

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу
Попова Федора Калиновича
«Нестационарные явления во внешних сильных полях»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности – 01.04.02 – теоретическая физика

Построение традиционной квантовой теории поля всегда начинается с процедуры квантования свободных полей, введения операторов рождения и уничтожения частиц и описания вакуума, как основного состояния, в котором нет частиц. Далее квантовая теория поля обычно отвечает на вопросы о вероятности рассеяния или рождения частиц для различных типов взаимодействия. Исходно все методы квантовой теории поля были основаны на том, что есть хорошо определенное вакуумное состояние (заданное раз и навсегда), над которым рождаются частицы. Однако во внешних сильных полях (классических), в том числе и в космологии, неминуемо складывается ситуация, в которой с точки зрения обычной квантовой теории поля само понятие вакуума меняется со временем (нет стационарного вакуумного состояния).

В диссертации обсуждаются как раз такие вопросы, не характерные для традиционной квантовой теории поля, но которые необходимо изучать в квантовой гравитации и космологии. Заметим, что с процессами рождения частиц внешними полями можно встретиться в самых разных областях физики, в том числе и в теории конденсированного состояния. Поэтому результаты диссертации важны не только для космологии и квантовой гравитации.

Проблема в рассмотренных в диссертации теориях состоит в том, что в них возникают секулярно растущие поправки к физическим величинам. Такое поведение указывает на «неустойчивость» теории, на серьезную перестройку основного состояния, на необходимость изменения каких-то представлений о рассматриваемой системе.

К достоинствам диссертации в целом я бы отнес довольно подробное введение, позволяющее легко понять используемые методы, а также ясную постановку задач в каждой главе. В работе рассмотрены три конкретные системы: поведение скалярной теории поля в гравитационном поле пространства де-Ситтера, рождение частиц в постоянном электрическом поле (эффект Швингера) и поведение скалярного поля на фоне гравитационного коллапса тонкой оболочки (эффект Хоккинга). Было показано, что в каждой из этих трех систем возникают сложности, связанные с неограниченным ростом со временем келдышевских пропагаторов, то есть происходит неограниченный рост числа частиц, что указывает на нестабильность рассматриваемых теорий.

Такое поведение вначале обсуждается для скалярной теории поля в нетривиальном внешнем гравитационном поле пространства де –Ситтера. Прямым вычислением показано, что поправки к числу частиц неограниченно растут со временем. Это приводит к важному выводу, что в некоторых случаях пространство де-Ситтера будет нестабильным из-за квантовых эффектов, связанных со скалярным полем.

Довольно подробно рассмотрен эффект Швингера. Показано, что уже в однопетлевом приближении возникают секулярно растущие петлевые вклады в фотонном пропагаторе Келдыша. При вычислении тока оказывается, что он также линейно растет со временем. Для выхода за рамки первых порядков теории возмущений было выведено непертурбативное кинетическое уравнение для матрицы плотности фотонов, позволяющее описать поведение системы в разных режимах. Для полноты картины задача была рассмотрена в двух различных калибровках потенциала, описывающего статическое внешнее электрическое поле. Хотя формально гамильтонианы в разных калибровках различны, что приводит к различной интерпретации причин возникновения секулярно растущих поправок, естественно, физические величины, такие как скорости рождения частиц, токи оказываются одинаковыми, как и должно быть в калибровочно инвариантной теории.

В главе об эффекте Хоккинга исследовано поведение скалярного поля на фоне гравитационного коллапса тонкой оболочки. И главный результат здесь, пожалуй, в том, что классический ответ может сильно поменяться за счет квантовых поправок. Это происходит из-за того, что первая поправка к функции Келдыша скалярного поля секулярно растет со временем. А это указывает на то, что поток скалярных частиц может измениться произвольно сильно.

Все рассмотренные задачи, несомненно, являются актуальными, имеют непосредственное отношение к важной современной области – квантовой гравитации. Применяемые теоретические методы позволяют получить в этих задачах достоверные ответы.

Некоторые замечания к тексту диссертации состоят в следующем.

Повторяемые много раз слова об адиабатическом включении взаимодействия, вообще говоря, являются данью традиции. При применении техники Келдыша включение взаимодействия может быть и внезапным. Никаких изменений в ответе о секулярных расходимостях в келдышевских функциях Грина при этом не будет.

Начиная с 1.44 и во всех формулах, в которых явно написаны петлевые поправки, было бы лучше писать их не через волновые функции, а через функции Грина в определенном выбранном представлении, то есть через произведения двух собственных

функций. Так и запись была бы компактнее, и структура получающихся выражений --- яснее. Секулярный вклад в келдышевскую функцию дают не все члены, а некоторые определенные комбинации, что упростило бы анализ.

Увлечение первыми петлевыми поправками – это наследие традиционной квантовой теории поля. Спрашивается, например, есть ли смысл в однопетлевом вычислении функции Грина скалярных частиц с «нулевыми» фотонными функциями? Ведь на странице 84 есть маленькое замечание, что келдышевские функции Грина скалярных частиц тоже будут иметь секулярную расходимость из-за того, что даже первая поправка к фотонным функциям Грина-Келдыша эту расходимость имеет. В таких ситуациях следует сразу либо интересоваться скоростями рождения частиц из кинетического уравнения, либо искать новое стационарное распределение частиц, отличное от начального.

На стр.87 выведено кинетическое уравнение 3.44, решение которого зависит от соотношения скоростей Γ_1 и Γ_2 . Выражения для Γ_1 и Γ_2 в работе приведены, но нет их оценки и обсуждения, как и от каких параметров они зависят – например, от величины постоянного электрического поля.

Попадают неудачные обозначения и термины. Так, в формуле 1.27 и дальше гармоники обозначены буквой g , той же, что и метрика. Конечно, при чтении понятно, где гармоники, а где метрика, но лучше было бы подумать об обозначениях. Слово «пульс» в русском языке все-таки следует заменять на «импульс». В принципе, понятно, что слова «скалярная квантовая электродинамика» - это взаимодействие векторного электромагнитного поля со скалярным полем, но мне кажется, что это жаргон.

Видно, что высказанные замечания не ставят под сомнение полученные результаты, а касаются формы изложения или являются пожеланиями. В целом, в диссертации решены важные задачи, существенные для физики квантовой гравитации и космологии, имеющие также отношение и к другим областям физики. Работа была выполнена на высоком научном уровне, автор внес определяющий вклад во все представленные результаты, диссертационная работа написана им самостоятельно.

Основные результаты, вошедшие в диссертацию, были своевременно опубликованы в 4 статьях в ведущих журналах по физике, индексированных в базах данных Web of Science и Scopus, докладывались на большом количестве семинаров и международных конференций. В опубликованных статьях полностью изложены положения диссертации, выносимые на защиту. Выводы и заключения, сделанные автором, обоснованы. В автореферате правильно и полностью изложено содержание диссертационной работы.

Таким образом, диссертация Попова Федора Калиновича «Нестационарные явления во внешних сильных полях», полностью удовлетворяет всем требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, безусловно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика

02 марта 2017 г.

Официальный оппонент

Арсеев Петр Иварович

Гнс Отделения теоретической физики им. И.Е. Тамма
Физического института им. П.Н. Лебедева РАН
д.ф.-м.н., член-корреспондент РАН
Почтовый адрес: 119991 Москва,
Ленинский проспект 53
Тел. 499-1326271
ars@lpi.ru

Подпись П.И.Арсеева заверяю

Заместитель директора ФИАН,
д.ф.-м.н.

С.Ю.Савинов