

КОНФЕРЕНЦИИ И СИМПОЗИУМЫ

**Международная конференция
"Квантование, калибровочные теории и струны",
посвященная памяти Ефима Самойловича Фradкина**

(Москва, 5–10 июня 2000 г.)

5–10 июня 2000 г. в Москве проходила Международная конференция "Квантование, калибровочные теории и струны", посвященная памяти Ефима Самойловича Фradкина. Ниже публикуются следующие материалы:

1. **Воронов Б.Л.** (Отделение теоретической физики им. И.Е. Тамма, Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва). *О Международной конференции "Квантование, калибровочные теории и струны".*

2. **Гинзбург В.Л.** (Отделение теоретической физики им. И.Е. Тамма, Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва). *О Ефиме Фradкине.*

3. **Фейнберг Е.Л.** Отделение теоретической физики им. И.Е. Тамма, Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва). *E.C. Fradkin как личность.*

что тематику конференции составили практически все ведущие направления современной теоретической и математической физики, касающиеся проблем структуры материи и фундаментальных взаимодействий: теория струн в современном широком ее понимании (M-теория), включая теорию высших спинов и конформные теории; проблемы квантования во всем многообразии современных подходов и формализмов применительно к самым разным системам, от одночастичных до полевых; новые продвижения в традиционной квантовой теории поля, в частности, новые аспекты калибровочных теорий; теория гравитации и космология; физика высоких энергий и конкретных взаимодействий, включая квантовую хромодинамику при высоких плотностях и температурах и квантовую электродинамику во внешних полях.

Приглашение для участия в конференции памяти Е.С. Фradкина повсеместно встретило живой и благодарный отклик. В результате в ней приняли участие около 150 человек, в том числе около 70 иностранцев. Состав конференции оказался весьма представительным и включал многих ведущих специалистов в соответствующих областях. Всего на конференции было представлено более 130 докладов. Заседания конференции проходили, как правило, следующим образом: утренние часы были отданы пленарным приглашенным докладам, остальное время отдавалось параллельным секционным заседаниям.

Утреннее пленарное заседание первого дня было мемориальным и проходило в Физическом институте им. П.Н. Лебедева. С рассказом о жизненном пути и личности Е.С. Фradкина выступили В.Л. Гинзбург и Е.Л. Фейнберг. О молодых годах Ефима Самойловича, проведенных на так называемом "Объекте", рассказал Ю.А. Романов. Воспоминаниями о "встречах с Ефимом Фradкиным" и своих впечатлениях поделились Л. Бринк (Швеция) и П. Нивенхойзен (США). Самостоятельный жизненный путь Ефима Самойловича начался с трагедии первых месяцев Великой Отечественной войны, когда почти вся его семья осталась на оккупированной территории и погибла от рук нацистов, продолжился службой сперва рядовым солдатом, затем, после тяжелого ранения, офицером в действующей армии, краткосрочным университетским курсом по окончании войны во Львове и, наконец, с 1948 г. оказался навсегда связанным с

PACS numbers: 01.10.Fv, 11.15.-q, 11.25.-w

**О Международной конференции
"Квантование, калибровочные теории
и струны"**

Б.Л. Воронов

5–10 июня 2000 г. в Москве проходила Международная конференция "Квантование, калибровочные теории и струны", посвященная памяти Ефима Самойловича Фradкина.

Конференция была организована Отделением теоретической физики им. И.Е. Тамма Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук. Спонсоры конференции: Российская академия наук, INTAS, Российский фонд фундаментальных исследований, Министерство промышленности, науки и технологий РФ, Международный центр фундаментальной физики в Москве, Photon Physics, Visson Enterprises Ltd. Конференция проходила в Москве, в гостинице Дома туриста на Ленинском проспекте.

Посвящая конференцию памяти своего коллеги и учителя, выдающегося российского физика-теоретика Ефима Самойловича Фradкина, организаторы исходили из того, что лучший способ почтить память ученого — это конференция, которая охватывала бы те направления науки, что были предметом его интереса и плодотворной деятельности. В результате оказалось,

теоротделом ФИАН. С тех пор жизнь его была в неустанных размышлениях, вычислениях и обсуждениях с учениками и коллегами по поводу самых острых и самых трудных проблем теоретической физики — при живом и мудром интересе ко всем сторонам жизни вообще. Долговременным памятником ему будет "школа Фradкина" и благодарная память людей.

В кратком обзоре не представляется возможным не только упомянуть обо всех докладах, но даже подробно остановиться на всех затронутых темах. Поэтому было принято решение ограничиться кратким изложением отдельных докладов, дающим представление о тематике конференции. Доклады изложены в той же последовательности, что и перечисленные выше темы конференции. Пробелы такого обзора будут восполнены изданием трудов конференции, предполагающимся в ближайшее время в издательстве "Научный мир", Москва.

В современной физике элементарных частиц нет решительных экспериментальных вызовов существующим представлениям о структуре материи и фундаментальных взаимодействиях. Теория струн является скорее ответом на внутритеоретические вызовы, вариантом саморазвития теории. Она кардинально меняет наши представления о пространстве–времени (дополнительные пространственные измерения) и материи (протяженные фундаментальные объекты) на малых масштабах и еще только должна найти свои экспериментальные подтверждения. По "струнной" тематике было представлено около 60 докладов.

Теория струн сохранила свои претензии быть "теорией всего", но обогатилась новыми идеями, так что вкладываемое в нее содержание в значительной мере изменилось. Современному состоянию теории струн был посвящен обзорный доклад Дж. Шварца (Калифорнийский технологический институт). В настоящее время достигнуто понимание глубоких и тонких связей между пятью известными и считавшимися до сих пор различными теориями суперструн — в виде так называемых соотношений дуальности, когда одна теория оказывается предельной версией другой теории (имеются в виду предельные переходы по параметрам теории). Представляется естественной идея объединения всех этих теорий в рамках одной основополагающей теории, получившей название М-теории. М-теорию еще предстоит построить, известны лишь отдельные ее фрагменты. В частности, считается, что пять известных теорий суперструн отвечают различным вакуумам М-теории. Считается также, что низкоэнергетическим пределом М-теории должна быть одиннадцатимерная супергравитация. Кроме фундаментальных струн, теория содержит непертурбативные (солитоноподобные) протяженные объекты, называемые p -бранными. Их можно представлять себе $p+1$ -мерными поверхностями (p пространственных измерений и одно временное) в многомерном объемлющем пространстве–времени. p -Браны определенным образом "заряжены", заряды являются источниками соответствующих калибровочных полей (обобщая максвелловское поле). Концы фундаментальных струн могут находиться на p -бранных. С p -бранными связывается новая физика: на p -бранных основаны космологические модели ("сценарии"), альтернативные компактификации всех дополнительных измерений (см. ниже модель Рандалла–Сандрума и доклад В.А. Рубакова).

Развивая идею дуальности, К. Халл рассматривает определенным образом компактифицированную теорию струн (М-теорию) в пределе, когда масштабный параметр стремится к бесконечности. В этом пределе все возбуждения становятся безмассовыми и возникает большое число ненарушенных симметрий. Результирующая теория оказывается определенной шестимерной суперконформной теорией с неожиданно высокой суперсимметрией — новый фрагмент М-теории.

Дуальной к $N = 4$ суперсимметричной теории Янга–Миллса является суперструнная теория II В со слабой связью в пространстве–времени $AdS_5 \times S^5$ (пятимерное пространство анти-де-Ситтера \times пятимерная сфера) с так называемым рамон-рамоновским зарядом (говорят о струне на R–R фоне). Уже построение струнного действия на таком фоне является трудной задачей, решенной сравнительно недавно (Мещаев–Цейтлин). В докладе А.А. Цейтлина вычисляются квантовые поправки к этому действию, которые оказываются связанными с вакуумными средними вильсоновских петель в дуальной янг-миллсовской теории в пределе сильной связи и большой размерности калибровочной группы.

Дальнейшее продвижение в этом и других направлениях связывается с построением методов ковариантного квантования суперструн Грина–Шварца, до сих пор отсутствовавших. В этом отношении обращает на себя внимание доклад Н. Берковица, в котором предлагается определенный метод ковариантного квантования. Он является новой версией формализма Грина–Шварца, включающей дополнительное коммутирующее спинорное поле, подчиненное определенным связям.

О фундаментальных микроскопических степенях свободы М-теории известно пока немногое. Проявлением их могут быть так называемые BPS-состояния, солитоноподобные решения супергравитации с определенной компактификацией дополнительных измерений; их можно включить в супермультиплеты материи. Предполагается, что они соответствуют некоторым бранам непертурбативной теории струн. В докладе Б. де Вита рассматривается девятимерная $N = 2$ супергравитация, взаимодействующая с определенными (так называемыми ККА и ККВ) BPS-состояниями. Это приводит к двенадцатимерной теории поля с максимальной суперсимметрией, тремя компактными измерениями, но без лоренц-инвариантности. В специальном пределе декомпактификации получается одиннадцатимерная супергравитация, а BPS-состояния трактуются как супермембранные состояния, или как супер-Калуца–Клейн-состояния. В связи с этим возродился интерес к вопросу о квантовых поправках к характеристикам протяженных объектов и вообще к статусу BPS-состояний на квантовом уровне. В докладе П. Нивенхойзена обсуждается вычисление квантовых поправок к массе и центральному заряду суперсимметричного D2 кинка. Первоначально противоречивые результаты для массы кинка, полученные при двух способах регуляризации, в конце концов согласуются после уточнения массовой формулы и учета тонких граничных эффектов. Вычищена квантовая аномалия для центрального заряда и показано, каким образом на однопетлевом уровне восстанавливается BPS-ограничение.

Особое место заняла тема одиннадцатимерной супергравитации, предполагаемого низкоэнергетического приближения к М-теории. Известны два подхода к

формулировке этой теории — ковариантный и конусный формализмы; оба они были представлены на конференции. В докладе М. Седервала рассмотрена эффективная динамика теории в явно ковариантной и суперсимметричной формулировке. Показано, что предлагавшееся ранее ослабление ограничений на кручение суперпространства приводит к стандартным уравнениям одиннадцатимерной супергравитации. Обсуждается возможность обобщения ковариантного суперполевого формализма на теорию с высшими (R^4) производными. В докладе Р.Р. Мещаева дана суперполевая, без связей, конусная формулировка одиннадцатимерной супергравитации. Ожидается, по аналогии с обычной теорией струн, что именно эта формулировка допускает естественное продолжение М-теории. Найдены все четырехточечные функции на массовой оболочке, инвариантные относительно линейных суперсимметрий.

В последние годы активно обсуждается идея о том, что наша Вселенная является 3-браной, вложенной в многомерное, специальным образом компактифицированное пространство–время. М-теория предоставляет возможности для такого, пусть и достаточно изощренного, сценария. Интерес к этой идее существенно возрос после того, как Рандалл и Сандрум показали, что гравитация в таком мире будет эффективно четырехмерной, если геометрия окружающего пространства будет геометрией AdS_5 . Новым уроком является возможность того, что дополнительные пространственные измерения не обязательно компактифицированы (любопытно, что первоначально такую возможность еще в 1983 г. обсуждали В.А. Рубаков и М.Е. Шапошников). Особое внимание к этому сценарию привлекает потенциальная измеримость предсказываемых степенных поправок к закону Ньютона. В докладе К. Стелле обсуждается суперсимметричная версия реализации описанного сценария путем специальной $AdS_5 \times S^5$ компактификации II в супергравитации и вложения 3-бранны в пространство анти-де-Ситтера AdS_5 . Предложен механизм, позволяющий обойти "по go" теоремы, обсуждавшиеся в докладе Р.Э. Каллош.

В докладе М.А. Васильева был представлен обзор развития теории калибровочных полей высших спинов в четырехмерном пространстве-времени. В историческом плане основной акцент был сделан на вклад в теорию, внесенный Е.С. Фрадкиным, начиная с первой его научной работы, посвященной теории поля спина 5/2. В докладе была описана полученная совместно с Е.С. Фрадкиным бесконечномерная алгебра симметрии высших спинов, а также действие, описывающее кубические взаимодействия калибровочных полей высших спинов друг с другом и с гравитацией. Приведена замкнутая формулировка нелинейных уравнений движения безмассовых полей всех спинов. Анонсирован новый результат в развитии конформной теории калибровочных полей высших спинов Линецкого и Фрадкина, состоящий в переформулировке связей конформной теории калибровочных полей высших спинов в форме условий ковариантного постоянства. Особое внимание было удалено обсуждению глубоких параллелей между свойствами теории калибровочных полей высших спинов и теории суперструн. Подчеркивалось, что тот факт, что алгебры симметрий высших спинов являются алгебрами квантовых осцилляторов, связывает воедино такие на первый взгляд разнородные свойства теории калибровочных

полей высших спинов как необходимость введения бесконечных наборов полей с неограниченно возрастающими спинами, появление высших производных в вершинах взаимодействия полей высших спинов и ключевая роль геометрии анти-де-Ситтера для построения калибровочно-инвариантных взаимодействий высших спинов.

Определенному итогу в развитии конформной теории поля был посвящен доклад В.Н. Зайкина и М.Я. Пальчика, идеи и выводы которого являются результатом совместной работы с Е.С. Фрадкиным, продолжавшейся до последних дней его жизни. Основная развивающаяся идея состоит в обобщении результатов, полученных в двумерных теориях, на случай произвольного числа измерений. Ранее было замечено, что как в двумерном пространстве, так и в пространстве произвольного числа измерений в операторном произведении полей тензора энергии – импульса и материи возникают вторичные тензорные поля ("потомки") с определенными размерностями. Требование отсутствия таких полей приводит к алгебраическим уравнениям на аномальные размерности полей материи и к дифференциальным уравнениям на функции Грина. Однако в отличие от двумерного случая в D-мерном пространстве вторичные поля в вышеупомянутом операторном произведении появляются только при определенных условиях. Для скалярной теории с неабелевой глобальной симметрией показано, что вторичные поля возникают только в случае появления аномальных операторных слагаемых (аналогов центрального заряда) в операторном произведении двух сохраняющихся токов. Найдены условия возникновения таких аномальных операторов и их константы связи, а также функции Грина, включающие эти операторы. Исследованы тождества Уорда для функций Грина двух сохраняющихся токов.

Тематика проблем квантования и традиционной квантовой теории поля была представлена на конференции более чем 40 докладами.

Новый, более общий вывод теорем о связи спина со статистикой и о СРТ-симметрии представлен в докладе М.А. Соловьева. Он применим к квантовым теориям поля с произвольной степенью нелокальности. Такие теории могут возникать как эффективные теории поля, следующие из теории струн (М-теории). Доказано, что необходимым условием справедливости стандартных теорем является убывание коммутаторов слаженных полей при пространственно-подобной раздвижке аргументов быстрее любой линейной экспоненты. Используемая при этом математическая техника представляет собой развитие теории распределений Шварца и гиперфункций Сато-Мартино. Она используется также для описания операторной реализации калибровочных теорий с сингулярным инфракрасным поведением в пространствах с индефинитной метрикой и в ковариантной калибровке общего вида (чему был посвящен доклад А.Г. Смирнова).

Вновь и вновь заставляет возвращаться к себе старая задача канонического квантования (псевдо) классической теории релятивистской частицы во внешних электромагнитном и гравитационном полях. Основная трудность состояла до сих пор в том, что в произвольных внешних полях (не рождающих пары) волновые функции не удовлетворяли уравнению Клейна–Гордона. В докладе Д.М. Гитмана показано, каким образом эта трудность преодолевается в результате модификации схемы кван-

тования. Предлагаемая модификация основана на использовании изначально приводимого представления канонических коммутационных соотношений и специальной конструкции для гамильтониана. Построенная квантовая механика буквально воспроизводит одиночественный сектор квантовой теории поля.

В докладе Р. Марнелиуса обсуждаются методы интегрирования инфинитезимальных калибровочных преобразований общего вида, генерируемых связями первого рода и образующих бесконечномерную открытую алгебру. Производящие уравнения конечных преобразований формулируются в расширенном фазовом пространстве, включающем гости и лагранжевы множители к связям, в терминах полного БРСТ оператора. Совместность композиционных свойств конечных преобразований обеспечивается мастер-уравнением, формулируемым в терминах квантовых антискобок, являющихся операторным обобщением классических антискобок формализма Баталина – Вилковыского. Результаты обобщаются на $Sp(2)$ -симметричную формулировку, включающую гости и антигости равноправным образом.

Вопрос о возможности непротиворечивой динамики системы конечного числа полей спина 2 обсуждается в докладе М. Энно в рамках БРСТ подхода и в следующих предположениях: Пуанкаре-инвариантность, размерность пространства – времени больше 2; в пределе свободных полей набор полей спина 2 описывается суммой действий Паули – Фирца (линеаризованных действий Эйнштейна); точное действие содержит не более двух производных по координатам. Автор показывает, что полное действие имеет вид суммы действий Эйнштейна с возможными космологическими членами и действий Паули – Фирца, по одному на каждое поле. Перекрестные взаимодействия различных полей отсутствуют. Полученный результат согласуется с экспериментальным фактом отсутствия других полей спина 2, кроме гравитационного, поскольку гравитационное поле должно взаимодействовать с любой материей.

В докладе А.А. Славнова рассматривается формулировка калибровочных теорий, содержащих в стандартном формализме антикоммутирующие поля (например, гости), в терминах чисто бозонных полей. Это мотивируется большей эффективностью компьютерных вычислений детерминантов, представленных функциональными интегралами по бозонным полям, по сравнению с прямыми вычислениями. Приведена чисто бозонная формулировка четырехмерной теории Янга – Миллса, являющаяся специальной редукцией пятимерной теории. Рассмотрена также бозонизованная версия квантовой хромодинамики с двумя ароматами на решетке.

Особая тема последних лет — попытки непертурбативного рассмотрения суперсимметричных калибровочных теорий поля, исходя из правдоподобных гипотез о структуре спектра и об аналитических свойствах по параметрам теории (константам связи и вакуумным конденсатам). В докладе А.И. Вайнштейна сформулирован новый подход к изучению вакуумов в $N = 1$ суперсимметричных калибровочных теориях, основанный на "мягком" нарушении $N = 2$ суперсимметрии и использовании свойств точных решений Виттена – Зайберга для $N = 2$ суперсимметричных калибровочных теорий. Оказывается, что основной нетривиальный вклад в точные значения вакуумных конденсатов вносят инстанционные поправки в суперпотенциал Аффлека – Дайна – Зайберга.

Данный подход в принципе позволяет исследовать конфайнмент электрических зарядов на основе аналогии с теорией сверхпроводимости и электромагнитной дуальности. Более подробно вопросы конфайнмента обсуждались в докладе А.В. Юнга, где была сделана, в частности, попытка провести параллели между ожидающими свойствами "неабелева" конфайнмента в квантовой хромодинамике и вышеупомянутого "абелева" конфайнмента в суперсимметричных калибровочных теориях. В докладе А.В. Маршакова обсуждалась замечательная связь теории Виттена – Зайберга с теорией интегрируемых систем: сингулярные кривые Виттена – Зайберга, отвечающие $N = 1$ суперсимметричным калибровочным теориям, одновременно описывают солитонные решения определенных интегрируемых систем, что позволяет легко вычислить эффективные константы связи и натяжения струн калибровочных теорий (последние просто равны фазам солитонов).

Современная квантовая теория гравитации многолика. С одной стороны, она тесно переплетается с гипотетической фундаментальной теорией струн. С другой стороны, современная космология, имеющая солидный экспериментальный статус, требует от нее теоретического объяснения наблюдательных данных. Эта многогранность нынешней гравитационной науки нашла полное отражение на настоящей конференции, где были представлены три её основных направления: квантовая инфляционная космология, следующие из теории струн модели мира на бране ("brane-world scenarios") и теория квантовых черных дыр.

В докладе А.Д. Линде дан подробный обзор теории инфляции — от ее рождения до последних разработок, относящихся к послеинфляционной предшествующей разогреву стадии ("preheating stage") космологической эволюции. Особо подчеркивалась роль нового эффективного механизма рождения материи во Вселенной на предшествующей разогреву стадии благодаря параметрическому резонансу при взаимодействии мод возбуждения материи с инфлатоном, возникающему в момент исчезновения поля инфлатона (на послеинфляционной стадии инфлатонных осцилляций). А.О. Барвинский представил свою теорию квантовых эффективных уравнений для средних полей метрики и материи в инфляционной космологии, особо остановившись на постановке задачи Коши для этих уравнений: данные Коши должны извлекаться из квантового состояния Вселенной. Принципиально новым элементом этих уравнений является учет квантовых флуктуаций однородной скалярной моды — главной коллективной переменной квантовой космологической модели; ее пикообразное начальное распределение объясняет сравнительно малый характерный масштаб энергий в квантово-рожденной инфляционной Вселенной: он имеет тот же порядок, что и в теориях большого объединения.

Доклад В.А. Рубакова был посвящен гравитационным аспектам моделей мира (Вселенной) на бране. Обсуждалась природа дальнодействующих сил на 3-бране, погруженной в пятимерное пространство – время с некомпактным дополнительным измерением, в частности, интересный механизм метастабильности гравитона в модели Грегори – Рубакова – Серебрякова, обобщающей модель Рандалла – Сандрума, и скалярная (отталкивательная) природа гравитации, индуцируемой на бране, на сверхбольших расстояниях. Картина дополнена до-

клад С.Н. Солодухина, в котором утверждалось, что тензор энергии–импульса в уравнениях Эйнштейна, индуцируемых на бране "из объема" (т.е. согласно теории в объемлющем пространстве), содержит как члены высшего порядка по кривизне, так и голографический тензор энергии–импульса, следующий из AdS/CFT-дualности (соответствия между пятимерной теорией (супер)гравитации в пространстве анти-де-Ситтера и четырехмерной конформной теорией поля на его границе).

В докладе М.З. Иофа обсуждается форма эффективного действия, следующих из него уравнений движения и их решений в теории суперструн с учетом струнных петлевых поправок. Для рассматриваемой компактификации гетеротической теории струн к четырем измерениям эффективное действие обладает локальной $N = 2$ суперсимметрией. Рассматривается решение уравнений движения, которое на древесном уровне струнной теории возмущений описывает магнитную черную дыру. При использовании $N = 2$ суперсимметрии эффективного действия найдены струнные петлевые поправки к древесному решению. Обсуждается возможность сглаживания сингулярности древесного решения струнными петлевыми поправками.

Проблемы квантовой хромодинамики (КХД), теории и феноменологии сильных взаимодействий составили предмет целой серии докладов.

Одной из самых сложных остается задача построения теории квантово-полевых неабелевых систем при высокой температуре и больших плотностях. В докладе Ж.-П. Блезо предложен новый подход к получению высокотемпературной асимптотики для энтропии кварк-глюонной плазмы. Его основу составляют скелетные разложения в (самосогласованных) уравнениях Швингера–Дайсона для температурных функций Грина и учет, наряду с ведущими вкладами от квазичастиц с энергиями порядка T , также и неведущих вкладов от мягких мод с энергиями порядка gT с помощью нелокального эффективного действия. Несмотря на неясности, связанные с точностью используемого приближения, вдохновляющим обстоятельством является совпадение полученной температурной зависимости для энтропии с результатами вычислений на решете.

Новые результаты, полученные в рамках вильсоновского ренормгруппового подхода к описанию квантовой эволюции партонных корреляторов, обсуждались в докладе А.В. Леонида. Достижением является единый вывод известных линейных и нелинейных уравнений эволюции КХД в приближении главных логарифмов по энергии и поперечному импульсу соответственно. При рассмотрении обеих асимптотик используется единое эффективное действие и одна и та же стартовая древесная конфигурация для КХД-партонной модели. Приводятся явные формулы для точного ядра общих нелинейных уравнений эволюции КХД, относящиеся к двум различным предписаниям (двум способам фиксации нулевой моды) для глюонного пропагатора; описание нелинейных эффектов зависит от выбора этого предписания.

В докладе И.М. Дремина обсуждались распределения по множественности частиц в кварковой и глюонной струях, предсказываемые на основе точного уравнения для производящего функционала КХД. Высокое качество имеющихся экспериментальных данных позволяет проводить детальное тестирование пертурбативных рас-

четов и оценку непертурбативных вкладов. В другом докладе им же обсуждался один из самых мощных современных методов пособытийного анализа процессов множественного рождения, основанный на использовании вейвлет-преобразований. Этим методом в ядерных соударениях были выявлены кольцевые структуры, свидетельствующие в пользу эффектов типа черенковского излучения глюона в цветной среде.

Проблемам экспериментальной диагностики кварк-глюонной плазмы,ющей возникать на ранних стадиях соударений ультратректистических тяжелых ионов с помощью фотонных и дилептонных сигналов, были посвящены доклады И.В. Андреева и И.И. Ройзена соответственно. Согласно стандартному гидродинамическому описанию ядро-ядерных соударений при высоких энергиях переход кварк-глюонной плазмы в адроны в ходе динамического расширения должен сопровождаться излучением фотонов со специфическими спектральными и корреляционными характеристиками. Специфический дилептонный сигнал мог бы быть проявлением гипотетической "пион-валонной" фазы, промежуточной между фазой чисто кварк-глюонной плазмы и фазой конфайнмента и характеризующейся нарушением киральной симметрии и образованием конституентных кварков (валонов). Учет валонной фазы, возможно, позволит описать наблюдавшийся в ЦЕРНе на ускорителе SPS дефицит дилептонов, предсказываемых стандартными сценариями.

В связи с новыми экспериментальными возможностями не ослабевает интерес к эффектам квантовой электродинамики (КЭД) в сильных внешних полях, в различных средах и при наличии границ.

В обзорном докладе Г. Зоффа и др. представлен современный теоретический и экспериментальный статус КЭД в полях сильно ионизированных тяжелых ионов. Приводятся результаты непертурбативных вычислений лэмбовского сдвига энергетических уровней водородоподобного иона урана. Достигнутая в настоящее время относительная точность вычисления энергии основного состояния составляет 10^{-6} , что позволяет в ближайшее время провести более детальную проверку тонких эффектов КЭД в сильных полях ионов.

Изучению электрослабого фазового перехода в постоянном электромагнитном поле и его связи с бариогенезисом в рамках Стандартной модели посвящен доклад В. Демчика и В. Скалозуба. Рассмотрение ведется в терминах самосогласованного эффективного потенциала скалярного и электромагнитного полей при конечной температуре, вычисляемого с учетом однопетлевых и кольцевых диаграмм. Массы фундаментальных частиц принятые равными их экспериментальным значениям, масса хиггсовского бозона принимается лежащей в интервале 75–115 ГэВ. Для напряженности магнитного поля $H = 10^{22} - 10^{23}$ Гс численным расчетом установлено наличие фазового перехода первого рода, однако скачок параметра порядка мал. Для более сильных полей наблюдается кроссовер. Делается вывод, что в Стандартной модели гипермагнитное поле не порождает сильного фазового перехода, и условия для бариогенезиса не выполняются.

В докладе К. Милтона дан обзор различных аспектов эффекта Казимира применительно к скалярному, электромагнитному и фермионному полям. Проанализированы зависимости этого эффекта от геометрии и от

размерности пространства. Наиболее подробно рассмотрен электромагнитный эффект Казимира, в частности, его связь с силами ван-дер-Ваальса и его приложения к диэлектрикам и полупроводникам различной формы. Обсуждается также возможная связь этого эффекта с явлением сонолюминесценции, физическая природа которого пока остается загадкой. Вычисления проводятся параллельно как традиционным методом, так и методом функций Грина.

В докладе Ю. Аудреча и В.Д. Скаржинского обсуждается возможный подход к проблеме поглощения в квантовой механике, основанный на использовании сингулярных притягивающих потенциалов. Различные модели поглощения реализуются специальным выбором точных решений стационарного уравнения Шредингера. Подробно рассмотрено движение заряженной частицы в потенциале Аронова – Бома и осесимметричном потенциале, пропорциональном обратному квадрату расстояния до оси.

С. Фуллинг предложил новую схему аппроксимации фейнмановского интеграла для пропагатора частицы во внешнем поле. Предложенная аппроксимационная процедура, основанная на разложении Вигнера – Кирквуда на коротком, но конечном интервале времени, быстро сходится, так что разбиение полного интервала времени уже на небольшое число интервалов обеспечивает хорошее приближение.

По общему мнению участников, конференция была хорошо организована и прошла успешно.

PACS number: 01.10.Fv

О Ефиме Фрадкине¹

В.Л. Гинзбург

Я уже много лет не занимаюсь проблемами, обсуждению которых посвящена настоящая конференция. Но она организована в память о Ефиме Фрадкине, и поэтому я решил здесь выступить. Дело в том, что я познакомился с Ефимом (Фимой, как мы его называли) раньше всех присутствующих. О том, как и почему я увидел Фиму в первый раз, скажу позже. Начну же с его биографии².

Ефим Самойлович Фрадкин родился 30 ноября 1924 г. в Белоруссии в местечке Щедрин, находившемся в так называемой "чертеже оседлости". В этой аудитории не все, особенно иностранцы, знают, что это означает. А означает это то, что в царской России, т.е. до 1917 г., евреи имели право проживать лишь в пределах определенных границ. Исключение делалось лишь для крестьянских евреев, богатых купцов и т.д., к числу которых Фрадкины не относились. Это была бедная, многодетная семья. Жили тяжело, а отца, бывшего раввина, к тому же репрессировали, и он умер в тюрьме. К счастью, расовых ограничений, а попросту говоря государственного антисемитизма, в 30-е годы в СССР не было, и Фима смог в 1940 г. поступить в Минский университет. Он проучился

там лишь один год до начала Великой Отечественной войны, т.е. до 22 июня 1941 г. Фиме удалось выбраться из Белоруссии до ее оккупации, но его мать, две сестры и младший брат погибли от рук нацистов. Из всей семьи, кроме Фимы, в живых остался только его старший брат, находившийся в армии. Фима некоторое время провел в эвакуации в Башкирии, работал учителем в школе, а в начале 1942 г. добровольцем ушел в армию рядовым. Под Сталинградом он был очень тяжело ранен, а после госпиталя попал в артиллерийское училище. Затем опять воевал, но уже офицером. Он получил боевые награды. С 1945 г. Ефим, продолжая служить в армии, заочно учился во Львовском университете. Только после демобилизации в 1946 г. он смог нормально учиться, и окончил университет в 1948 г. При этом написал целых две дипломные работы, одна из них, к сожалению, не опубликованная, была посвящена влиянию электрического поля на некоторые переходы в атомах. Во второй работе Ефим рассмотрел поведение релятивистской частицы со спином 5/2. Эту тему он сам выбрал после того как прочел в библиотеке мою статью, посвященную спину 3/2 [4]. Ему и захотелось обобщить мое рассмотрение на случай более высокого спина (позже эта статья была опубликована [5]).

По-видимому, во Львове совсем не было специалистов в области релятивистской квантовой теории, поэтому Фиме в 1947 г. удалось, пользуясь правами демобилизованного офицера, поехать в Москву. Вероятно, мы до этого обменялись письмами, не помню. А вот что хорошо помню, так это то, как Фима появился в ФИАНе (Физическом институте АН СССР им. П.Н. Лебедева), чтобы поговорить со мной. Мы встретились еще в старом здании ФИАНа на Миусской площади, сейчас там находится Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша. У меня был очень маленький кабинетик, какая-то отгороженная клетушка. И вот появился худенький мальчик низкого роста, в шинели. Я уступил ему единственный стул, а сам сидел на столе. Фима потом рассказывал мне, что был поражен: он рассчитывал увидеть солидного, важного профессора, (по-видимому, во Львове, до 1939 г. входившем в состав Польши, еще сохранилась такая старая профессура). А мне был 31 год, я не был солидным и важным. Да и никто у нас в Теоретическом отделе ФИАН не был солидным и важным, даже основатель Отдела проф. Игорь Тамм, хотя ему тогда было уже 52 года. В Отделе царила дружеская и демократическая атмосфера. Конечно, судить лучше со стороны, а я работаю в Отделе уже 60 лет (с 1940 г.). Но позволю себе высказать мнение, что наш Отдел не типичен, за все эти 60 лет у нас имел место только один серьезный конфликт, связанный с увольнением одного из сотрудников. Типично же для Отдела уважение к молодежи, отсутствие "приписывания" к чужим работам. В частности, Фима был моим аспирантом, мы много общались в тот период и обсуждали различные вопросы, но ни одной совместной публикации у нас нет. И.Е. Тамм и я оценили способности Фимы, и рекомендовали ему поступить в аспирантуру ФИАН. Но очень непросто было этого добиться, ибо в стране уже процветал государственный антисемитизм. С большим трудом Фиму удалось в 1948 г. принять в аспирантуру, да и то, думаю, лишь потому, что он получил ранение на войне. Кстати, мне кажется, что Фима стал бывать в Отделе еще в конце 1947 г. Насколько понимаю, Фима

¹ Выступление на Международной конференции "Квантование, калибровочные теории и струны", посвященной памяти Ефима Самойловича Фрадкина 5 июня 2000 г.

² В докладе частично повторен рассказ, опубликованный в моей статье [1] в сборнике, посвященном 60-летию Е.С. Фрадкина [2]. См. также некролог [3].

был счастлив (он и сам мне это подтвердил [2]) — наконец-то после стольких лет очень тяжелой жизни он попал в подходящее место. И он "ответил" самозабвенной работой, видимо считая, и не без оснований, что много времени упустил. Работоспособность Ефима, его преданность науке и работе, обращали на себя внимание, хотя и все мы не лодырничали. К тому же, Фима был одинок и, можно сказать, все у него "ушло" в работу. Интересовали его в первую очередь принципиальные вопросы, недаром он еще самостоятельно занялся теорией спина. Хорошую компанию ему составляли молодые сотрудники и аспиранты Отдела, в том числе Андрей Сахаров (он был на 3 года старше Фимы, поступил в аспирантуру Отдела в 1945 г., а в ноябре 1947 г. защитил кандидатскую диссертацию).

К сожалению, а может быть и к счастью, ибо это сыграло положительную роль в его судьбе, Ефим не смог еще несколько лет отдавать все силы решению принципиальных вопросов. Дело в том, что в 1948 или 1949 г. он был включен в группу И.Е. Тамма, занимавшуюся закрытой работой (содержание этой работы было рассекречено лишь в 1990 г.(!) после смерти А. Сахарова; целью работы было создание водородной бомбы). Е. Фрадкин несколько лет занимался рядом вопросов: процессами переноса в горячей плазме [6], гидродинамикой [7] и теорией турбулентного перемешивания [8] (эти работы были опубликованы с запозданием после рассекречивания). Но, как я уже отмечал, в душе Ефим стремился к другого типа проблематике, и не только опубликовал упомянутую статью о спине 5/2 [5], но и статью о реакции излучения в классической теории электрона [9]. Главное же, он успевал следить за текущей литературой в области физики элементарных частиц, как тогда эта область называлась. Интересовался он и квантовой статистикой. Начиная с 1953 или 1954 г., Ефим смог отдавать исследованиям именно в этих областях (квантовой теории поля и квантовой статистике) почти все свои силы. "Новая жизнь" началась для него в это время и в другом отношении: в 1955 г. Фима женился. Это был очень счастливый брак. Весь Отдел был на свадьбе, я описывал ее в статье [1], и как-то не хочется повторяться. После, условно говоря, 1955 г. и вплоть до своей смерти год назад (точнее, 25 мая 1999 г.), Ефим напряженно занимался любимым делом. Разве что мешали болезни — тяжелые детство и юность, да и ранение сказывались. Опять же, несколько условно в районе 1955 г., я практически перестал заниматься упомянутыми проблемами, которые были в центре внимания Ефима. Поэтому было бы неуместно, если бы я остановился здесь на результатах его работы в области квантовой теории поля и квантовой статистики, тем более, что это сделано в сборнике [2], некрологе [3] и, главное, найдет отражение на настоящей конференции. Мне хотелось бы, однако, сделать еще два замечания. Вот что писал в своих "Воспоминаниях" А.Д. Сахаров ([10], с.108): "Из всей нашей компании Фрадкин единственный достиг того амплуа высокопрофессионального физика-теоретика "переднего края", о котором мы все мечтали. У него большие достижения почти во всех основных направлениях квантовой теории поля (метод функций Грина в теории перенормировок, функциональное интегрирование, калибровочные поля, единые теории сильного, слабого и электромагнитного взаимодействия, общая теория квантования систем со связями,

супергравитация, теория струн и др.). Ему первому, независимо от Ландау и Померанчука, принадлежит открытие "Московского нуля". Многие из полученных Фрадкиным результатов являются классическими. В методических вопросах Фрадкин не имеет себе равных". Думаю, что это справедливая оценка. И, кстати сказать, во время ссылки Сахарова Ефим несколько раз ездил к нему в г. Горький и всячески ему помогал. Ефим Фрадкин был ярким представителем целого поколения или слоя советских физиков, занимавшихся наукой с огромным энтузиазмом. Между тем в материальном отношении жили мы, по американским и европейским стандартам, довольно плохо. Ездить за границу в сталинский период, особенно в период "холодной войны", могли лишь избранные. С 1947 г. началась травля так называемых космополитов, прекратилось издание прекрасного журнала *Journal of Physics USSR*, а наши русские журналы перестали переводиться на английский язык. Я уже не говорю о полном отсутствии свободы слова при тоталитарном режиме. А вот, повторяю, работали с большим энтузиазмом. И это поражало некоторых наших иностранных коллег. Так, кажется в 1956 г., в СССР впервые после многих лет приехала большая группа именно таких высокопрофессиональных физиков-теоретиков, о которых писал Сахаров. Среди них был Фримен Дайсон (F. Dyson). По возвращении домой он в какой-то своей статье особо отметил сказанное (энтузиазм советских коллег), и дал ему такое объяснение: "ведь у них больше ничего нет" (цитирую по памяти). Другими словами, "все ушло в науку", таким способом удается забыть о тяготах жизни. Это глубокое замечание (здесь Ефим Фрадкин является ярким примером), и долгое время я считал его вполне правильным³. Но сейчас уже не считаю такое объяснение исчерпывающим. В самом деле, сейчас у нас в России, после падения преступного большевистского ленинско-сталинского режима, есть свобода слова и свобода передвижения. Научные работники, как и все граждане, могут практически свободно ездить за границу и общаться со своими коллегами во всем мире лично или по почте, как обычной, так и электронной. Основные наши журналы переводятся на английский язык. Есть, конечно, и сейчас немало энтузиастов, отдающих все силы науке. Однако тонус, общий дух совсем не тот. Немало молодых людей вообще уходят из физики (например, в бизнес), другие уезжают за границу или работают как-то вяло, плохо посещают семинары. Старым людям нередко кажется, что в дни их молодости "все было лучше". Но я убежден в том, что не этот эффект объясняет мой диагноз. Думаю, что объяснение в основном такое: изменился общественный статус физиков в России. В СССР физики и представители некоторых других специальностей были, можно сказать, солью земли. Заниматься физикой было престижно. И к тому же заработная плата у научных работников была чуть ли не самой высокой в стране, если не считать высших партийных и советских чиновников. Сейчас же положение науки в России очень тяжелое во всех отношениях. Резко не хватает денег на оборудование и литературу, а зарплата очень низкая не только по международным стандартам, но и по сравнению со всякими клерками и

³ Именно об упомянутой здесь статье Ф. Дайсона я пишу в статье [11], посвященной памяти Д.А. Киржица.

секретаршами в банках и фирмах даже в России. В то же время появилось много богатых людей, иногда просто жуликов, зарабатывающих несравненно больше, чем самый высококвалифицированный физик. Не думаю, что наши аспиранты и кандидаты наук (это примерно уровень Ph.D) в материальном отношении живут хуже, чем в 50-ые годы, не говоря уже о 30-х и 40-х годах. Но они нищие по сравнению с так называемыми "новыми русскими", со всяkim жульем. Это не может не действовать. Но я все же не склонен преувеличивать и надеюсь, что Россия и, в частности, физика в России в недалеком будущем поднимут голову. Впрочем, бывшие студенты и сотрудники Ефима Фрадкина и сегодня головы не опускают, и во многом переняли и сохранили его трепетное отношение к науке, преданность ей. Думаю, что организация настоящей конференции является одним из тому доказательств. Надеюсь, конференция будет успешной. Всячески желаю вам этого.

Список литературы

1. Ginzburg V L, Статья в сборнике [2] Vol. 2 (1987) p. 15
2. *Quantum Field Theory and Quantum Statistics. Essays in Honour of the Sixtieth Birthday of E S Fradkin* (Eds I A Batalin, C J Isham, G A Vilkovisky) (Bristol: A. Hilger, 1987)
3. Баталин И А и др. "Памяти Ефима Самойловича Фрадкина" УФН **169** 1281 (1999)
4. Гинзбург В Л ЖЭТФ **12** 425 (1942)
5. Фрадкин Е С ЖЭТФ **20** 27 (1950)
6. Фрадкин Е С ЖЭТФ **32** 1176 (1957)
7. Фрадкин Е С Труды ФИАН **29** 250, 257 (1965)
8. Беленький С З, Фрадкин Е С Труды ФИАН **29** 207 (1965)
9. Фрадкин Е С ЖЭТФ **20** 211 (1950)
10. Сахаров А Д *Воспоминания* (М.: Права человека, 1996)
11. Сборник статей памяти Д.А. Киржнца (М.: Наука) (в печати)

PACS number: 01.10.Fv

Е.С. Фрадкин как личность

Е.Л. Фейнберг

Я хочу сказать несколько слов о Фрадкине как о личности. Его научные заслуги и достоинства не нужно специально описывать, достаточно взглянуть на зал и увидеть, как много активно работающих современных теоретиков с готовностью приняли приглашение приехать на эту мемориальную конференцию.

Как человек он был замечателен во многих аспектах. Я остановлюсь только на двух его выдающихся качествах. Он был смелым и умным человеком.

Он был мужественным солдатом и офицером на фронте на протяжении всех лет Великой Отечественной войны, и это подтверждается не только количеством наград, которые он получил, но и еще одной тонкостью. Среди полученных им орденов был один, который не принадлежит к числу самых высоких, но имеет особое значение, — орден Красной звезды. Им награждали за мужество, проявленное на поле боя при непосредственном столкновении с врагом "лицом к лицу".

Но и обычая, повседневная жизнь в нашей стране нередко требовала настоящего мужества от человека, желающего оставаться честным. Фрадкин вступил в Коммунистическую партию на фронте. В то время многие вступали в партию, отнюдь не разделяя всех ее идеалов и не одобряя всех ее действий. Такой поступок был просто выражением ненависти к нацизму. Могут

спросить: а почему он оставался в партии много лет после войны?

Этот вопрос может возникнуть только у того, кто не жил тогда в нашей стране и не понимает, что это было невозможно, так как грозило тяжелыми карами. Я знаю только один такой случай, но, конечно их было все же немало.

В темный период преследований, которым подвергался А.Д. Сахаров (как известно, он был сотрудником нашего Теоретического отдела) партийные боссы нашего института и более высокие — из райкома партии и даже ее Центрального Комитета, обрушились на Фрадкина и других партийцев Теоретического отдела за то, что они, как и все сотрудники Отдела, отказались участвовать в травле Сахарова, не прокляли его. Давление партийных органов концентрировалось, главным образом, на Фрадкине. Ему угрожали различными наказаниями, и не пустили на Нобелевскую научную конференцию, на которую он был приглашен с докладом, но ни он, ни кто-либо еще в Теоретическом отделе, в частности, еще три партийца не уступили. Ответственным за это считали Фрадкина, возглавлявшего партийную группу Отдела.

Чтобы показать как умен был Фрадкин в обычных делах, я расскажу о двух эпизодах.

Когда Сахаров умер, распространились разные слухи и версии о причинах его смерти, носившие политический характер. Фрадкин понял, что ситуация должна быть прояснена. Он отправился к патриарху советских патологоанатомов профессору Раппопорту, одному из тех врачей — "убийц в белых халатах", которые были арестованы за несколько месяцев до смерти Сталина, и убедил его поехать на процедуру патологоанатомического вскрытия, чтобы не допустить какой-либо фальсификации. Раппопорт не входил в официальную комиссию, назначенную для этого правительством. Но все ее участники-врачи были учениками Раппопорта и не могли не допустить его к их работе. Так было покончено со всеми фантастическими слухами.

Другой пример не имеет такого мрачного характера.

Когда Фрадкин был на фронте, его командир однажды получил инструкцию: все солдаты, имеющие среднее образование, могут подавать заявления о зачислении их в офицерскую школу. Почти все солдаты заявили, что они имеют среднее образование, но документы были утеряны в хаосе первых месяцев войны. Командир Фрадкина спросил его, может ли он быстро установить правду. Фрадкин сказал, что может, но попросил предоставить ему комнату с двумя дверями. Через одну солдат должен был входить, а через другую выходить после экзамена, не контактируя с теми, кто ждал своей очереди. Экзамен происходил так. Солдат входит и Фрадкин говорит ему: "Напишите: $\sin x$ ". Неграмотный солдат берет карандаш и пишет русскими буквами: "синус икс". Все становятся ясным о его образовании. Фрадкин был очень привлекательным человеком. Когда он стал у нас аспирантом, я был уже профессором. Но демократический дух, царивший в Теоретическом отделе, был таков, что мы довольно скоро стали друзьями.

В последние десятилетия мы жили по соседству и по вечерам часто гуляли вместе, обсуждая самые различные проблемы. Его суждения всегда были умны и интересны. Это были счастливые часы. Он был честный, приятный и дружелюбный человек.

Ефим Самойлович Фрадкин заслужил добрую память о себе.