

Отзыв официального оппонента

на диссертацию Яблокова Станислава Николаевича «Модифицированный метод Фока-Швингера для нахождения точных решений пропагаторных уравнений в присутствии магнитного поля», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 - теоретическая физика

В диссертации в общем виде сформулирован метод аналитического вычисления пропагаторов в сильном внешнем поле, который автор назвал модифицированным методом Фока-Швингера (МФС). Метод проиллюстрирован на конкретных примерах расчетов пропагаторов скалярных частиц, фермионов и векторных бозонов в постоянном магнитном поле в координатном и импульсном представлениях. Большое внимание уделено обсуждению отличия предлагаемого метода от других используемых в литературе подходов (расчета в представлении Фарри исходя непосредственно из определения пропагатора как вакуумного среднего, который автор называет формализмом канонического квантования и оригинального метода Фока-Швингера), а также его преимуществ по сравнению с ними в рассматриваемых автором конкретных случаях. Попутно обсуждаются некоторые свойства полученных пропагаторов, их разные представления и тонкости перехода от одних представлений к другим.

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. В конце каждой главы сформулированы промежуточные выводы. Общий объем диссертации 110 страниц, из них 96 страниц текста, включая 1 рисунок. Библиография включает 150 наименований.

Во введении кратко описана тема диссертации, далее по пунктам обосновывается актуальность и описывается разработанность темы исследования, формулируются его цели и задачи, обсуждаются научная новизна и значимость, методология и методы, формулируются выносимые на защиту положения, обосновывается достоверность результатов и описана их апробация, указаны публикации автора по теме диссертации и его личный вклад, наконец, описаны структура диссертации и основные используемые обозначения.

В первой главе описаны классический метод Фока-Швингера и МФС, в общем виде и в применении к расчету пропагатора скалярной частицы во внешнем постоянном однородном магнитном поле. Изложение построено так, чтобы пояснить различие этих двух подходов.

Во второй главе с помощью МФС вычислены пропагаторы фермиона и массивного векторного бозона в том же постоянном однородном магнитном поле, при этом снова сравнивается ход расчетов с таковым в классическом методе Фока-Швингера, а полученные пропагаторы – с результатами, описанными в литературе. В конце главы кратко изложено применение МФС другими авторами в задаче о построении фермионного пропагатора в равномерно вращающейся системе отсчета.

В третьей главе проведен расчет пропагаторов в постоянном однородном магнитном поле в координатном представлении, сперва скалярной частицы, для которой сравнива-

ется ход расчетов с помощью метода МФШ, классического метода Фока-Швингера и в формализме канонического квантования, затем фермиона и массивного векторного бозона. В конце главы обсуждаются некоторые свойства полученных представлений для пропагаторов.

Наконец, в заключении содержатся: кратко сформулированная по шагам методика расчета пропагатора во внешнем поле методом МФШ, обсуждение обнаруженных его отличий и особенностей применения по сравнению с другими рассмотренными методами, обсуждение полученные в основных главах результатов и направлений возможного дальнейшего развития метода МФШ и заключительные замечания.

Диссертация написана хорошим языком и практически без опечаток. Основные результаты диссертации опубликованы в шести статьях, включая четыре в журналах Physical Review D (PRD), European Physical Journal C (EPJC) и Journal of Physics Conference Series (JPCS), индексируемых WoS и/или Scopus, остальные две - краткие (1-2стр.) тезисы докладов на конференциях на русском языке. В частности, содержание и результаты глав 1 и 2 опубликованы в JPCS и PRD, содержание и результаты главы 3 - в JPCS и EPJC. Отмечу также, что я лично присутствовал на докладе, который автор делал по некоторым из вошедших в диссертацию результатам в январе 2021г. на международной конференции Virtual Workshop on the Schwinger Effect and Strong Field Physics, проводившейся в дистанционном режиме Институтом Юкавы и помню, что там доклад вызвал уточняющие вопросы, на которые автор отвечал в чате конференции.

Я лично ознакомился с диссертацией с большим интересом и разработку нового расчетного метода, равно как и сравнительный анализ разных подходов, всячески приветствую. Все полученные автором результаты представляются достоверными и безусловно полезными, в частности в свете наличия упоминаемых в диссертации ошибочных работ [121,122,125]. Одним из главных преимуществ разработанного метода МФШ заявлен меньший объем вычислений, необходимый для вывода пропагаторов в постоянном магнитном поле в виде явной суммы вкладов уровней Ландау. На мой взгляд, некоторые элементы описанного в диссертации подхода можно использовать и в задачах, решаемых нашей научной группой, а также в спецкурсе, который я читаю студентам бакалавриата НИЯУ МИФИ.

Однако, с другой стороны, упомянутые ошибочные работы были опубликованы достаточно давно и на данный момент сделанные в них ошибки уже разобраны и исправлены в последующих работах других авторов [123,126]. При этом все конкретные расчеты в диссертации проведены только для частного случая постоянного однородного магнитного поля, для которого, насколько я могу судить, на данный момент рассматриваемые представления пропагаторов скалярного, фермионного и векторного полей, в основном уже достаточно хорошо известны. Автор это косвенно признает при обсуждении научной новизны на стр. 16-17, упоминая новизну собственно итоговых выражений (вне контекста их получения методом МФШ) только в пункте о выражениях пропагаторов всех рассматриваемых полей в координатном представлении в виде разложений по уровням Ландау.

При этом автор мог упустить из виду, что аналогичное по смыслу разложение фермионного пропагатора по вкладам соответствующих квантовых чисел уже предлагалось и изучалось В.И. Ритусом (см. *Ann. Phys.* 69, 555 (1972) и [112]), в частности формула (3.22) настоящей диссертации аналогична по смыслу формулам п. 40 ‘Eigenfunction Method in Electrodynamics of an Arbitrary Constant Field’ в [112]), хотя и применялась им только для случаев электрического и скрещенного, а не магнитного, поля. Тут же отмечу, что утверждение в диссертации об однозначном преимуществе использования в расчетах пропагаторов в импульсном представлении в виде разложения по квантовым числам (по уровням Ландау) все же по меньшей мере спорно – по крайней мере в наших недавних расчетах радиационных поправок в скрещенных полях лучше себя зарекомендовало представление, полученное классическим методом Фока-Швингера.

Кроме того, ограничение иллюстраций случаем постоянного поля, возможно, и хорошо обосновано в применениях к астрофизике, однако в контексте планируемых экспериментов по изучению квантовых процессов в сильных лазерных полях представляет большой интерес выход за рамки такого приближения, в связи с чем имело бы смысл подробнее обсудить и проиллюстрировать перспективы и возможные преимущества метода МФШ для расчета пропагаторов в полях более общего вида.

Наконец, включение в диссертацию п. 2.4, в котором излагаются результаты Ayala et al [98], и особенно их упоминание на стр. 17 в пункте о научной новизне диссертации, на мой взгляд, является излишним. Считаю, что про это достаточно было бы кратко упомянуть со ссылкой в заключении, а так это выглядит как попытка искусственно раздуть объем. И, раз уж этот материал все же включен в диссертацию, отмечу, что никак не обсуждается тонкий вопрос, связанный с глобальностью вакуума при наличии горизонта в равномерно вращающейся системе.

Остальные, более мелкие технические замечания:

1. при обсуждении возникающих в вычислениях характерных масштабов полей на стр. 9 может сложиться впечатление, будто при меньших полях эффекты сильного поля не проявляются, однако это не так. Они могут проявляться и в полях намного меньших масштабов, например, если абсолютная величина дефекта массы в рассматриваемой реакции аномально мала, либо если в процессе участвуют ультрарелятивистские частицы на высоких уровнях Ландау;
2. при обсуждении на стр. 11-12 удобства регуляризации амплитуд в координатном представлении из контекста не сразу ясно, что обсуждается случай свободных полей. При этом непонятно почему бы здесь было не обсудить тот же вопрос при наличии внешнего поля;
3. на стр. 34 никак не прокомментирован смысл ненумерованных условий, следующих за (1.41);
4. на стр. 56 отсутствует вывод формулы (2.44) или ссылка на таковой;

5. на стр. 78 перед (3.17) упоминается ортонормированность но без уточнения по отношению к какому скалярному произведению;
6. обсуждение в п. 3.4 стало бы более понятным, если бы опиралось на терминологию, вытекающую из квазиклассичности движения на высоких уровнях Ландау;
7. в библиографии не полностью унифицировано оформление однотипных источников (например, в каких-то статьях название идет после авторов, в других наоборот, выборочно приведены url статей и т.п.). Кроме того, в ряде случаев [8,62,107,112,117,119] при цитировании публикаций в советских и российских журналах вместо оригиналов указаны лишь данные их переводов на английский.

Заключение. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации. Несмотря на отмеченные замечания, считаю, что диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне, представляет собой законченную научно-квалификационную работу и удовлетворяет всем критериям «Положения о присуждении ученых степеней», утверждённого постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор Яблоков Станислав Николаевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 - теоретическая физика.

Доцент кафедры теоретической
ядерной физики
Института Лазерных и Плазменных
Технологий (ЛаПлаз) НИЯУ МИФИ
к.ф.-м.н., доцент

_____ /А.М. Федотов/

Дата: 09.08.2022

Попись заверяю. Зам. директора по
персоналу НИЯУ МИФИ

_____ /Л.В. Васильченко/

Место работы: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Почтовый адрес: 115409, г. Москва, Каширское шоссе, д. 31

Тел.: +7(495)7885699, доб. 9377

Email: AMFedotov@MEPhI.ru

Федотов Александр Михайлович

Кандидат физико-математических наук по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика, доцент

Доцент кафедры теоретической ядерной физики Института Лазерных и Плазменных Технологий (ЛаПлаз) НИЯУ МИФИ

Адрес: 115409, г. Москва, Каширское ш., д. 31

Email: AMFedotov@MEPhI.ru; +7(495)7885699, доб. 9377

Список основных публикаций по теме оппонируемой диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет:

1. A.A. Mironov, **A.M. Fedotov**. Structure of radiative corrections in a strong constant crossed field // Physical Review D 105 (2022) 3 033005
2. A.A. Mironov, E.G. Gelfer, **A.M. Fedotov**. Onset of electron-seeded cascades in generic electromagnetic fields // Physical Review A 104 (2021) 1 012221
3. A.A. Mironov, S. Meuren, **A.M. Fedotov**. Resummation of QED radiative corrections in a strong constant crossed field // Physical Review D 102 (2020) 5 053005
4. E.G. Gelfer, **A.M. Fedotov**, O. Klimo, S. Weber. Absorption and opacity threshold for a thin foil in a strong circularly polarized laser field // Physical Review E 101 (2020) 3 033204
5. C. Banerjee, M.P. Singh, **A.M. Fedotov**. Phase control of Schwinger pair production by colliding laser pulses // Physical Review A 98 (2018) 3 032121
6. S.A. Smolyansky, **A.M. Fedotov**, V.V. Dmitriev. Kinetics of the vacuum plasma in a strong electric field and problem of radiation // Modern Physics Letters A 35 (2020) 3 2040028