

**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**

Данная диссертация посвящена разработке методов аналитического вычисления пропагаторов во внешних полях, в которой автор предлагает модификацию классического метода Фока-Швингера. Модифицированный метод Фока-Швингера (МФС) был успешно применён для расчета пропагаторов заряженных скалярных частиц, фермионов и векторных бозонов во внешнем постоянном однородном магнитном поле в координатном и импульсном представлениях в виде разложения в ряд по уровням Ландау. В работе производится сравнение предложенного подхода с общеизвестными методами нахождения пропагаторов, а именно, с подходами (i) в формализме канонического квантования и (ii) в формализме континуального интеграла с использованием оригинального метода Фока-Швингера. В диссертации представлены выражения пропагаторов как в достаточно общем компактном виде, что имеет ценность для теоретических исследований, так и конкретные частные формулы, которые могут быть использованы в вычислениях при рассмотрении процессов во внешнем постоянном однородном магнитном поле. Наконец, обсуждаются избранные свойства полученных представлений.

Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения. Каждая глава включает в себя введение, а также несколько разделов с содержательной частью. В конце каждой главы подытоживаются и обсуждаются основные результаты. Общий объём диссертации составляет 110 страниц, из них 96 страниц текста, включая 1 рисунок. Библиография включает 150 литературных источников.

Во введении кратко обозначена тема диссертации, обосновывается её актуальность и степень её разработанности. Далее формулируются цели и задачи диссертационного исследования, обсуждается его научная новизна, методология и методы, приводятся выносимые на защиту положения, а также подтверждается достоверность результатов, включая описание их апробации и список публикаций автора по теме диссертации с указанием его личного вклада. Наконец, кратко описывается общая структура диссертации, а также приводятся основные используемые обозначения.

В первой главе справочно даётся описание классического метода Фока-Швингера, из которого далее в общем виде развивается метод МФС. Далее приводится расчет пропагатора скалярной заряженной частицы во внешнем постоянном однородном магнитном поле. В процессе изложения поясняются

сходства и различия этих двух подходов.

Во второй главе с помощью метода МФШ производится вычисление пропагаторов фермиона и массивного векторного бозона во внешнем постоянном однородном магнитном поле в импульсном представлении в виде разложения в ряд по уровням Ландау. Полученные выражения пропагаторов сравниваются с известными результатами из литературы. В конце главы кратко излагается применение метода МФШ сторонней группой авторов для решения задачи о нахождении пропагатора фермиона в равномерно вращающейся системе отсчета.

В третьей главе приводятся вычисления пропагаторов для ранее рассмотренных заряженных частиц в постоянном однородном магнитном поле в координатном представлении в виде разложения в ряд по уровням Ландау. При этом для скалярной частицы расчеты были выполнены с помощью трёх методов (метода МФШ, классического метода Фока-Швингера и в формализме канонического квантования), что дало согласующиеся результаты. В конце главы обсуждаются избранные свойства полученных представлений пропагаторов.

Наконец, в заключении ещё раз кратко формулируется стратегия построения пропагаторов в рамках метода МФШ, а также обсуждаются его сходства и различия с другими известными подходами. Ещё раз приводятся полученные в основных главах результаты, а также рассматриваются направления возможного дальнейшего развития метода МФШ.

Диссертация написана с соблюдением всех формальных требований. Основные результаты, изложенные в диссертации, были опубликованы в шести работах. Из них четыре представлены в журналах, индексируемых в системах WoS и Scopus, а именно, Physical Review D (PRD), European Physical Journal C (EPJC) и Journal of Physics Conference Series (JPCS). Ещё две работы представляют собой 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. Автор очно выступил на тематическом семинаре (с моим участием) по квантовой теории поля в ИЗМИРАН (г.Москва, г. Троицк), где успешно представил содержание своей диссертации и ответил на уточняющие вопросы.

Тем не менее, работа не лишена **недостатков**.

1. Несмотря на развитие нового метода нахождения пропагаторов заряженных частиц во внешних полях, в диссертации не уделено внимание применению полученных результатов. Создаётся впечатление, что нахождение пропагатора является самоцелью соискателя. Пропагатор частицы используется при вычислении различных петлевых диаграмм.

Соискатель не уделил должного внимания в своей работе возможному применению полученных результатов для расчёта конкретных процессов с участием виртуальных заряженных частиц во внешнем магнитном поле. Это является общим **недостатком** всей диссертации.

2. Раздел 2.3 диссертации посвящён нахождению пропагатора заряженного бозона во внешнем магнитном поле. При этом использована произвольная R_ξ калибровка. Одним из важных пределов является случай унитарной калибровки, в котором присутствуют только физические виртуальные частицы при расчете петлевых диаграмм. Однако, как отметили Fujikawa, Lee и Sanda (Phys. Rev. D **6**, 2923 (1972)), соответствие между R_ξ и унитарной калибровками является формальным и имеет место только до вычисления фейнмановских интегралов. Соискатель не проанализировал предел унитарной калибровки результатов полученных в разделе 2.3, что является **недостатком** диссертации.

3. На странице 4, во Введении, упомянуты достижения эксперимента SNO по подтверждению гипотезы о нейтринных осцилляциях. Однако, соискатель не сослался на не менее важный результат эксперимента KamioKande (см, например, T. Kajita, Rev. Mod. Phys. **88**, 030501 (2016)) по исследованию осцилляций нейтрино. По крайней мере, Нобелевский комитет в 2015 г. отметил достижения как эксперимента SNO, так и KamioKande. Это является **недостатком** диссертации.

4. На той же странице 4, при обсуждении проблемы солнечных нейтрино, приведена не совсем уместная ссылка на статью [11], которая посвящена изучению осцилляций ускорительных нейтрино. Данный факт является **недостатком** работы.

5. В качестве **недостатка** следует также отметить некоторую небрежность в оформлении рукописи. Например, обозначения для эффективных масс после формулы (2.54) повторяются в формулах (2.70) и (2.71), а также в (2.103) и (2.104). Определение параметра $\Phi(X, X')$ в (2.69) повторяется в (2.102). Кроме того, оператор дифференцирования по η в формуле (1.60) следует писать в виде ∂_η , а не d_η .

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, утвержденного 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.

Заведующий теоретическим отделом
ИЗМИРАН (г.Москва, г.Троицк)
д.ф.-м.н.

_____ М.С. Дворников

Дата: 24 августа 2022 г.

Место работы: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской академии наук (ИЗМИРАН), г. Москва, г. Троицк.

Почтовый адрес: 108840, Россия, г. Москва, г. Троицк, Калужское шоссе, д. 4

Тел.: +7-(495)-8510912

E-mail: maxdvo@izmiran.ru

Подпись Дворникова М. С. заверяю
Ученый секретарь ИЗМИРАН
канд.ф.-м.н.
Рез Александр Иосифович

Дворников Максим Сергеевич - д. ф.-м. н. по специальности 01.04.02 - «Теоретическая физика».

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

1. **M. Dvornikov**, “*Gravitational waves generation in turbulent hypermagnetic fields before the electroweak phase transition*”, Journal of Cosmology and Astroparticle Physics 01 (2022) 021, doi: [10.1088/1475-7516/2022/01/021](https://doi.org/10.1088/1475-7516/2022/01/021), [arXiv:2110.04214](https://arxiv.org/abs/2110.04214) [hep-ph].
2. **M. Dvornikov**, “*Neutrino scattering off a black hole surrounded by a magnetized accretion disk*”, Journal of Cosmology and Astroparticle Physics 04 (2021) 005, doi: [10.1088/1475-7516/2021/04/005](https://doi.org/10.1088/1475-7516/2021/04/005), [arXiv:2102.00806](https://arxiv.org/abs/2102.00806) [hep-ph].
3. **M. Dvornikov**, “*Magnetic helicity in plasma of chiral fermions electroweakly interacting with inhomogeneous matter*”, Nuclear Physics B **955**, 115049 (2020), doi: [10.1016/j.nuclphysb.2020.115049](https://doi.org/10.1016/j.nuclphysb.2020.115049), [arXiv:2005.09358](https://arxiv.org/abs/2005.09358) [hep-ph].
4. **M. Dvornikov**, “*Neutrino spin oscillations in external fields in curved spacetime*”, Physical Review D **99**, 116021 (2019), doi: [10.1103/PhysRevD.99.116021](https://doi.org/10.1103/PhysRevD.99.116021), [arXiv:1902.11285](https://arxiv.org/abs/1902.11285) [hep-ph].
5. **M. Dvornikov**, “*Spin-flavor oscillations of Dirac neutrinos in matter under the influence of a plane electromagnetic wave*”, Physical Review D **99**, 035027 (2019), doi: [10.1103/PhysRevD.99.035027](https://doi.org/10.1103/PhysRevD.99.035027), [arXiv:1901.01022](https://arxiv.org/abs/1901.01022) [hep-ph].
6. **M. Dvornikov**, “*Spin-flavor oscillations of Dirac neutrinos in a plane electromagnetic wave*”, Physical Review D **98**, 075025 (2018), doi: [10.1103/PhysRevD.98.075025](https://doi.org/10.1103/PhysRevD.98.075025), [arXiv:1806.08719](https://arxiv.org/abs/1806.08719) [hep-ph].