

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКСОВЕЩАНИЯ И КОНФЕРЕНЦИИ

539.12.01

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ СЕМИНАР ПО ВЕКТОРНЫМ МЕЗОНАМ
И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯМ**

(Дубна, 23—26 сентября 1969 г.)

С 23 по 26 сентября 1969 г. в Лаборатории теоретической физики Объединенного института ядерных исследований (Дубна) проходили заседания Международного семинара по векторным мезонам и электромагнитным взаимодействиям. В работе семинара принимало участие около ста ученых из Советского Союза и ОИЯИ и 15 ученых из зарубежных стран. Программа семинара в основном состояла из обзоров по заранее предложенной Оргкомитетом тематике. Много времени отводилось для дискуссий. Всего было представлено 18 обзорных докладов. Вопросы, вызвавшие наибольший интерес, обсуждались на дополнительных заседаниях.

За последние несколько лет работы по векторным мезонам приобрели весьма актуальное значение в теории элементарных частиц, и в частности, в теории электромагнитных взаимодействий адронов (сильно взаимодействующих частиц). По представлениям многих ведущих современных физиков, нестабильные векторные мезоны, так называемые ρ -, ω - и φ -мезоны с массами 765, 783 и 1020 Мэв, могут играть столь же универсальную роль в сильных взаимодействиях, какую играет γ -квант в электромагнитных. Отсюда возникла идея универсализации сильных взаимодействий — пропорциональность взаимодействия сохраняющимся квантовым числам: изоспину, гиперзаряду и барионному заряду. С другой стороны, векторная природа таких мезонов позволяет им принимать непосредственное участие в электромагнитных взаимодействиях, поскольку возможен прямой виртуальный переход векторных мезонов в γ -квант и наоборот.

Трудно пока ответить на вопрос, представляет ли собой идея универсализации сильных взаимодействий и связанная с ней модель векторной доминантности лишь рабочую гипотезу (так называемое «полюсное приближение») или же за ней скрыта неразгаданная закономерность, связанная, возможно, с фундаментальностью локальных калибровочных преобразований адронных полей. Вопрос этот нуждается, с одной стороны, в глубоком математическом исследовании взаимодействующих полей Янга — Миллса, весьма далеком в настоящее время от своего завершения, с другой стороны, в проверке конкретных следствий этой гипотезы экспериментом. В настоящее время выяснилось, что в ряде экспериментов модель векторной доминантности хорошо подтверждается (фотообразование и распад векторных мезонов), в то время как в других процессах (неупругое рассеяние электронов на протонах при высоких энергиях, реакции фоторождения пионов поляризованными фотонами) имеются серьезные расхождения с предсказаниями модели векторной доминантности. Семинар был организован с целью выяснить статус всей проблемы в целом, с тем чтобы наметить наиболее перспективные направления дальнейших исследований в области теории и в эксперименте.

Семинар был открыт академиком М. А. Марковым (СССР). В своем вступительном слове М. А. Марков подчеркнул, что векторные взаимодействия выделены не только в микромире, но и в ультрамикромире. Специфическая роль векторных взаимодействий определяется тем, что с векторными полями связаны законы сохранения источников этих полей, законы сохранения соответствующих токов. В силу этого, например, векторные поля в состоянии прекратить коллапс небесных тел при плотностях, на много порядков меньших так называемых квантовых ($\rho_q \sim 10^{23}$ г/см³).

Последующие доклады были посвящены обсуждению теоретических проблем. В докладе Л. Д. Фаддеева (СССР) были представлены общие контуры теории калибровочных полей. Докладчик рассмотрел различные способы введения калибровочных полей и привел аргументы в пользу того, что наиболее адекватным формализмом для построения общей теории калибровочных полей является фейнмановский формализм

континуального интегрирования. Далее была показана перенормируемость теории безмассовых полей Янга — Миллса, однако отмечено, что при вычислениях вследствие безмассовости и самодействия возникают сильные инфракрасные расходимости и рецепты для их устранения пока еще не найдены. Вопрос же о перенормируемости полей Янга — Миллса с массой до сих пор вообще корректно не разрешен.

Н. Н. К о н о п л е в а (СССР) рассказала о возможной геометрической интерпретации калибровочных полей. При такой интерпретации в каждой точке обычного четырехмерного пространства вводится дополнительное пространство («слой») внутренних степеней свободы (типа изоспина). Тогда калибровочные преобразования соответствуют локальным вращениям базиса в «слое» зарядового пространства и коэффициенты связности «расслоенного» пространства могут быть интерпретированы как векторные поля. Предположения об определенных моделях этого пространства могут приводить к непосредственным физическим результатам.

В следующем докладе, сделанном Б. З у м и н о (Италия), был представлен конструктивный подход в теории калибровочных полей. Для описания физических процессов, происходящих с адронами, применен метод эффективных лагранжианов. Кратко идея эффективных лагранжианов заключается в следующем. Пишутся нелинейные эффективные лагранжианы, обладающие нужными свойствами симметрии относительно нелинейных преобразований (нелинейного кайрального преобразования и т. д.) и дающие те же самые результаты, что и низкоэнергетические теоремы алгебры токов. Далее эта теория с помощью так называемого «ветвящегося» приближения (защепление диаграмм с замкнутыми петлями) распространяется на более сложные процессы с большим числом свободных начальных и конечных частиц. Дальнейшее приближение этого формализма к реальности путем введения большего числа промежуточных частиц (либо резонансов — пропагаторов с комплексными полюсами) оказывается в этом подходе очень трудным. В заключение Зумино рассмотрел конкретные примеры эффективного кайрального лагранжиана и вопросы интерпретации массивных полей Янга — Миллса как феноменологических полей.

Д. Ш и л д к н е х т (ФРГ) остановился на проверке модели векторной доминантности с помощью сопоставления реакции фоторождения псевдоскалярных мезонов поляризованными фотонами на нуклонах с реакцией рождения векторных мезонов на нуклонах пионами. Основная трудность такой проверки заключается в необходимости экстраполяции матричных элементов последнего процесса к нулевой массе векторных мезонов. Подобная экстраполяция зависит от выбора системы координат (система центра масс, система Донахью — Хагассена и т. д.). Поэтому расхождение в результатах, извлекаемых из указанных двух экспериментов, может быть существенно уменьшено путем выбора системы отсчета. Шилдкнехт предлагает рассмотреть и сравнить несколько реакций (типа $\gamma p \rightarrow \pi p$, $\gamma p \rightarrow \pi \Delta^{++}$ и т. д.). Если никаким выбором системы нельзя устранить расхождение во всех этих реакциях, то придется отказаться вообще от модели векторной доминантности. В настоящее время, хотя имеются указания на такое расхождение, окончательных выводов сделать нельзя.

Д. Б ъ е р к е н (США) рассказал в своей лекции о проверке векторной доминантности в экспериментах по неупругому лептон-адронному рассеянию, проведенных в Стэнфорде на линейном 20-Гэв ускорителе. Предварительные результаты показывают, что при больших переданных импульсах поглощение поперечных виртуальных фотонов больше на фактор 3—5 по сравнению с рассчитанным по модели векторной доминантности. Экспериментальный результат для отношения сечений поглощения продольных и поперечных виртуальных фотонов расходится также и с не вполне строгими выводами, которые делаются с помощью коммутационных соотношений для электромагнитных токов из теории массивных полей Янга — Миллса. В заключение докладчик отметил, что в вопросах сравнения теории и эксперимента в данной области пока еще много неоднозначностей. Дальнейшие измерения электророждения ρ^0 -мезона и изучение процессов электророждения при больших передаваемых импульсах весьма перспективны для выяснения роли векторных мезонов в электродинамических процессах.

Доклад В. А. М а т в е е в а, Р. М. М у р а д я н а и А. Н. Т а в х е л и д з е (ОИЯИ) был посвящен изучению процесса образования лептонной пары при глубоко неупругих адрон-адронных столкновениях. Ими было показано, что вопрос о поведении формфакторов этого процесса при больших энергиях сталкивающихся адронов и больших времениподобных передаваемых импульсах может быть сведен к изучению одновременных коммутационных соотношений между пространственными компонентами оператора электромагнитного тока адронов и их производными по времени. Полученные при этом правила сумм могут в принципе послужить основой для выбора той или иной конкретной модели фундаментальных составляющих адронного электромагнитного тока, например модели кварков или векторных полей. Приведены соображения, показывающие, что данный процесс может быть весьма удобным для проверки гипотезы векторной доминантности. В докладе был сформулирован также принцип приближенной автомодельности, согласно которому в асимптотической области формфакторы глубоко неупругих лептон-адронных процессов могут зависеть лишь от безразмерных отношений инвариантных переменных.

Б. Л. И о ф ф е (СССР) представил доклад под названием: «Пространственно-временная картина рассеяния фотонов и нейтрино и асимптотика электророждения». Из анализа экспериментальных сечений неупругого рассеяния электронов на нуклонах и сечений взаимодействия нейтрино с ядрами следует, что в рассеянии виртуальных фотонов доминирующую роль играют большие продольные расстояния, т. е. конечные (или растущие с увеличением энергии существенно медленнее чем линейно) значения масс виртуальных адронных состояний, в которые может переходить фотон. Был обсужден вопрос о возможных режимах асимптотического поведения структурных функций процессов электророждения мезонов в области больших энергий и передаваемых импульсов.

Доклад, представленный А. Зикики (ЦЕРН, докладчик не присутствовал, доклад был изложен С. Тингом из ФРГ) был посвящен исследованиям электромагнитных распад векторных мезонов в ЦЕРН. Было рассказано о наблюдениях редких распадов ω - и ϕ -мезонов на электрон-позитронную пару. На основе этих наблюдений делается вывод о существовании ω — ϕ -смешивания (угол равен $23 \pm 2^\circ$ град), о подтверждении правил сумм Вайнберга и об отсутствии в электромагнитном взаимодействии унитарного синглета. Наблюдалась также редкая распада γ^0 -мезона на два γ -кванта.

В своей лекции С. Тинг (ФРГ) рассказал об изучении на синхротроне в Гамбурге реакций фоторождения нейтральных векторных мезонов на нуклонах и ядрах. Результаты, полученные его группой, находятся в хорошем согласии с выводами модели векторной доминантности для фоторождения на ядрах. Интересным результатом представляется наблюдение ро-омега интерференции в фоторождении лептонных пар на ядрах.

К. Г о т т ф р и д (США) подробно обсудил теорию и эксперимент, касающиеся нахождения полных сечений поглощения фотонов и фоторождения нейтральных векторных мезонов на ядрах. Им были проанализированы возможные причины расхождения данных, полученных гамбургской группой, с данными из аналогичных экспериментов, выполненных в Стэнфорде и Корнелле. Реакции взаимодействия фотонов с ядрами обеспечивают критическую проверку одного из существующих ингредиентов модели векторной доминантности — гипотезы о плавной зависимости амплитуд от массы виртуальных адронов, в которые переходит фотон. Согласно модели число эффективно участвующих в реакции нуклонов ядра зависит от энергии падающего фотона и по мере ее увеличения должен происходить переход от линейной A -зависимости ядерных сечений к закону $A^{2/3}$, т. е. переход от «объемного» к «поверхностному» механизму реакции. В докладе было отмечено, что из предварительного анализа всей совокупности экспериментальных данных по когерентному и некогерентному фоторождению векторных и псевдоскалярных мезонов на ядрах можно сделать вывод о применимости модели векторной доминантности к дифракционным процессам рассеяния на малые углы, но в описании недифракционных процессов (типа фоторождения мезонов) учет эффектов экстраполяции по массе может оказаться весьма существенным.

О недавних результатах, полученных на встречных электрон-позитронных пучках в Орсе (Франция) рассказал О г у с т е н (Франция). Эти результаты подтверждают ранее полученные значения ширины лептонных распадов ρ - и ϕ -мезонов. Экспериментальные ошибки при этом значительно уменьшены. Наиболее интересным представляется указание на существование ρ — ω -интерференции в реакции превращения электрон-позитронной пары в пару заряженных пионов.

Новые результаты по образованию ϕ -мезонов во встречных пучках были доложены В. Б а л а к и н ы м (СССР). Результаты согласуются с соответствующими результатами французской группы.

В докладе С. Б. Г е р а с и м о в а (ОИЯИ) обсуждалось применение модели векторной доминантности к правилам сумм для электромагнитных взаимодействий адронов с целью проверки динамических предположений модели и применимости методов описания высокоэнергетического взаимодействия адронов к процессам с участием фотонов. Были предложены новые правила сумм для константы связи фотона с нейтральными векторными мезонами и указана возможность экспериментальной проверки недифракционного поведения амплитуды комптон-эффекта при высоких энергиях.

В. А. П е т р у н ь к и н (СССР) обсуждал влияние поляризации вакуума за счет сильных взаимодействий на электродинамические эффекты. Были рассмотрены поправки к аномальным магнитным моментам лептонов, к функции распространения фотона, а также влияние сильных взаимодействий на упругое рассеяние электронов и позитронов и на превращение электрон-позитронной пары в мюонную пару. В настоящее время все эти эффекты имеют порядок экспериментальных ошибок. Дальнейшее продвижение в область больших энергий (особенно перспективны встречные пучки 2×3 Гэв или $2 \times 3,5$ Гэв) сможет окончательно решить вопрос о значимости этих эффектов.

З. Г и р а г о с я н (США) рассказал о многочисленных результатах обширной программы исследований по образованию векторных мезонов, выполненных на Стэнфордском линейном ускорителе. Наибольший интерес вызвали новые результаты по неупругому рассеянию электронов на нуклонах и фоторождению векторных и псевдоскалярных мезонов на нуклонах в направлении вперед и назад. Было сообщено также

о получении нескольких сотен поляризованных фотонов большой энергии при столкновении лазерного пучка с пучком электронов ускорителя. Этот эффект был впервые предсказан и продемонстрирован в СССР (Ереванский ФИ и ФИАН). Полученный в Стэнфорде почти монохроматический пучок поляризованных фотонов имел рекордную степень поляризации ($\sim 95\%$). С его помощью были проведены следующие эксперименты: измерены полное сечение фоторождения мезонов на протоне (с точностью 3%) и сечение фоторождения нейтральных векторных мезонов линейно поляризованными фотонами. Результаты указывают на то, что доминирующим процессом образования ρ^0 -мезона является дифракционный механизм, в то время как сечение образования ω -мезона обнаруживает большую недифракционную часть (спиновую зависимость).

Последний день был отведен обсуждению методики эксперимента. В докладах Б. Б. Г о в о р к о в а (СССР), А. А. Т я к и н а (ОИЯИ) обсуждались возможности применения искровых камер для измерения энергии фотонов и электронов. З. С т р у г а л ь с к и (ОИЯИ) остановился на вопросах возможности исследования электромагнитных распадов с помощью ксеноновой камеры.

Все доклады вызвали оживленные дискуссии, в результате которых участники семинара смогли разобраться в ряде спорных вопросов. Успешная работа семинара определялась, по нашему мнению, тем, что он был посвящен отдельной важной проблеме, близкой большинству участников семинара.

Доклады, представленные приглашенными докладчиками, опубликованы Издательским отделом ОИЯИ в виде сборника трудов семинара.

А. М. Балдин, С. Б. Герасимов, А. Б. Говорков, В. М. Дубовик