

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор МГУ, начальник  
управления научной политики и  
организации научных исследований,  
профессор

А.А. Федянин



28.04. 2016 г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации 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

Диссертационная работа Казинского П.О. «Непертурбативные эффекты в интенсивных электромагнитных и гравитационных полях» посвящена исследованию ряда непертурбативных эффектов в квантовой электродинамике локализованных электронных волновых пакетов в сильных электромагнитных полях специальных конфигураций, а также исследованию зависимости средних наблюдаемых квантовой теории поля на искривленном фоне от выбора вакуума теории и, соответственно, представления алгебры наблюдаемых. Последний эффект является существенно непертурбативным и известен в литературе как «проблема времени» в квантовой гравитации.

Актуальность темы. В рамках квантовой электродинамики в диссертации рассматриваются две проблемы: описание самосогласованной динамики и излучения заряженных частиц в сильном внешнем электромагнитном поле при больших временах и описание термодинамически равновесного состояния электронов и фотонов в системах с ограниченным объемом. При больших временах квантовая динамика заряженных частиц становится существенно непертурбативной. Для электромагнитных полей, достижимых на сегодняшний день в лабораторных условиях, непертурбативные эффекты существенны только для легких заряженных частиц – электронов и позитронов. Для описания такой динамики в диссертации используется приближение Хартри для модовых функций квантовых полей. С точки зрения стандартной теории возмущений использование решений этого нелинейного уравнения суммирует бесконечный набор диаграмм. Релятивистское уравнение Хартри не может быть решено точно, поэтому в диссертационной работе используется квазиклассический метод, позволяющий получить приближенные решения уравнения Хартри в том случае, когда волновая функция частицы достаточно локализована. При изучении второй проблемы, указанной выше, внешнее поле учитывается при помощи модификации закона дисперсии частицы, который предполагается имеющим эллипсоидальную поверхность постоянной энергии. Последнее предположение позволяет провести аналитические расчеты до конца и получить быстросходящиеся разложения омега-потенциала системы частиц. В диссертации идентифицированы различные вклады в термодинамический потенциал и выделены среди них существенно непертурбативные.

При рассмотрении «проблемы времени» в квантовой гравитации автор во многом опирается на результаты работ Гриба, Мамаева, Мостепаненко и др., предложивших использовать для определения единственного представления алгебры наблюдаемых метод диагонализации гамильтониана. Самосопряженный оператор Гамильтона естественным образом возникает в квантовой теории поля (КТП) в предположении унитарности эволюции. Разложение единицы, связанное с этим самосопряженным оператором, определяет гильбертово пространство состояний КТП. Гамильтониан не определяется

однозначно лагранжианом теории и с необходимостью вовлекает некоторое времениподобное векторное поле. В диссертации отслежена зависимость эффективного действия от этого векторного поля для стационарных, медленно меняющихся в пространстве метрик. Эти вклады в эффективное действие неаналитичны по константе связи, полям и импульсам и потому не могут быть сокращены контрчленами. Наличие нединамического векторного поля в эффективном действии свидетельствует о возникновении квантовой гравитационной аномалии. В диссертации разработана процедура сокращения данной аномалии за счет введения дополнительных динамических полей и возможные феноменологические следствия этой процедуры: гравитационный сдвиг масс частиц и естественный кандидат на роль холодной темной материи.

Общая характеристика структуры и содержания диссертационной работы.

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, двух приложений и библиографии из 514 наименований.

Во Введении дана общая характеристика диссертационной работы. Обоснована актуальность темы диссертации и ее разработанность. Определены цели исследования и методы их достижения. Описана научная новизна полученных результатов, степень их достоверности, теоретическая и практическая значимость. Приведены положения, выносимые на защиту.

Глава 1 имеет вводный характер. В ней дается обзор литературы, более развернуто описывается постановка проблемы и основные достигнутые результаты. Полученные в диссертации результаты сравниваются с известными в литературе и обсуждается возможность их экспериментального наблюдения.

Глава 2 посвящена исследованию непертурбативных эффектов в динамике и излучении легких заряженных частиц в сильном внешнем электромагнитном поле при больших временах. В рамках квазиклассического подхода автором впервые описана непертурбативная динамика локализованных волновых пакетов электронов в сильном электромагнитном поле: постоянное однородное электромагнитное поле, плоская электромагнитная волна произвольного профиля. Особое внимание уделено случаю рассеяния электронов на плоской линейно-поляризованной электромагнитной волне постоянной амплитуды. Найдены спектральные плотности излучения, сформировавшегося в указанных асимптотических режимах. Доказан ряд общих свойств полной мощности излучения электрона. Указаны условия, при которых можно наблюдать описанные непертурбативные эффекты. Проверить часть из указанных свойств можно будет на строящихся в данный момент экспериментальных установках: Extreme Light Infrastructure в Европе и Exawatt Center for Extreme Light Studies в России.

Глава 3 диссертации посвящена формальному построению описания стохастической динамики неравновесных систем. Стохастические уравнения обычно рассматриваются как довольно эффективный способ учета бесконечного числа факторов, влияющих на открытую систему. Эти уравнения получаются с помощью добавления к классическим уравнениям движения системы случайной силы (шума) с определенным законом распределения. В диссертации развивается иной способ получения стохастических систем, аналогичный алгебраическому подходу к квантовой механике. Хорошо известно, что квантовая механика может рассматриваться как алгебраическая деформация пуассоновой структуры на фазовом пространстве классической системы. Такой подход известен как деформационное квантование. Поскольку квантовые флуктуации могут быть получены за счет деформации пуассоновой структуры, возникает естественный вопрос о том, могут ли стохастические флуктуации быть получены аналогичным образом. В диссертации впервые показано, что стохастические флуктуации могут быть получены за счет деформации пуассоновой структуры. Автор рассматривает многочисленные примеры стохастических систем, получаемых с помощью алгебраической деформации. В частности, в этой главе выводится уравнение Фоккера-

Планка, ассоциированное со стохастическим уравнением Лоренца-Дирака, которое, по-видимому, ранее в литературе известно не было.

В четвертой главе исследуются термодинамически равновесные состояния электронов и фотонов в системах с ограниченным объемом. Внешнее поле, например поле кристалла, учитывается при помощи модификации закона дисперсии частицы, который считается обладающим эллипсоидальной поверхностью постоянной энергии. Найдены различные быстросходящиеся разложения однопетлевого омега-потенциала таких частиц. Логарифм статистической суммы разложен естественным образом на три слагаемых: квазиклассический вклад, вклад от точки ветвления закона дисперсии и осциллирующий вклад. В квазиклассическом вкладе полностью пренебрегается дискретностью квантовых чисел. Другие два вклада являются существенно квантовыми и определяются непертурбативной частью однопетлевого действия при конечной температуре. Получено явное выражение для высокотемпературного разложения квазиклассического вклада, обобщающее известное разложение на случай законов дисперсии указанного вида. Установлена связь между высокотемпературным разложением свободной энергии системы частиц с вакуумным вкладом в эффективное действие при нулевой температуре. Показано, что казимировский вклад в вакуумную энергию возникает только для законов дисперсии, обладающих точкой ветвления, как, например, релятивистский закон дисперсии. В качестве примеров исследованы термодинамические свойства электронов в графене и тонкой металлической пленке.

В пятой главе исследуется эффект гравитационного сдвига масс за счет механизма Хиггса. Этот эффект по большей части обусловлен зависимостью эффективного действия поля Хиггса от выбора вакуумного состояния квантовых полей и потому является непертурбативным. Влияние таких поправок к эффективному действию поля Хиггса исследовано впервые. Эффект гравитационного сдвига масс можно наблюдать только в сильных гравитационных полях – в окрестности горизонта черных дыр или на ранних стадиях эволюции Вселенной. В силу неперенормируемости квантовой гравитации точное количественное описание (как в квантовой электродинамике) этого эффекта, т.е. вывод значений констант при соответствующих структурах в эффективном действии, невозможно. Поэтому в диссертации проводится во многом качественное исследование различных режимов поведения вакуумного среднего поля Хиггса в зависимости от гравитационного поля.

В главе 6 приводятся аргументы и явные расчеты в пользу существования квантовой гравитационной аномалии, предлагается возможный механизм ее сокращения и рассматриваются некоторые феноменологические следствия этой процедуры. Можно сказать, что в этой главе построена самосогласованная, но пертурбативно неперенормируемая, модель квантовой гравитации. Модели квантовой гравитации подобного типа уже известны в литературе. В диссертации впервые развивается квантовополевой подход к описанию таких моделей и устанавливается ряд свойств "реперной жидкости" – одной из составляющих таких моделей квантовой гравитации. В частности, выдвигается и исследуется гипотеза отождествления данной жидкости с темной материей.

Достоверность и обоснованность результатов работы.

Достоверность результатов, полученных в диссертации, контролируется их внутренней согласованностью и совпадением в ряде частных случаев с результатами других авторов. Результаты получены на основе строгих методов квантовой теории поля. Диссертация отличается большим объемом выполненных математических вычислений. Корректность теоретических и вычислительных методов исследования и проведенных расчетов, применение строгих методов теоретической физики, спектральной теории операторов, свидетельствуют о высокой степени обоснованности научных положений и выводов, сформулированных в диссертации.

Теоретическая и практическая значимость диссертации и использование полученных результатов.

Диссертация представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу на актуальную тему. Полученные в диссертации результаты и выводы являются новыми, принадлежат автору и имеют существенное значение для науки и практики. Диссертация хорошо оформлена. Список публикаций автора, количество конференций, в которых автор участвовал с докладами, говорят о достаточной апробации работы. Результаты работы можно рекомендовать для использования в научных и учебных организациях, в которых ведутся исследования по квантовой электродинамике, квантовой гравитации, квантовой теории поля в искривлённых пространствах-времени: в Московском, Томском, Санкт-Петербургском, Пермском и Казанском университетах, в РУДН, в Ульяновском педагогическом университете, в Объединённом институте ядерных исследований (Дубна).

Замечания по диссертационной работе.

При рассмотрении диссертации были отмечены следующие недостатки:

1. В разделе 2.4 выводятся явные выражения для спектральной плотности излучения, созданного электроном при движении в асимптотическом режиме. Автором детально не исследованы эти выражения. В частности, не найдена соответствующая полная мощность излучения, выражение для которой можно было бы сравнить с формулой в разделе 2.3, полученной другим методом;
2. В разделе 4.2. приводится теоретическое исследование термодинамических свойств электронов проводимости в графене, однако не дается сравнения результатов с экспериментальными данными;
3. При исследовании эффекта гравитационного сдвига масс в главе 5 используется некоторый частный вид эффективного потенциала поля Хиггса. Общий случай эффективного потенциала, приведенного в формуле (6.147), не исследован.

Тем не менее, отмеченные недостатки не снижают общей высокой оценки работы.

Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Заключение.

Изложенное выше позволяет сделать вывод о том, что работа Казинского Петра Олеговича «Непертурбативные эффекты в интенсивных электромагнитных и гравитационных полях» соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям по специальности 01.04.02 – теоретическая физика, а ее автор, Казинский Петр Олегович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук.

Отзыв составлен доктором физико-математических наук, профессором кафедры теоретической физики физического факультета МГУ Д.В. Гальцовым.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры теоретической физики физического факультета МГУ», протокол № 3 от 20 апреля 2016 г.

Заведующий кафедрой теоретической физики физического факультета МГУ, академик РАН

А.А.Славнов

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ) 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Тел: (495) 939-10-00, Факс: (495) 939-01-26 <http://www.msu.ru> E-mail: [info@rector.msu.ru](mailto:info@rector.msu.ru)