суперпропагатора в p -пространстве (М. К. Волков, В. Гютингер).
3. Определение суперпропагатора с помощью решения соответствующих уравнений (Г. Файнберг и А. Пайс, Б. А. Арбузов и А. Т. Филиппов).
4. Определение суперпропагаторов с помощью введения нелокальных факторов (Г. В. Ефимов).

В докладе А. Т. Филиппова (СССР) «Высшие приближения в перенормируемых теориях поля» был сделан краткий обзор методов суммирования диаграмм Фейнмана, используемых для вычисления высших приближений в перенормируемых теориях поля. В качестве модели рассмотрена теория ренормировок для рассеяния на сингулярном потенциале. Результаты этого исследования переносятся в теорию поля в рамках двух методов:

1) суммирование «лестничных» диаграмм; 2) метод, основанный на использовании частных симметрий калибровочного типа и теорем эквивалентности. В обоих случаях удается получить линейные интегральные уравнения для функций Грина, которые в евклидовом импульсном пространстве сводятся к линейным дифференциальным уравнениям с определенными граничными условиями. Решения этих уравнений имеют в перенормируемых теориях точку ветвления по константе связи g при $g = 0$ и существенную особенность по импульсу на бесконечности, что и объясняет полную несостоятельность обычной теории возмущений в этом случае.

Отметим, что методы, основанные на использовании частных симметрий, приводят к тем же результатам, что и методы Окубо, Ефимова, Фрадкина и Волкова. В частности, определения суперпропагатора (т. е. выражений вида $\exp\{\lambda\Delta_F(x)\}$ и т.п.) совпадают.

В докладе Х. Лемана и К. Полмаера (ФРГ) обсуждался пропагатор в теоретико-полевой модели с экспоненциальной связью (так называемый суперпропагатор). Они привели некоторые физические аргументы, подтверждающие выбор суперпропагатора в том виде, как это сделано у М. К. Волкова и других. Они сразу требовали максимальной регулярности от суперпропагатора и доказывали, что динамика модели имеет простейшую из возможных структур при таком частном выборе суперпропагатора.

В докладе Д. И. Блохинцева (СССР) «О квантовании существенно нелинейного поля» рассматривается проблема квантования поля, подчиняющегося уравнению с характеристиками, зависящими от самого поля и его производных. Сначала приводится пример квантования подобной системы с одной степенью свободы. Далее описан метод квантования существенно нелинейного поля типа Борна — Инфельда. Метод основан на введении понятия «эффективной постоянной Планка».

В докладе А. В. Ефремова (СССР) рассматривался пример взаимодействия λ -мезонного поля с δ -образным потенциалом. Эта модель является точно решаемым примером перенормируемой теории. Она иллюстрирует одну из особенностей перенормируемых теорий — произведение прогрессирующего с порядком теории возмущений роста амплитуды рассеяния в убывание ее точного значения.

Е. Райский (Польша) обсуждал появление эффектов типа нелокальности, возникающих при введении в теорию нелинейных лагранжианов вида $L' = \frac{1}{a} \arctg L$.

где L — обычный полный лагранжиан рассматриваемых полей.

В докладе Ф. Кашлуна и Е. Вичорека (ГДР) рассматривались особенности функций Вайтмана при различном асимптотическом поведении спектральных функций. В случае роста спектральной функции типа $\sigma(q^2) = \exp(\alpha q^2)$ применялись методы суммирования Бореля.

М. А. Браун (СССР) отметил ряд трудностей, встречающихся в неполиномиальной квантовой теории поля, но, к сожалению, не указал какой-либо позитивной программы к их преодолению.

Очередная тема совещания — «физические симметрии в квантовой теории поля» — была открыта обзорным докладом Д. В. Волкова (СССР) «Геометрический подход к методу феноменологических лагранжианов». Метод феноменологических лагранжианов связан с предположением о динамической симметрии в системах с голдстоуновскими частицами. Наличие в какой-либо системе голдстоуновских частиц обычно качественно интерпретируется как реакция системы, направленная на восстановленные симметрии, нарушенной вследствие вырождения вакуума. Голдстоуновские частицы восстанавливают симметрию системы. При этом трансформационные свойства определяются посредством нелинейных преобразований, что соответствует переходу к симметрии динамического типа.

В методе феноменологических лагранжианов полям голдстоуновских частиц сопоставляются координаты некоторого однородного относительно преобразования группы G пространства. Затем устанавливаются некие соотношения, достаточные для определения инвариантов группы G и построения на их основе простейших матричных элементов.

В докладе Л. Д. Фаддеева (СССР) «Геометрический смысл нелинейной симметрии» была описана интерпретация нелинейных полей типа Вейнберга или Сугавары как функций, принимающих значения в нелинейном внутреннем (скажем, изотопическом) пространстве. Простейший пример такого пространства дает ортогональная группа O_3 . Преобразования левых и правых сдвигов порождают соответствующие токи и реализуют, таким образом, естественное представление киральной группы. Было специально подчеркнуто, что во всех подсчетах удобно пользоваться явно ковариантными, координатно-независимыми методами, так как все физические величины не зависят от параметризации внутреннего пространства.

А. А. Славнов, Л. Д. Фаддеев (СССР) предложили инвариантный способ квантования модели Сугавары. Ими получено явным образом не зависящее от параметризации выражение для S -матрицы. В отличие от обычной схемы, возникающие правые Фейнмана содержат лишь конечное число вершин.

В докладе А. А. С л а в н о в а (СССР) «Поле Янга — Миллса» рассматриваются калибровочные поля с произвольной массой. Получено общее выражение для S -матрицы калибровочного поля в виде интеграла Фейнмана. При нулевой массе это выражение совпадает с результатом Фаддеева и Попова. Подробно обсуждается случай ненулевой массы. Показано, что S -матрица массивной теории в пределе нулевой массы не переходит в S -матрицу безмассовой теории. Чтобы получить правильное предельное значение, необходимо дополнительно вычесть вклад скалярных частиц нулевой массы, соответствующих продольно поляризованным квантам. Обсуждается вопрос о перенормируемости теории.

Доклад А. М. В а й н ш т е й н а, И. Б. Х р и ц л о в и ч а (СССР) «К вопросу о предельном переходе к нулевой массе и перенормируемости в теории массивного янг-миллсовского поля» был посвящен рассмотрению теории массивного поля Янга — Миллса. Показано, что в теории возмущений отсутствует предельный переход к нулевой массе, что находится в согласии с результатами Славнова и Фаддеева и Бульвара. Явное вычисление диаграмм в старших порядках показывает наличие сингулярностей по массе. Обсуждаются вопросы перенормируемости теории и возможность предельного перехода по массе вне рамок теории возмущений.

Э. А. Т а г и р о в (СССР) сделал доклад «Конформно-ковариантные взаимодействия». В рамках общей теории относительности формулируется и обсуждается условие приближенной конформной ковариантности уравнений движения. Установлено, что конформно-ковариантные взаимодействия полей со спином 0, $1/2$, 1 совпадают при переходе к плоскому пространству с минимальными взаимодействиями. (Таким образом, оказывается, что требования калибровочной инвариантности и безразмерности констант связи, послужившие исходными положениями при создании современной теории симметрии элементарных частиц, сами вытекают из единого геометрического принципа, тесно связанного с общей теорией относительности.)

В докладе Я. Т. Л о п у ш а н ь с к о г о (Польша) «Некоторые замечания, касающиеся физических симметрий» рассказывалось о физических симметриях системы из n скалярных вещественных полей. Был найден ряд обобщений формализма, связанных с ослаблением некоторых общепринятых аксиом.

Х. П. Д ю р р (ФРГ) выступил с докладом «Локальные симметрии в спинорных теориях». Автор пытался показать, что существуют формулировки спинорных теорий с четырехфермионным взаимодействием, инвариантные относительно локальных симметричных групп без введения дополнительных полей.

В докладе Ц. Г е о р г е и Э. М и х у л (Румыния) «Причинное расширение группы Пуанкаре» обсуждалась возможность смешивания между ортохронной группой Пуанкаре и группами внутренней симметрии, которое погружается в причинные расширения пространственно-временной группы (причинность понимается в смысле Зеемана). Выводится теорема относительно их структуры и получаются некоторые токовые алгебры.

Ряд докладов был посвящен функциональным методам. В докладе Б. М. Б а р б а ш о в а было рассмотрено применение функциональных методов для изучения инфракрасной и высокоэнергетической асимптотик в квантовой теории поля. В рамках метода функционального интегрирования автор развил способ аппроксимации интегралов, позволяющий получить, в частности, эйкональное представление амплитуды рассеяния высокоэнергетических частиц, а также учитывать влияние радиационных поправок на характер рассеяния. В докладе был дан также обзор последних достижений в области метода функционального интегрирования.

О. И. З а в я л о в (СССР) исследовал проблему обоснования стандартной схемы квантования Фейнмана в рамках континуального интеграла в релятивистском случае бесконечного числа степеней свободы.

В докладе Я. Ж у в у с с к о г о (Польша) изучалось гильбертово пространство целых функционалов, которые часто используются в квантовой теории поля и в квантовой механике. В работе даны математические оценки области аналитичности и асимптотического поведения формальных степенных рядов обобщенных функционалов и их функциональных производных. Рассматриваются некоторые применения этих оценок к операторам в квантовой теории поля.

С интересом встречен был доклад Г. И. Ф о м и н а (СССР) «О характере расходимостей в квантовой электродинамике вне теории возмущений». В своем сообщении он обратил внимание на тот факт, что уже при частичном выходе за рамки теории возмущений ситуация с расходимостями существенно меняется, по сравнению с аналогичной ситуацией в обычной теории возмущений в электродинамике, которая, как известно, приводит к трем логарифмически расходящимся величинам: δm , Z_3 и $Z_2 = Z_1$. Если же вне рамок обычной теории возмущений ограничиться, к примеру, «треугольным» или «пятигаммным» приближениями, то собственная энергия электрона оказывается расходящейся линейно, тогда как Z_2 и Z_3 становятся конечными. При выполнении некоторого условия эти выводы сохраняют силу и при учете высших приближений. Данный подход не приводит к «нулизации» перенормированного заряда и нефизическому полюсу фотонной функции Грина.

М. К. Поливанов, Б. В. Медведев, А. Д. Суханов (СССР) обсуждали связь между различными формулировками условия причинности. В рамках дисперсионного подхода построено «токовое» расширение S -матрицы за энергетическую поверхность. Установлено соответствие между условиями причинности Боголюбова и Лемана — Симанзика — Циммермана.

А. Висконти (Франция) рассказал о работе, ведущейся в отделении Национального центра научных исследований в Марселе, по применению вычислительных машин при вычислении радиационных поправок в скалярных теориях и квантовой электродинамике и при решении интегральных нелинейных уравнений.

В докладе Л. В. Прохорова (СССР) «Унитарность и взаимодействие безмассовых частиц» исследовались условия, накладываемые соотношением унитарности на вид взаимодействия частиц нулевой массы, и сделана попытка классифицировать различные теории с точки зрения выполнения условий унитарности.

А. Ульман (ГДР) рассказал о некоторых интересных свойствах представления алгебры C^* — нового математического аппарата, широко используемого сейчас в физике для описания систем с бесконечным числом степеней свободы.

Ю. М. Ломсадзе и Е. П. Сабад (СССР) посвятили свой доклад изучению ограничений на амплитуду, вытекающих из принципа микропричинности, и доказательству асимптотических соотношений типа теоремы Померанчука.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований в 1971 г. выпустил сборник «Трудов II Международного совещания по нелокальной квантовой теории поля». Ввиду большого объема материалов, представленных на совещание, в сборник вошли лишь обзорные доклады, охватывающие широкий круг вопросов.

М. К. Волков, Г. В. Ефимов