

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.119.01
НА БАЗЕ Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН)
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА
НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от **15.09.2022г. № 13/86**

О присуждении **Яблокову Станиславу Николаевичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Модифицированный метод Фока-Швингера для нахождения точных решений пропагаторных уравнений в присутствии магнитного поля» по специальности 01.04.02 – «Теоретическая физика» принята к защите 30 июня 2022 г., протокол № 8/81 диссертационным советом Д 002.119.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН), 117312, г. Москва, пр-т 60-летия Октября, 7а., приказ Министерства образования и науки РФ № 75/нк от 15 февраля 2013 года.

Соискатель Яблоков Станислав Николаевич, 1987 года рождения. В 2017 году соискатель окончил физический факультет Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова (ЯрГУ)». В 2017 году соискатель С.Н. Яблоков поступил в очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова (ЯрГУ)» по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика, и окончил её в 2021 году. В настоящее время работает в должности младшего научного сотрудника в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича Российской академии наук (ИППИ РАН)».

Диссертация выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ярославский

государственный университет им. П.Г. Демидова (ЯрГУ)», на кафедре теоретической физики физического факультета.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук **Кузнецов Александр Васильевич**, профессор кафедры теоретической физики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова (ЯрГУ)», г. Ярославль.

Официальные оппоненты:

Федотов Александр Михайлович, кандидат физико-математических наук, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ», доцент кафедры теоретической ядерной физики Института Лазерных и Плазменных Технологий.

Дворников Максим Сергеевич, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской академии наук, заведующий теоретическим отделом.

- дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Международная межправительственная организация «Объединенный институт ядерных исследований» (ОИЯИ), в своем положительном заключении, подписанном Осиповым Александром Андреевичем, доктором физико-математических наук, ведущим научным сотрудником сектора № 5 Научного отдела теории фундаментальных взаимодействий Лаборатории теоретической физики (ЛТФ) ОИЯИ и Казаковым Дмитрием Игоревичем, доктором физико-математических наук, профессором, член-корр. РАН, директором ЛТФ ОИЯИ и утвержденном директором ОИЯИ, доктором физико-математических наук, академиком РАН, Трубниковым Григорием Владимировичем,

указала, что работа соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук, а её автор Яблоков Станислав Николаевич заслуживает присуждения ему

учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 — Теоретическая физика.

Соискатель имеет 6 опубликованных работ, в том числе 4 работы по теме диссертации, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК [1-4]. Представленные соискателем сведения об опубликованных им работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, достоверны. Текст опубликованных работ полностью соответствует тематике диссертации, они написаны при решающем участии соискателя. Список работ, по результатам диссертационного исследования:

1. **Iablokov, S. N.**, and A. V. Kuznetsov. "Exponential operator method for finding exact solutions of the propagator equation in the presence of a magnetic field." *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1390. No. 1. IOP Publishing, 2019.
2. **Iablokov, S. N.**, and A. V. Kuznetsov. "Charged massive vector boson propagator in a constant magnetic field in arbitrary ξ -gauge obtained using the modified Fock-Schwinger method." *Physical Review D* 102.9 (2020): 096015.
3. **Iablokov, S. N.**, and A. V. Kuznetsov. "Coordinate-space representation of a charged scalar particle propagator in a constant magnetic field expanded as a sum over the Landau levels." *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1690. No. 1. IOP Publishing, 2020.
4. **Iablokov, S. N.**, and A. V. Kuznetsov. "Position-space representation of charged particles' propagators in a constant magnetic field as an expansion over Landau levels." *The European Physical Journal C* 82.3 (2022): 1-9.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы оппонентов и ведущей организации, в которых отмечено, что работа представляет собой законченное исследование, выполненное на высоком научном уровне, и полностью отвечает всем требованиям к кандидатским диссертациям, предъявляемым Положением о порядке присуждения ученых степеней, утверждённым Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г.

Отмечены следующие критические замечания:

- Используемое в диссертации исходное выражение для пропагатора векторного массивного поля в произвольной ξ -калибровке желательно было бы

предварительно обосновать. Последнее полезно было бы проделать одновременно с анализом соответствующих выражений для голдстоуновских и духовых пропагаторов во внешнем поле, которые также зависят от выбора калибровки.

- Операторная форма теплового ядра (1.48) использовалась ранее Б. М. Барбашовым (ЖЭТФ, 48 (1965) 607-621) для представления функций Грина уравнений Дирака и Клейна-Гордона в произвольном внешнем поле в виде функционального интеграла. Было бы полезно, как минимум, сослаться на эту работу, поскольку в ней впервые было предложено использовать именно ту форму теплового ядра, которая в диссертации является отправной точкой для развития модифицированного метода Фока-Швингера.

- 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. Желательно было бы продемонстрировать, каким образом ограничение конечным числом членов ряда сказывается на точности результата.

- 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.

- 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 осциллирующей нейтрино. По крайней мере, Нобелевский комитет в 2015 г. отметил достижения как эксперимента SNO, так и Kamiokande. Это является недостатком диссертации.

- 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.

- 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 . В библиографии не полностью унифицировано оформление однотипных источников. 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.

- 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 ультррелятивистские частицы на высоких уровнях Ландау.

- 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.

- На стр. 34 никак не прокомментирован смысл нумерованных условий, следующих за (1.41).

- На стр. 56 отсутствует вывод формулы (2.44) или ссылка на таковой.

- На стр. 78 перед (3.17) упоминается ортонормированность но без уточнения по отношению к какому скалярному произведению.

- Обсуждение в п. 3.4 стало бы более понятным, если бы опиралось на терминологию, вытекающую из квазиклассичности движения на высоких уровнях Ландау.
- Упомянутые соискателем в тексте диссертации ошибочные работы других авторов 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 можно 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.
- Автор мог упустить из виду, что 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. Утверждение в диссертации об однозначном преимуществе использования в расчетах пропагаторов в импульсном представлении в виде разложения по квантовым числам (по уровням Ландау) является спорным -- по крайней мере в недавних расчетах радиационных поправок в скрещенных полях лучше себя зарекомендовало представление, полученное классическим методом Фока-Швингера.
- Ограничение случаем постоянного поля, возможно, и хорошо обосновано в приложениях 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 работы [98], и особенно ее упоминание на стр. 17 в пункте о научной новизне диссертации является излишним. Про это достаточно было бы кратко упомянуть со ссылкой в заключении, а так это выглядит как попытка искусственно раздуть объем. Никак не обсуждается тонкий вопрос, связанный с глобальностью вакуума при наличии горизонта в равномерно вращающейся системе.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается высокой квалификацией ученых и наличием работ высокого уровня по сходной тематике.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- Разработана в общем виде модификация классического метода Фока-Швингера для решения пропагаторных уравнений.
- Впервые применён разработанный модифицированный метод Фока-Швингера для нахождения импульсного представления пропагаторов заряженных частиц (скаляра, фермиона и массивного векторного бозона в произвольной калибровке) во внешнем постоянном однородном магнитном поле в виде разложения по уровням Ландау.
- Впервые найдено в общем виде представление пропагаторов заряженных частиц со спином (фермиона и массивного векторного бозона в произвольной калибровке) во внешнем произвольном постоянном однородном электромагнитном поле в виде интеграла по параметру собственного времени от серии коммутирующих экспоненциальных операторов, действующих на четырёхмерную дельта-функцию от разности пространственно-временных координат из правой части пропагаторного уравнения.
- Впервые найдено координатное представление пропагаторов заряженных частиц (скаляра, фермиона и массивного векторного бозона в произвольной калибровке) во внешнем постоянном однородном магнитном поле в виде разложения в ряд по уровням Ландау.

- Исследованы некоторые свойства представления пропагаторов заряженных частиц в постоянном однородном магнитном поле в виде разложения в ряд по уровням Ландау, в частности впервые обнаружен эффект влияния радиальной координаты из двумерной евклидовой плоскости (перпендикулярной направлению магнитного поля) на полную амплитуду пропагатора косвенно через номер уровня Ландау.

Результаты, изложенные в настоящей диссертации, обладают как теоретической, так и практической ценностью. Их значимость для теоретических исследований, во-первых, заключается в разработке нового метода построения пропагаторов, который сочетает в себе отдельные особенности как формализма канонического квантования, так и классического метода Фока--Швингера. Во-вторых, полученные в самом общем виде представления пропагаторов могут использоваться для теоретического анализа выражений в тех случаях, где не требуется их явный вид. Напротив, конкретные выражения пропагаторов, представленные в данной работе, полезны с практической точки зрения для вычисления амплитуд процессов во внешнем постоянном однородном магнитном поле. При этом использоваться может как зарекомендовавшее себя в квантово-полевых расчётах импульсное представление, так и перспективное для некоторых классов диаграмм координатное представление. Наконец, определённой практической ценностью обладают не только полученные в рамках данной диссертации конечные формулы в виде разложения в ряд по уровням Ландау, но и несколько удобных промежуточных выражений.

Содержание диссертации и основные положения, выносимые на защиту, отражают персональный вклад автора в опубликованные работы. Все представленные в диссертации результаты получены лично автором. А именно, соискателем был разработан в общем виде модифицированный метод Фока--Швингера, получены разнообразные представления пропагаторов заряженных частиц (скаляра, фермиона и массивного векторного бозона в произвольной калибровке) во внешнем постоянном однородном магнитном поле, а также изучены некоторые свойства этих представлений. Подготовка к публикации полученных результатов проводилась совместно с соавторами, причем вклад соискателя был определяющим. Результаты проведённых научных исследований

вошли в специальный курс, читаемый на кафедре теоретической физики физического факультета ЯрГУ им. П.Г.Демидова (г.Ярославль).

На заседании 15 сентября 2022 года диссертационный совет принял решение присудить Яблокову Станиславу Николаевичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **19** человек, из них **4** доктора наук по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика, участвовавших в заседании, из **27** человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту – **0** человек, проголосовали: за – **19**, против – **0**, недействительных бюллетеней – **0**.

Председатель заседания,
заместитель председателя
диссертационного совета Д 002.119.01
доктор физ.-мат. наук

_____ Безруков Л.Б.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 002.119.01
кандидат физ.-мат. наук

_____ Демидов С.В.

15.09.2022 г.

м.п.