

ОТЗЫВ

официального оппонента о диссертации Казинского Петра Олеговича «Непертурбативные эффекты в интенсивных электромагнитных и гравитационных полях», представленной на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика

Диссертация П.О. Казинского посвящена исследованию некоторых непертурбативных эффектов в квантовой электродинамике и квантовой гравитации. Это, прежде всего, непертурбативные эффекты в динамике и излучении локализованных волновых пакетов релятивистских электронов (позитронов) и в динамике квантовых полей на искривленном пространстве-времени, т.е. в квантовой гравитации в ковариантной формулировке.

Исследование непертурбативных эффектов в квантовой электродинамике началось с работ Эйлера, Гейзенберга и Вайскопфа, получивших в 30-х годах прошлого века непертурбативное однопетлевое выражение для эффективного действия электромагнитных полей в инфракрасном пределе. В данной диссертационной работе исследуется, в определенном смысле, другая часть эффективного действия, а именно эффективное действие фермионов после интегрирования по электромагнитным полям. Соответствующее этой части эффективного действия уравнение Швингера-Дайсона, определяющее непертурбативную динамику электронов, не может быть решено точно, и явное выражение для него может быть найдено только в определенном приближении. В ведущем порядке по постоянной тонкой структуры оно сводится к нелинейному релятивистскому уравнению типа Хартри. Чтобы получить приближенные решения этого уравнения, автор диссертации использует известный квазиклассический метод траекторно-сосредоточенных состояний. Данный метод применим только для достаточно локализованных волновых пакетов электронов (позитронов). В результате анализ динамики таких волновых пакетов сводится к исследованию самосогласованных классических уравнений движения – уравнения Лоренца-Дирака или Ландау-Лифшица (в пренебрежении спином). Автор, по-видимому, впервые в литературе, исследует асимптотики решений этих уравнений в сильных электромагнитных полях для ультрарелятивистских частиц и описывает характерные свойства их динамики и излучения.

В квантовой гравитации автор делает основной акцент на исследовании зависимости эффективного действия квантовых полей на нетривиальном гравитационном фоне от выбора вакуумного состояния. Основным техническим инструментом при этом является разработанная автором техника получения высокотемпературных разложений однопетлевых эффективных действий квантовых полей на стационарном фоне. В диссертации приведен способ получения однопетлевого эффективного действия при нулевой температуре из такого высокотемпературного разложения. В результате, впервые в общем виде показывается, что пертурбативная часть однопетлевого эффективного действия квантовой гравитации, аналитическая по ньютоновской константе связи, не зависит от выбора вакуумного состояния. Непертурбативная часть эффективного действия

оказывается зависящей от выбора вакуума. Это означает, что корреляторы полей в квантовой гравитации не являются фоново независимыми – для их определения необходимо дополнительно задать нединамическую структуру, выделяющую единственное вакуумное состояние в каждый момент времени (в шредингеровском представлении). Как следствие, тождества Уорда, следующие из общей ковариантности классической теории, нарушаются квантовыми поправками. В диссертации П.О. Казинского разработана схема сокращения этой гравитационной аномалии.

Тема диссертационного исследования, несомненно, является актуальной. Несмотря на то, что большинство теоретических результатов в данной области было получено в 70-80 годах, многие проблемы остались нерешенными. Проблема описания динамики электронов квантовой электродинамике в интенсивных полях стала вновь актуальной в связи с разработкой и постройкой новых лазерных установок высокой интенсивности, вплоть до 10^{25} Вт/см² и выше. В таких полях стандартная теория возмущений, использующая свободные пропагаторы, перестает работать. Рождение множества частиц в полях такой интенсивности и учет их обратного влияния требует непертурбативного описания, особенно при больших временах. С развитием техники атомной интерферометрии и повышения точности атомных часов стала возможной более точная проверка законов классической общей теории относительности в лабораторных условиях и в ближнем космосе. На данный момент несколько проектов NASA и ESA по проверке стандартного закона красного смещения находятся на стадии разработки. Отмечу, что все теории квантовой гравитации предсказывают небольшие отклонения от законов классической общей теории относительности, однако, как правило, величину этих отклонений точно указать не удастся. В диссертации довольно подробно исследуется один из возможных механизмов, приводящий к отклонению от классического закона красного смещения за счет квантовых поправок к эффективному потенциалу поля Хиггса.

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения и двух приложений.

В первой главе диссертации проводится обзор литературы, кратко описывается постановка задачи и основные достигнутые результаты.

Во второй главе проводится исследование динамики и излучения легких заряженных частиц (электронов и позитронов) в интенсивном постоянном однородном электромагнитном поле и поле плоской электромагнитной волны произвольного профиля. Найдены асимптотики при больших временах физических решений уравнения Лоренца-Дирака и точные решения уравнения Ландау-Лифшица для полей указанных конфигураций. Что касается уравнения Ландау-Лифшица, то эти точные решения были известны в литературе. Автор впервые исследовал с помощью этих решений асимптотическое поведение заряженных частиц и свойства создаваемого им излучения. Кроме того, в диссертации уравнение Ландау-Лифшица впервые точно решено для внешнего однородного магнитного поля, изменяющегося произвольным образом во времени, и для постоянного электрического поля, вектор напряженности которого направлен вдоль оси x и зависит произвольным образом только от переменной y . Учитывая, что уравнение Ландау-Лифшица представляет

собой систему нелинейных дифференциальных уравнений, этот результат является серьезным достижением в данной области. В этой главе имеется и много других интересных оригинальных результатов. Особо отмечу простую формулу для полной мощности излучения заряда в скрещенных электромагнитных полях при больших собственных временах t : $P=mc^2/(2t)$, которая не зависит ни от заряда частицы, ни от напряженности внешнего поля.

В третьей главе автор развивает общую теорию неравновесных стохастических систем в рамках алгебраического подхода. Впервые в литературе автор применяет технику деформационного квантования для получения стохастических систем из некоторых классических систем, определенных на пуассоновом многообразии. Эту процедуру он называет стохастической деформацией. В диссертации построены многочисленные примеры таких деформаций, в том числе и для систем с калибровочными симметриями. Особо интересно применение этой процедуры к неравновесной термодинамике. В результате стохастической деформации термодинамической симплектической структуры автор воспроизводит известное действие Онсагера-Махлупа, описывающее флуктуации термодинамических величин. Это показывает, в частности, что флуктуации, в том числе и стохастические, могут пониматься как результат деформации алгебры наблюдаемых классической системы.

В четвертой главе диссертации подробно исследуются термодинамические свойства одной конкретной модели: свободные квантовые частицы с законом дисперсии, обладающим эллипсоидальной поверхностью постоянной энергии. В такой класс попадают нерелятивистский и релятивистский законы дисперсии. В результате использования техники, во много похожей на метод дзета-функции, однопетлевая статистическая сумма разлагается в сумму рядов Чоула-Селберга для дзета-функции Эпштейна. Такое представление оказывается более удобным для вывода быстросходящихся разложений термодинамического потенциала при обычных значениях температуры, химического потенциала и параметров закона дисперсии. Эти разложения получены в данной главе. В такой общей постановке задача получения быстросходящегося разложения для статистической суммы решена впервые. Также впервые здесь получается явное выражение для высокотемпературного разложения термодинамического потенциала частиц (бозонов и фермионов) с законом дисперсии, задаваемым однородной функцией общего вида.

В пятой главе найдены поправки к эффективному потенциалу поля Хиггса на стационарном гравитационном фоне, явно зависящие от вектора Киллинга метрики. Существование таких вкладов в эффективное действие хорошо известно в литературе и подробно описано, например, в книге Фролова и Новикова. Автор впервые исследует поведение вакуумного среднего поля Хиггса в зависимости от этих поправок. Оказывается, что наличие таких слагаемых в эффективном потенциале поля Хиггса приводит к сдвигу масс всех массивных частиц стандартной модели в окрестности горизонта черной дыры. В диссертации приведены только качественные оценки этого эффекта (в данном случае более точный анализ невозможен в силу неперенормируемости теории). Данный эффект должен приводить к отклонению от стандартного закона красного смещения

классической эйнштейновской гравитации, что можно проверить в прецизионных экспериментальных тестах общей теории относительности.

Шестая глава диссертации является довольно обширной и посвящена нахождению аномальных непертурбативных поправок в эффективное действие квантовой гравитации и механизму их сокращения. Также здесь обсуждается, в некоторых деталях, естественный кандидат на роль холодной темной материи, возникающий из предложенного механизма сокращения гравитационной аномалии. Квантовые гравитационные аномалии известны в литературе: например, пертурбативная киральная аномалия Альвареза-Гауме-Виттена. В диссертации доказывается существование другой, непертурбативной гравитационной аномалии, возникающей вследствие зависимости эффективного действия от выбора нормального упорядочения полевых операторов и корректного определения гамильтониана в гильбертовом пространстве. О проблеме выбора унитарного представления алгебры наблюдаемых и возможным в связи с этим нарушением условия ковариантной бездивергентности тензора энергии-импульса полей уже упоминалось в работах Хокинга, Гриба, Левитского, Мостепаненко и др., однако механизм сокращения этой аномалии разработан не был. В диссертации исследованы некоторые феноменологические следствия разработанного механизма сокращения данной гравитационной аномалии.

Достоверность результатов обеспечивается их внутренней согласованностью и совпадением в ряде частных случаев с опубликованными результатами других авторов. Результаты получены на основе строгих методов математической физики.

Замечания по диссертационной работе:

1. Построенная автором самосогласованная модель квантовой гравитации и гипотеза о природе темной материи, по-видимому, не противоречат очевидным тестам на соответствие известным экспериментальным данным, однако необходимы дальнейшие исследования в данном направлении.
2. В главе 3 автором выведено уравнение типа Фоккера-Планка для стохастического уравнения Лоренца-Дирака, однако исследования решений (каких-нибудь) полученного уравнения не проведено.
3. Данные таблицы 5.1 взяты из устаревшего обзора Particle Data Group. В частности, в этом обзоре отсутствуют данные о массе бозона Хиггса, приведенные в таблице.
4. В диссертации отсутствует анализ полученных новых точных решений уравнения Ландау-Лифшица. Какие новые эффекты, обусловленные реакцией излучения, можно описать этими решениями?

Приведенные замечания носят частный характер и не снижают ценности полученных результатов. Результаты исследования прошли необходимую апробацию в виде докладов на многочисленных научных семинарах и конференциях. Публикации по теме диссертации раскрывают положения, выносимые на защиту. Автореферат диссертации верно и достаточно полно отражает ее содержание.

Все сказанное позволяет заключить, что диссертация Казинского Петра Олеговича «Непертурбативные эффекты в интенсивных электромагнитных и гравитационных полях» соответствует специальности 01.04.02 – Теоретическая

физика и удовлетворяет требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Казинский Петр Олегович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Официальный оппонент:

первый проректор федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Томский государственный педагогический университет», доктор физико-математических наук, доцент

Макаренко Андрей Николаевич

Адрес: 634061, Россия, г. Томск, ул. Киевская, д. 60,
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный педагогический университет»
Тел. +7(3822) 311456,
Факс. +7(3822) 446826,
e-mail: rector@tspu.edu.ru
<http://www.tspu.edu.ru/>

Подпись А.Н. Макаренко удостоверяю:

Ученый секретарь Ученого совета ТГПУ

Дата: 4.05.2016



Н.И. Медюха