

Сведения о выполненных работах в 2023 году
по проекту «Исследование квантовых эффектов в сильных электромагнитных
полях методами КТП»,
поддержанному Российским научным фондом
Соглашение № 19-12-00042

Руководитель д-р физ.-мат. наук Гитман Дмитрий Максимович

1. Изучена эмиссия фотонов при рождении электрон-позитронных пар из вакуума в электрическом поле конечного времени действия в представлении, согласно которому точно учитывается действие сильного электрического поля, а взаимодействие с квантованным учитывается в первом порядке по константе связи. Получены замкнутые формулы для полных вероятностей излучения для двух случаев: (1) начальное состояние является вакуумом, (2) в начальном состоянии имеется электрон, или позитрон. Исследованы сходство и различие распределений излучения для моделей трехмерной КЭД и КЭД_{3,2} для графена. Выработаны рекомендации по возможной симуляции в графене процесса излучения, сопровождающего рождение пар в КЭД. Выработан подход к рассмотрению аналогичного процесса в 3D дираковских полуметаллах, позволяющий учесть анизотропию скоростей электронов.

2. Получены замкнутые выражения для вероятности испускания фотона электроном (дыркой) и вероятности испускания фотона, сопровождающего рождение электронно-дырочных пар из вакуума для графена в сильном электрическом поле между обкладками плоского конденсатора. Получено высокочастотное приближение, позволяющее исследовать угловое и поляризационное распределение излучения.

3. Впервые найдены решения для асимметричного потенциала неоднородного электрического поля, заданного гладкой функцией в виде W-функции Ламберта. С помощью непертурбативного формализма КЭД с интенсивным неоднородным электрическим полем сформированы полные наборы решений на $t = \text{const}$ поверхности, которые описывают все начальные и финальные состояния частиц и античастиц. Выделены области фазового пространства в которых наблюдаются только одночастичные процессы и определена зона Клейна, в которой происходит рождение пар из вакуума. Изучены процессы рассеяния и рождения частиц. Найдены вероятности прохождения и отражения от области интенсивного поля, среднее число рожденных пар, средний ток и тензор энергии-импульса рожденных частиц и античастиц. Найдена новая реализация потенциала ступеньки Клейна. Получены явные выражения для полного числа частиц в пределе слабо неоднородного поля.

4. Методы, разработанные для квантовой электродинамики в интенсивных внешних полях, нарушающих стабильность вакуума, обобщены для полевой модели вейлевских полуметаллов типа 1. Выполнен анализ физических состояний и их стабильности. Начато исследование киральных эффектов.

5. Сформулирован подход, являющийся аналогом подхода квантового кинетического уравнения, который может быть применен к решению задач с нестабильным вакуумом в сильном постоянном неоднородном электрическом поле,

заданном ступенчатым потенциалом. Начато исследование методов, подходящих для решения полученного нелинейного уравнения.

6. Получено спектрально-угловое распределение энергии излучения равномерно ускоренного заряда в рамках полуклассического приближения. Исследована зависимость спектрально-углового распределения энергии заряда от времени. Получены асимптотики интенсивности и энергии излучения для больших времен и проведено сравнение с результатами классической теории излучения равномерно ускоренного заряда. Построена матрица плотности состояний квантового электромагнитного поля, которое взаимодействует с сильным внешним полем.

7. Рассмотрена полевая модель, описывающая магноны низких энергий в антиферромагнетиках, которая может быть представлена как скалярная безмассовая электродинамика с внешним электромагнитным потенциалом. Изучен случай постоянного неоднородного магнитного поля, приложенного к антиферромагнетику, которое действует на магнитные моменты магнонов аналогично тому, как электрическое поле действует на заряд. Показано, что подход КЭД сильного поля с электрическим полем, заданным ступенчатым потенциалом (ранее разработанный Гавриловым и Гитманом), можно применять для изучения образования пар магнон-антимagnoн градиентом магнитного поля. Начальный и конечный вакуум и одночастичные состояния построены с помощью стационарных плоских волн, удовлетворяющих уравнению Клейна-Гордона. Среднее число магнонов и антимagnoнов, рожденных из вакуума, выражено через амплитуды перекрытия этих решений. Определены наблюдаемые физические величины, характеризующие неустойчивость вакуума. Вычислены и проанализированы потоки энергии и магнитные моменты рожденных частиц. Даны примеры вычисления характеристик неустойчивости вакуума для известных случаев, когда можно точно решить уравнение Клейна-Гордона. В частности, рассмотрены примеры с резко меняющимися градиентами магнитного поля, которые соответствуют регуляризации ступени Клейна. В случае плавно меняющихся градиентов магнитного поля получено универсальное представление для плотности потока рождающихся пар. Полученные результаты носят достаточно общий характер и не ограничены простой решеткой кубического типа и антиферромагнетиком G-типа. Поскольку низкоэнергетические магноны являются бозонами с малой эффективной массой, это впервые дает возможность наблюдать эффект Швингера в случае бозе-статистики (в частности, бозонный эффект Клейна) в лабораторных условиях. Более того, оказывается, что в случае бозе-статистики появляется новый механизм усиления эффекта рождения пар, когда поток магнонов, направленный на область неоднородности магнитного поля с одной стороны, приводит к рождению потока антимagnoнов с другой. Это явление мы назвали статистически обусловленным эффектом Швингера.