

ОТЗЫВ

официального оппонента Горбунова Дмитрия Сергеевича на диссертацию Попова Фёдора Калиновича «Нестационарные явления во внешних сильных полях», представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02-теоретическая физика.

В физике элементарных частиц как фундаментальной дисциплине имеют дело с распространением, взаимодействиями, рождением, распадом и аннигиляцией индивидуальных частиц. Созданный для описания этих процессов математический аппарат квантовой теории поля наиболее успешно реализовался для пертурбативных процессов на вакуумном фоне. В то же время имеется широкий класс задач, где существенно участие многих частиц, в том числе в когерентном состоянии (что есть классическое поле), для описания которых привлекают дополнительные методы, в частности из статистической физики. Ситуация существенно усложняется, если макроскопические характеристики системы, например плотности частиц, параметры поля, начинают существенно изменяться со временем. Диссертация Попова Ф.К. как раз посвящена применению одного из весьма успешных в этой ситуации методов пертурбативного вычисления, получившего в литературе название диаграммной техники Келдыша—Швингера, для вычисления функций Грина и получения спектров рождённых во внешних полях частиц.

В диссертации рассмотрено рождение бозонных частиц внешним гравитационным полем (на примерах пространства де Ситтера и коллапсирующей в чёрную дыру гравитирующей оболочки) и внешним электрическим полем. Эти исследования имеют прямое отношение к: 1) задаче об образовании скалярных возмущений (пространственных неоднородностей в распределении материи) из квантовых флуктуаций скалярного поля, эволюционирующих на гипотетической инфляционной стадии развития Вселенной, 2) задаче о рождении частиц внешним электрическим полем (эффект Швингера), 3) задаче о квантовом испарении чёрных дыр (эффект Хокинга). Первая задача является одной из ключевых для космологии ранней Вселенной, поскольку именно этот процесс, вероятно, оставляет наблюдаемый след от гипотетической инфляционной стадии, что даёт принципиальную возможность проверки самой идеи инфляции. Третья задача является одной из наиболее известных на стыке

гравитации и квантовой теории, и часто обсуждается в связи с информационным парадоксом чёрных дыр. Сказанное подтверждает важность и актуальность темы диссертации.

Каждой из вышеприведённых задач в диссертации отведена отдельная глава. Представлены подробные вычисления, доведённые до конкретных ответов, и в этом я вижу основное достоинство данной диссертации. Основным же недостатком нахожу полное отсутствие обсуждения физической составляющей рассматриваемых задач и какой-либо интерпретации полученных ответов, что делает работу незаконченной и не позволяет однозначно оценить значимости проделанных вычислений и дальнейших перспектив их использования.

Во Введении (первая глава диссертации) обозначена тема диссертации, сформулирован круг конкретных задач и представлено краткое, но вполне самодостаточное описание применяемых для решения этих задач методов. В частности, обсуждается диаграммная техника Келдыша—Швингера, в том числе через формализм функционального интеграла, вычисление петлевых поправок и их суммирование через уравнение Дайсона—Швингера.

В этой части диссертации, вероятно, содержится основная часть всех опечаток, что не мешает играть ей отведённую роль коллекции основных математических формул, широко используемых в основных главах диссертации. К сожалению, связи конкретных физических проблем с фактически изучаемыми теоретическими моделями, применимости используемых методов в тех или ситуациях, физической интерпретации полученных результатов не уделено никакого внимания. Формулировка результатов носит сугубо математический характер, что обескураживает, но правильно отражает как характер проделанной работы, так и представленный текст диссертации. Отдельно отмечу, что нахожу неудачной формулировку результата о получении излучения Хокинга из первых принципов, поскольку широкое обсуждение подобных результатов в обзорах (см. например [gr-qc/0308048](#)) убеждает в существовании ранее известных полных альтернатив.

Во второй главе диссертации обсуждается теория массивного самодействующего скалярного поля в пространстве де Ситтера. Представлено несколько эквивалентных геометрических описаний четырёхмерного многообразия модели, показана роль гравитации как внешнего поля при квантовополевом описании массивного скаляра.

Вычислены свободные корреляционные функции и лидирующие петлевые поправки, отдельно рассмотрены случаи расширяющейся и сжимающейся карт Пуанкаре. Проведено суммирование лидирующих в инфракрасии вкладов в кинетическом уравнении.

В начале главы сделана попытка пояснить актуальность данного исследования для широко обсуждаемых физических задач. К сожалению этому уделено лишь полстраницы, и вызывает больше вопросов (например, при чём тут вопрос о малости космологической постоянной?), чем содержит ответов, в особенности после ознакомления с полным текстом главы. В реалистичных задачах интерес представляет рождение частиц на инфляционной стадии. Полученный в конце раздела 2.2 и оставленный без какого-либо обсуждения результат о невозможности диагонализировать гамильтониан наивно означает отсутствие понятия частицы, а значит и связи вычислений в диссертации с реалистичными задачами. В главе активно обсуждаются различные поведения корреляторов при разном выборе вакуумов, но какой выбор правильный для стоящих задач не обсуждается совсем. Вместе с тем было бы интересно выяснить, есть ли связь между линейным ростом скалярного спектра (2.41) и известным ростом дисперсий скалярных полей в моделях с длительной инфляционной стадией. Полученное в разделе 2.6. экспоненциальное подавление рождения тяжёлых частиц гравитационным полем также напоминает известный результат о рождении частиц в расширяющейся Вселенной, но и здесь связь не прослеживается. В завершение главы получено сингулярное при конечном времени решения для величины (имеющей смысл?) спектра скалярных частиц, но никакого вывода отсюда не сделано. Непонятен физический смысл рассматриваемого в работе начального ненулевого заселения уровней, учитывая экспоненциальный закон изменения физических импульсов частиц. Верно ли, что никаких подобных явлений заведомо не будет для фермионов?

В третьей главе рассмотрено рождение частиц внешним электрическим полем на примере скалярной электродинамики. Исследованы случаи двух выборов калибровки для электрического поля. Вычислены однопетлевые поправки к пропагаторам скаляров и фотонов, к вершинной функции, проведено суммирование лидирующих инфракрасных поправок. Найдены петлевые поправки к вычислению индуцированного рождением частиц электрическому току.

Изложение начинается с указания об интересе к данной задаче в

контексте проблем квантовой гравитации. И здесь, возможно, малость уделённого места не даёт возможность проследить анонсированную связь, а выводов для гравитационной теории из полученных в главе результатов диссертант никаких не сделал. Далее утверждается, что рассмотрение процесса «в гауссовом приближении» приводит к нулевому току рождённых частиц. Поскольку величину тока можно оценить из темпа рождения частиц в эффекте Швингера, то следовало бы поставить ссылку на работу, где получен этот ответ. Не упомянуто альтернативных предлагаемому диссертантом решений данной проблемы. В записи амплитуды (3.1) опущены граничные условия, которые в формализме функционального интеграла определяют тип получаемой функции Грина. При обсуждении статуса швингеровского ответа (3.11) сделан не основанный на изложенном выше в этой главе вывод «что-то нетривиальное происходит с квантовой теорией поля». В дальнейшем подробно обсуждается выбор вакуума, и калибровки для электрического поля. Было бы полезно обсудить насколько это ограничивает выбор калибровки для фотонного пропагатора. В частности, в разделе 3.4.4 обсуждаются «свойства обычные для матрицы плотности фотонов», однако часть из них (в том числе 4-мерная поперечность) зависит от выбора калибровки. В главе представлено несколько по виду разных ответов для тока (3.27), (3.40), (3.59), безо всякого сравнения и даже без указания, какой из них (если такой имеется) совпадает с ожидаемым для эффекта Швингера. Жаль, что по полученным формулам, например (3.30), не представлено спектров. Есть ли связь между проделанными вычислениями и ожидаемым в системе рассеянием рождённых электронов на внешнем поле (и друг на друге) с испусканием фотонов или есть другой аналог (рождение фотона и скалярной пары внешним полем)? После рассуждений о роли иерархии темпов процессов испускания и поглощения в конце раздела 3.4 следовало бы привести численные оценки для этих темпов в зависимости от величины импульса, что было бы отличной иллюстрацией полученного результата. В некоторых вычислениях получаются не растущие со временем вклады, например (3.56), но казалось бы полное число рождённых частиц в пределе больших времён должно расти, в чём некорректность рассуждения?

В четвёртой главе вычисляются петлевые поправки к излучению Хокинга. В качестве гравитирующего источника традиционно выбрана коллапсирующая сферически-симметричная тонкая массивная оболочка, в

качестве излучаемых частиц – массивные скаляры с самодействием. Здесь следует отметить краткое, но чёткое обсуждение того, что в дальнейшем будет называться спектром рождённых частиц. Далее идёт вычисление гравитационного поля коллапсирующей оболочки, получение гармоник начального состояния на разных стадиях коллапса. В разделе 4.4 выводится излучение Хокинга, однако на удивление ни про одну из полученных формул не сделано утверждения, что она даёт известный результат. Раздел завершается указанием на зависимость ответа от выбора масштаба ультрафиолетовой регуляризации, опять безо всякого намёка на то, как это соотносится с правильным физическим результатом. В следующем разделе проведено вычисление поправки к пропагатору Келдыша, возникающей из-за самодействия скалярного поля. Получены растущие со временем вклады в оба слагаемых (функции N и K), что качественно отличается от некоторых результатов, полученных для случая постоянного электрического поля, см. например формулу (3.54) и ниже, что следовало бы обсудить. Непонятно, почему не просуммированы лидирующие растущие со временем вклады, как это было сделано в предыдущих главах., тем более что это «необходимо», «чтобы понять физику полученных секулярно растущих вкладов». Отмечу, что в соответствующих местах других глав «физика» не прояснена. В любом случае жаль, что не представлено ожидаемой поправки к спектру хокинговского излучения. Следовало бы также пояснить надежды на возможную связь этих результатов с информационным парадоксом, упомянутую в самом конце главы.

В завершающей пятой главе кратко перечислены полученные результаты с указанием физических процессов, для которых они могут быть существенны.

Подводя итог перечислению недостатков диссертации, отмечу отсутствие физической интерпретации проделанных математических упражнений как главный недостаток. Текст диссертации имеет также ряд недостатков в оформлении. Автор не потрудился расставить по порядку ссылки на литературу, некоторые работы из списка на самом деле не используются в тексте (например, ссылка [74]). Во многих предложениях потеряна согласованность падежей, хромает пунктуация, используются англоязычные терминология и правила образования прилагательных от индивидуальных названий людей. Местами отсутствуют или некорректно расставлены ссылки на формулы, например на стр.11,19, используются

различные обозначения для одной и той же величины, некоторые переменные не определены в тексте, есть опечатки в промежуточных формулах, например на стр.12, 18, 19, 38, 48, 55, 57, 60, 61, 78, 91.

Вышеизложенные недостатки и вопросы не снижают ценности диссертации как фундаментального научного исследования. Полученные результаты являются новыми. Они чётко обоснованы математически и изложены в четырёх публикациях в зарубежных рецензируемых журналах. Результаты многократно докладывались на российских и международных конференциях, а также на научных семинарах в целом ряде институтов.

Автореферат правильно и детально отражает содержание диссертации. Диссертационная работа полностью отвечает всем требованиям Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842, а сам автор, Попов Фёдор Калинович, безусловно заслуживает присуждения искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Ведущий научный сотрудник ФГБУН
Институт ядерных исследований
Российской академии наук,
доктор физ.-мат. наук,
член-корреспондент РАН

Горбунов
Дмитрий Сергеевич

Адрес служебный: пропект 60-летия Октября, 7а, Москва, 117312

Тел.: +7(499)783-9291

e-mail: gorby@ms2.inr.ac.ru

Дата: 06/03/2017

Подпись Д.С. Горбунова удостоверяю.

Учёный секретарь ФГБУН
Институт ядерных исследований
Российской академии наук,
кандидат физ.-мат. наук

Селидовкин
Андрей Дмитриевич