

Сведения о выполненных работах в 2020 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

Для формализма КЭД с интенсивным неоднородным электрическим полем, заданным потенциалами ступенчатого типа, детально прописана процедура, позволяющая связывать вакуумные матричные элементы квазилокальных операторов физических величин с наблюдаемыми. Предложены процедуры объемной регуляризации и перенормировки, которые позволяют вычислять и различать физические части различных матричных элементов операторов тока и тензора энергии-импульса, одновременно связывая их с характеристиками неустойчивости вакуума. Введено модифицированное скалярное произведение для решений уравнения Дирака в поле, заданном ступенчатым потенциалом, с параметром регуляризации, который фиксируется из физических соображений. Показано, что в зоне Клейна этот параметр представляет собой время наблюдения за потоками рожденных частиц, выходящих из области поля в окружающий вакуум. Показано, что предложенная процедура регуляризации достаточна для корректной постановки задач, в которых наряду с непертурбативными эффектами внешнего поля учитывается взаимодействие с полем излучения. Получено новое условие самосогласованности для модели постоянного поля, которое учитывает его конечную протяженность. Показано, что это условие определяет значительно более широкую область применимости, чем та, что была установлена для однородного поля. Результаты опубликованы в статье [S.P. Gavrilov and D.M. Gitman, Eur. Phys. J. C 80 820 (2020), <https://link.springer.com/article/10.1140/epjc/s10052-020-8337-4>]. С помощью разработанной процедуры построено представление модели Дирака в пространстве Фока для взаимодействия фотонов с дираковскими фермионами в присутствии постоянного неоднородного электрического поля, нарушающего стабильность вакуума. Сконструировано представление взаимодействия, в котором точно учитываются эффекты вакуумной неустойчивости, вызванные электрическими полями, заданными ступенчатым потенциалом, и в которых взаимодействие электронов и фотонов учитывается пертурбативно.

В рамках модели Дирака, учитывающей в первом порядке теории возмущений взаимодействие с квантованным электромагнитным полем, рассмотрен ряд процессов, происходящих в монослое графена под действием сильных нестационарных электрических полей. Эффекты внешнего поля учитываются непертурбативно. Представлено существенное развитие формализма кинетических уравнений. Из первых принципов получены квантовые кинетические уравнения, описывающие излучение фотонов из электронно-дырочной плазмы, порождаемой из вакуума электрическим полем. Найдены приближенные решения этих уравнений для адаптированной к условиям графена самосогласованной кинетической теории

генерации и эволюции электронов, дырок и фотонов под действием однородного зависящего от времени внешнего электрического поля. Получен ряд конкретных результатов для фотонов, излучаемых под небольшими углами к плоскости графена. Обнаружена характерная анизотропия спектрального состава излучаемых фотонов и появление в этом излучении четных гармоник внешнего поля, которые могут быть наблюдаемы. Результаты опубликованы в статье [S.P. Gavrilov, D.M. Gitman, V.V. Dmitriev, A.D. Panferov, and S.A. Smolyansky, Universe 2020, 6, 205, <https://www.mdpi.com/2218-1997/6/11/205>].

Получено приближение локально постоянного поля для расчета вакуумных средних плотности вектора тока и тензора энергии-импульса в КЭД с произвольными слабо неоднородными электрическими полями ступенчатого типа. Найдены поляризационные (локальные) и связанные с рождением пар (глобальные) вклады в вакуумные средние плотности тока и тензора энергии-импульса. Установлена связь этих представлений с аналогичными представлениями эффективного действия Швингера. Статья по результатам этого исследования готовится к публикации в Physical Review D.

Исследована задача о движении безмассовой дираковской частицы в кулоновском поле точечного заряда. Построены все дираковские гамильтонианы и проведен их спектральный анализ для квазичастиц в графене с нулевой щелью в присутствии кулоновской примеси. Проведен спектральный анализ дираковских гамильтонианов и вычислены обобщенные собственные функции для любого значения заряда примеси. Полученные результаты применяются для исследования локальной плотности состояний в графене в окрестности кулоновской примеси с учетом неоднозначности определения дираковского гамильтониана. Статья по результатам этого исследования готовится к публикации и буде направлена в «Журнал экспериментальной и теоретической физики».

Исследовано влияние эффектов поляризации вакуума в постоянном однородном магнитном поле на спектр атома водорода. Показано, что конечные уровни энергии атома водорода в сильном магнитном поле с учетом поляризации вакуума могут быть получены из эффективного действия Гейзенберга-Эйлера в локальном приближении. Здесь сильное фоновое поле действует как «регуляризатор» кулоновского поля, и последнее становится конечным в начале координат. Результаты опубликованы [T.C. Adorno, D.M. Gitman, and A.E. Shabad, Universe 6, 204 (2020), <https://www.mdpi.com/2218-1997/6/11/204>].

Изучены киральные фермионы, электрослабо взаимодействующие с фоновым веществом, которое имеет неоднородную плотность и скорость, произвольным образом зависящую от координат. Приблизительно описана динамика этой системы, путем нахождения фазы Берри. Получено эффективное действие и выведены кинетические уравнения для правых и левых частиц. В случае вращающегося вещества получены поправки к аномальному электрическому току и адлерской аномалии. Затем изучены некоторые астрофизические приложения. Предполагая, что киральный дисбаланс вращающейся нейтронной звезды исчезает, получена скорость

изменения магнитной спиральности за счет взаимодействия киральных электронов с фоновыми нейтронами. Оказалось, что характерное время изменения спиральности совпадает с периодом магнитного цикла некоторых пульсаров. Эти результаты опубликованы в статье [M.S. Dvornikov, Nucl. Phys. B, 955, 115049 (2020), <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0550321320301358>].