

Сведения о выполненных работах в 2021 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

Построены и изучены двухточечные сингулярные функции КЭД сильного поля для слабо неоднородного электрического поля между пластинами плоского конденсатора, удаленными друг от друга на достаточно большое расстояние. Найдены полные наборы in- и out- решений уравнения Дирака с таким внешним полем. С помощью этих решений построены интегральные представления по собственному времени Фока-Швингера для всех сингулярных функций, которые обеспечивают непертурбативные (по внешнему полю) вычисления амплитуд переходов и средних значений физических величин. Статья с описанием результатов принята в печать [А.И. Бреев, С.П. Гаврилов, Д.М. Гитман, ЖЭТФ, том 161, вып. 2, 1 (2022); arXiv:1903.06832].

Для развития непертурбативных методов КЭД, тестирования численных методов, приспособленных для описания эффектов сильных полей, необходимо формирование более широкой базы точных решений уравнения Дирака. Такие новые in- и out- наборы решений получены для электрического импульса, представляющего собой бесконечно-гладкую функцию с асимметричными ветвями включения и выключения. Вычислены характеристики нестабильности вакуума для разных режимов включения и выключения импульса. [A.I. Breev, S.P. Gavrilov, D.M. Gitman, and A.A. Shishmarev, Phys. Rev. D 104, 076008 (2021); <https://journals.aps.org/prd/abstract/10.1103/PhysRevD.104.076008?ft=1>].

Изучено рождение из вакуума нейтральных фермион-антифермионных пар с аномальным магнитным моментом под действием неоднородного магнитного поля. Показано, что для частиц с определенной проекцией спина задача сводится к проблеме рождения пар заряженных частиц электрическим полем с потенциалом ступенчатого типа. Используя решения уравнения Дирака-Паули для магнитного поля, заданного в форме гиперболического тангенса координаты, вычислены дифференциальное среднее число рожденных пар, плотность потока числа рожденных частиц, потоки энергии и магнитного момента рожденных частиц. Показано, что поток в одном направлении формируется из потоков частиц и античастиц равной интенсивности и с одинаковыми магнитными моментами, параллельными внешнему полю. Обратная реакция приводит к сглаживанию неоднородности магнитного поля. Эффект может представлять интерес для физики нейтрино и темной материи. Статья по полученным результатам принята в печать в Journal of High Energy Physics (2021) [T.C. Adorno, Zi-Wang He, S.P. Gavrilov, D.M. Gitman, JHEP (2021); arXiv:2109.06053].

Построено представление модели Дирака в пространстве Фока для взаимодействия фотонов с дираковскими фермионами графена в присутствии сильного медленно меняющегося электрического поля. В этом представлении точно учитываются эффекты вакуумной неустойчивости, вызванные электрическими полями, а взаимодействие электронов и фотонов учитывается пертурбативно. В низшем порядке теории возмущений по взаимодействию с фотонами получено соотношение, связывающее полную вероятность излучения из любого заданного состояния со средним значением оператора числа фотонов («оптическая теорема»). С помощью этой теоремы вычислены и проанализированы частотные и угловые характеристики излучения, сопровождающего протекание постоянного тока вблизи точки Дирака в графене в первом порядке теории возмущений по взаимодействию с фотонами. Выполнено сравнение характеристик излучения из одноэлектронного и из вакуумного состояний, дана оценка возможного наблюдения этих видов излучения для такого внешнего поля. Статья с описанием этих результатов готовится к публикации (будет размещена на <http://arxiv.org/> в январе 2022) и направлена 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. Результаты опубликованы [A.I. Breev, D.M. Gitman. J. Exp. Theor. Phys. 132, 941 (2021); <https://link.springer.com/article/10.1134%2FS1063776121060017>].

Получено представление причинного пропагатора дираковских частиц, взаимодействующих с электромагнитными полями и слабо взаимодействующих с полями материи, функциональным интегралом. Полученное таким образом эффективное калибровочно инвариантное действие интерпретируется как псевдоклассическое действие дираковских частиц. Его квантование приводит к уравнению Дирака в фоновых полях. Представление функциональным интегралом позволяет эффективно вычислить пропагатор и возникающие квантовые токи. [D.M. Gitman, D.A. Ivanov, A.F. de Souza. European Physical Journal Plus, 136, 984 (2021); <https://link.springer.com/article/10.1140%2Fepjp%2Fs13360-021-01982-z>].