

Сведения о выполненных работах в 2022 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. Продолжая развивать формализм непертурбативных вычислений для КЭД с интенсивным неоднородным электрическим полем, заданным потенциалами ступенчатого типа, мы изучили вакуумные средние тензора энергии-импульса (ТЭИ) и вектора плотности тока квантового спинорного поля в электрическом поле L -constant. Это поле между пластинами плоского конденсатора, разделенными достаточно большим расстоянием L . Мы исследуем характерные особенности непертурбативного вычисления средних значений в общем случае КЭД сильного поля, заданного потенциалами ступенчатого типа и, в частности для поля L -constant. Рассмотрен случай с произвольным числом пространственных измерений. Мы предлагаем новые процедуры перенормировки и объемной регуляризации, подходящие для таких вычислений. Найдены необходимые представления для сингулярных функций спинорных полей в рассматриваемом внешнем поле. С их помощью мы вычислили вышеупомянутые средние значения. Показано, что в полученных выражениях можно разделить глобальные вклады, связанные с рождением частиц, и локальные вклады, связанные с поляризацией вакуума. Показано, что именно эти последние связаны с перенормированным эффективным лагранжианом Гейзенберга--Эйлера. Это доказывает, что в предельном случае достаточно больших L , поле L -constant является регуляризацией однородного электрического поля и позволяет описывать эффекты нестабильности вакуума в случае, когда рассматриваемая область поля достаточно удалена от его границ. Новый подход к исследованию нестабильности вакуума позволяет выявить детали, которые невозможно обнаружить при расчетах в однородном электрическом поле. Например, полученные формулы явно показывают, что плотность тока и ТЭИ рожденных частиц формируются отдельно вкладами рожденных позитронов и рожденных электронов. Показано, что потоки энергии финальных частиц по обе стороны от плоскости симметрии поля направлены в противоположные стороны, возникает поляризация заряда во внешнем поле. В частном случае двумерного пространства полученные результаты описывают эффекты, которые могут быть наблюдаемы при низких энергиях в графене.

2. Следуя непертурбативной формулировке КЭД сильного поля, разработанной в наших предыдущих работах, и используя модель Дирака графена, мы строим редуцированную КЭД 3,2 для описания одного сорта фермионов Дирака в графене, взаимодействующих с внешним электрическим полем и фотонами. На этой основе мы рассматриваем эмиссию фотонов в этой модели и строим замкнутые формулы для полных вероятностей. Используя полученные формулы, исследуем вероятность испускания фотона электроном и вероятность испускания фотона, сопровождающего

рождение электронно-дырочных пар в квазипостоянном электрическом поле, действующем в плоскости графена в течение интервала времени T . Исследованы также угловое и поляризационное распределения излучения, а также характеристики излучения в высокочастотном и низкочастотном приближениях. Мы анализируем применимость представленных расчетов к физике графена в лабораторных условиях. Фактически речь идет о возможном наблюдении эффекта Швингера в этих условиях.

3. Вычислительная техника в рамках редуцированной КЭД 3,2 с сильным внешним полем приспособлена для вычисления вероятности излучения фотонов в графене при рождении электрон-дырочных пар из вакуума в сильном электрическом поле внутри плоского конденсатора для случая макроскопически большого расстояния между пластинами конденсатора L . Получены замкнутые выражения для вероятности испускания фотона электроном (дыркой) и вероятности испускания фотона, сопровождающего рождение электронно-дырочных пар из вакуума в этом электрическом поле.

4. Уравнение Дирака во внешнем поле, заданном потенциалом в виде W -функции Ламберта, с помощью обобщенного преобразования Дарбу приведено к уравнению, допускающему точное аналитическое решение. Найден полный набор решений уравнения Дирака.

5. Показано, что явление рождения магнон-антимagnoнных пар градиентом магнитного поля в антиферромагнетике может быть эффективно описано как задача рождения скалярных частиц электрическим полем ступенчатого типа, для решения которой достаточно применить ранее разработанный подход [S.P. Gavrilov and D.M. Gitman, Phys. Rev. D. 93, 045002 (2016)]. Вычислено среднее число магнон-антимagnoнных пар, рожденных в ряде примеров с неоднородным магнитным полем.

6. Показано, что для описания рождения частиц в вейлевских полуметаллах можно использовать методы, разработанные для квантовой электродинамики в интенсивных внешних полях. Показано, что для анализа физических состояний и их стабильности можно использовать подход, предложенный в работе [A. Andrianov, R. Soldati and D. Vassilevich, Symmetry 12, no.5, 869 (2020)].

7. Показано, что два фотона, движущиеся в одном направлении с разными частотами и с любыми двумя возможными линейными поляризациями, могут быть управляемо запутаны прохождением через электронную среду внешним постоянным магнитным полем. Вычислена мера запутанности, которая определяется частотами фотонов, напряженностью магнитного поля и параметрами электронной среды. Мы показали, что в общем случае мера запутывания зависят от величины приложенного магнитного поля и, следовательно, может контролироваться последним. Также показано, что в отсутствие внешнего поля наличие электронной среды также приводит к запутыванию данных фотонов.