

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.074.04 НА БАЗЕ
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Иркутский государственный университет»
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации
по диссертации на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета
от «28» ноября 2019 г. №5

О присуждении Раджабову Андрею Евгеньевичу, гражданину РФ, учёной степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Адронные процессы в вакууме, горячей и плотной среде, поправки к аномальному магнитному моменту мюона в низкоэнергетической модели КХД» по специальности 01.04.02 – теоретическая физика принята к защите 28 июня 2019 г., протокол №2, диссертационным советом Д 212.074.04 на базе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский государственный университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (664003, г. Иркутск, бульвар Гагарина, д. 20, приказ Рособнадзора о создании диссертационного совета № 1634–894 от 13.07.2007 г.).

Соискатель Раджабов Андрей Евгеньевич 1977 года рождения. В 1999 году окончил физический факультет Иркутского государственного университета с присвоением квалификации «Физика». В 2004 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Диссертация выполнена в отделении 2 Прикладных проблем математической физики и теории поля Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт динамики систем и теории управления имени В.М. Матросова» Сибирского отделения Российской академии наук (ИДСТУ СО РАН).

Официальные оппоненты:

Катаев Андрей Львович, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник отдела теоретической физики Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт ядерных исследований» Российской академии наук;

Кожевников Аркадий Алексеевич, доктор физико-математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории теоретической физики Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт математики им. С. Л. Соболева» Сибирского отделения Российской академии наук;

Эйдельман Семён Исаакович, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник лаборатории физики высоких энергий Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера» Сибирского отделения Российской академии наук

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Международная межправительственная организация Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна - в своём положительном заключении, подписанном Ивановым Михаилом Алексеевичем, доктором физико-математических наук, профессором, главным научным сотрудником сектора №2 Научного отдела теории фундаментальных взаимодействий ЛТФ ОИЯИ, и Казаковым Дмитрием Игоревичем, член-корреспондентом РАН, доктором физико-математических наук, профессором, директором ЛТФ ОИЯИ, и утверждённом Матвеевым Виктором Анатольевичем, директором ОИЯИ, академиком РАН, профессором, указала, что текст автореферата диссертации правильно отражает ее содержание. Результаты, представленные в диссертации, опубликованы в 22 статьях в ведущих российских и зарубежных рецензируемых научных журналах, докладывались автором на международных конференциях по физике высоких энергий, обсуждались на семинарах в российских и международных научных центрах и имеют высокую цитируемость. Диссертация А.Е. Раджабова «Адронные процессы в вакууме, горячей и плотной среде, поправки к аномальному магнитному моменту мюона в

низкоэнергетической модели КХД» представляет собой законченное научное исследование по актуальной тематике, отвечает всем требованиям Высшей аттестационной комиссии, установленным в п.9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённой постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, а ее автор Андрей Евгеньевич Раджабов, безусловно, заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 - теоретическая физика.

Соискатель имеет более 50 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 22 работы: все из них статьи в журналах, включённых ВАК РФ в «Перечень ведущих рецензируемых журналов», журналах, входящих в базы данных Web of Science, Scopus. В работах представлены результаты по построению кварковых моделей в вакууме и среде (при конечной температуре и/или химическом потенциале), приложению построенных моделей для исследований физики мезонов, а также вычислению адронных поправок в аномальный магнитный момент мюона. В диссертации не обнаружены недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах, авторском вкладе и объеме научных изданий.

Наиболее значимые научные результаты по теме диссертации опубликованы в следующих работах:

1. М.К. Волков, А.Е. Раджабов Модель Намбу–Иона-Лазинио и её развитие // УФН – 2006. – Т. 176. – С. 569.

2. А.Е. Radzhabov, М.К. Volkov, V.L. Yudichev Two-photon decays of vector mesons and dilepton decays of scalar mesons in dense matter // J. Phys. – 2006. – V. G32. – P. 111–128.

3. D. Blaschke, M. Buballa, А.Е. Radzhabov, М.К. Volkov Effects of mesonic correlations in the QCD phase transition // Ядерная Физика – 2008. – Т. 71. – С. 2012–2018.

4. А.Е Radzhabov., D. Blaschke, M. Buballa, М.К. Volkov Nonlocal PNJL model beyond mean field and the QCD phase transition // Phys. Rev. 2011. – V. D83. – P. 116004.

5. A.E. Dorokhov, A.E. Radzhabov, A.S. Zhevlakov The pseudoscalar hadronic channel contribution of the light-by-light process to the muon $(g-2)_\mu$ within the nonlocal chiral quark model // Eur. Phys. J. – 2011. – V. C71. – P. 1702.

6. A.E. Dorokhov, A.E. Radzhabov, A.S. Zhevlakov The Light-by-Light Contribution to the Muon $(g-2)$ from Lightest Pseudoscalar and Scalar Mesons within Nonlocal Chiral Quark Model // Eur. Phys. J. – 2012. – V. C72. – P. 2227.

7. A.E. Dorokhov, A.E. Radzhabov, A.S. Zhevlakov Dynamical quark loop light-by-light contribution to muon $g - 2$ within the nonlocal chiral quark model // Eur. Phys. J. – 2015. – V. C75 – P. 417.

8. A.E. Dorokhov, A.E. Radzhabov, F.A. Shamakhov, A.S. Zhevlakov The nonlocal chiral quark model and the muon $g - 2$ problem // ЭЧАЯ. – 2016. – Т. 47. – С. 699.

9. D. Blaschke, A. Dubinin, A.E. Radzhabov, A. Wergieluk Mott dissociation of pions and kaons in hot, dense quark matter // Phys. Rev. – 2017. – V. D96 – P. 094008.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

Официальный оппонент *Катаев Андрей Львович*, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник отдела теоретической физики Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт ядерных исследований» Российской академии наук. Замечания: 1. Автором диссертации активно используется в своей работе понятие динамическая масса кварка, но не упоминается об аналогии с параметром, введенным в классической работе Б.А. Арбузов, А.Н. Тавхелидзе, Р. Н. Фаустов, «К вопросу о массе фермиона в γ_5 инвариантной модели квантовой теории поля» Докл. АН СССР, 139:2 (1961), 345-347. 2. В диссертации скалярный мезон $a_0(980)$ рассматривается как связанное состояние кварка и антикварка. Интересно было бы понять, можно ли вписать в модель представление, что этот скалярный мезон может являться четырехкварковым состоянием. 3. При фиксации неопределенностей в предсказаниях модели автор использует не совсем согласованную методику: часть параметров фиксируются из модельного описания мезонной спектроскопии, а другие – на основании значений кварковых конденсатов, фиксируемых в методе правил сумм КХД. 4. К сожалению, автором не выписана явная зависимость от

температуры функции g_i , введенной в разделе 2.2. 5. В разделе 3.1 не обсуждается проверка поведения функции Адлера на основе экспериментальных данных по электрон-позитронной аннигиляции. Неясно, справедлива ли формула (3.6) для вклада адронной поляризации вакуума в нелокальной модели. Отмечу, что в диссертации приводятся результаты вычислений подавленных фактором $1/N_c$ поправок лишь к кварковому пропагатору. При этом в данном порядке возможны поправки к вершинным функциям и поправки с промежуточными двух-мезонными состояниями. 6. В разделе 3.2.2 отсутствует сравнение поведения переходного формфактора пиона, полученного в нелокальной кварковой модели, с аналогичными предсказаниями правил сумм КХД с нелокальными конденсатами. 7. Процитированная в диссертации работа [194] представляет большой интерес. В ней показана стабильность вклада процесса рассеяния свет-на-света к глюонной поправке, вычисленной в рамках пертурбативной КХД. Автором, к сожалению, об этом не упомянуто, а утверждается, что ни один из имеющихся расчетов не был проведен исходя из первых принципов КХД.

Официальный оппонент *Кожевников Аркадий Алексеевич*, доктор физико-математических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории теоретической физики Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт математики им. С. Л. Соболева» Сибирского отделения Российской академии наук. Замечания: 1. В самом тексте встречаются случаи рассогласования окончаний слов. 2. В ссылках к различным частям текста диссертации фигурирует указание на главы, хотя речь идёт о разделах внутри глав. 3. В неравенстве на стр. 33 опущена правая часть. 4. В выражении для эффективного действия (1.9) опущен вклад кинетических членов бозонных полей, хотя в оригинальной публикации диссертанта в УФН такой вклад содержится. 5. Ответы для длин рассеяния на стр. 49 имеют неправильную размерность. 6. Приводимые на стр. 65, 4-я и 5-я строка снизу, значения ширин столь малы, что требуют комментария, если только это не опечатка. 7. На стр. 115 стоило бы прокомментировать утверждение о неравенстве в среде масс каонов разных знаков заряда, поскольку их равенство в вакууме есть следствие СРТ. 8. При обсуждении

аномальных распадов в среде, идущих с нарушением зарядовой чётности, было бы полезно представить их ширины в таком виде, чтобы сделать очевидным их стремление к нулю в вакууме.

Официальный оппонент *Эйдельман Семён Исаакович*, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник лаборатории физики высоких энергий Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера» Сибирского отделения Российской академии наук. Замечания: 1. Теоретическая/модельная ошибка адронного вклада процесса рассеяния света на свете представляется заниженной, т.к. не учитывает предположения, сделанные при построении модели. 2. Адронная поляризация вакуума, вычисленная в модели, сравнивается со значением, извлеченным из адронных распадов τ -лептона, но не с данными по электрон-позитронной аннигиляции. 3. Нет четких выводов о зависимости результатов численных расчетов от величины массы кварков.

Ведущая организация – *Международная межправительственная организация Объединенный институт ядерных исследований*, г. Дубна. Замечания: 1) В диссертационной работе приводятся различные способы введения внешних сохраняющихся нелокальных токов, но при этом не обсуждается будут ли они приводить к различным предсказаниям для физических процессов. 2) Автором используются различные варианты локальных и нелокальных кварковых моделей. При этом было бы желательным разъяснить, какие из них и для каких процессов являются более предпочтительными. 3) При исследовании электромагнитного форм-фактора Паули кварка на основе кварк-глюонной вершины, индуцированной взаимодействием с инстантонами, автором не обсуждаются вопросы калибровочной инвариантности для диаграмм с эффективными вершинами подобного рода. 4) Способ оценки теоретической ошибки расчётов адронного вклада от процесса рассеяния света на свете на основе использования различных параметризаций может недооценивать эту ошибку, т. к. учитывается погрешность только в рамках нелокальной модели. 5) Было бы интересно провести более глубокое сравнение с другими подходами, например с вычислениями,

выполненными в дисперсионной технике.

Отзывы на автореферат:

1. *Андрианов Александр Андреевич*, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры физики высоких энергий и элементарных частиц Санкт-Петербургского государственного университета. Замечаний нет.

2. *Клименко Константин Григорьевич*, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Отдела теоретической физики Федерального государственного бюджетного учреждения «Государственный научный центр Российской Федерации - Институт физики высоких энергий имени А.А. Логунова», научный исследовательский центр «Курчатовский институт». Замечаний нет.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается широкой известностью их достижений в области физики элементарных частиц и физики высоких энергий, наличием публикаций по данному направлению, а также способностью определить научную и практическую значимость диссертационной работы. Официальный оппонент доктор физико-математических наук, *Катаев А.Л.* – известный учёный, специалист мирового уровня в области квантовой теории поля и физики элементарных частиц. Имеет более 160 научных работ, в том числе в высокорейтинговых российских и зарубежных журналах. Официальный оппонент доктор физико-математических наук, *Кожевников А.А.* – высококвалифицированный специалист в области физики мезонов и построения эффективных лагранжианов. Имеет более 80 научных публикаций. Официальный оппонент, доктор физико-математических наук *Эйдельман С.И.* известный специалист в области теоретической и экспериментальной физики элементарных частиц, активный участник экспериментальных коллабораций КМД-2,3 КЕДР, LHCb, Belle(II), участник рабочей группы Review of Particle Physics, самый цитируемый представитель сибирской науки за последнюю четверть века. Ведущая организация – *Международная межправительственная организация Объединенный институт ядерных исследований* – ведущий исследовательский центр России в области ядерной физики, физики элементарных частиц и конденсированного состояния

вещества. *Иванов М.А.*, доктор физико-математических наук – высококвалифицированный специалист по построению эффективных лагранжианов и исследованию физики адронов в рамках кварковых моделей. Общее количество публикаций более 250. *Казаков Д.И.*, член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук специалист мирового уровня в области в области квантовой теории поля и физики элементарных частиц. Автор более 180 научных работ.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований: **предложен** оригинальный подход к построению нелокальной кварковой модели на основе $1/N_c$ разложения, **получены** вершины взаимодействия спинорных и скалярных частиц с произвольным числом фотонов, на основе которых **вычислены** адронные поправки к аномальному магнитному моменту мюона от процесса рассеяния света на свете. **Показана** важность учёта эффектов, связанных с нахождением мезонов вне массовой поверхности при оценке вклада диаграмм с промежуточными мезонами в аномальный магнитный момент мюона, **дана** оценка ошибки теоретических расчётов, полученных на основе выбранной модели. **Оценены** вклады мезонных флуктуаций в кварковый конденсат и свойства пиона и **показана** сходимость многопетлевых диаграмм с динамическими кварками. **Предложен** возможный механизм появления эффекта пика в отношении выходов каонов к пионам на основе появления низкоэнергетической моды у каонов в кварковой модели.

Теоретическая значимость исследования определяется: систематическим развитием нелокальной модели и выводом вершин взаимодействия кварков с внешними полями, расширением нелокальной модели на случай конечных температур с включением динамики калибровочных степеней свободы на основе эффективного потенциала петель А.М. Полякова, получением оценки вклада адронных поправок от адронной поляризации вакуума и процесса рассеяния света на свете в аномальный магнитный момент мюона в рамках кварковых моделей, вычислением вероятностей процессов редких распадов в вакууме и процессов, индуцированных нарушением лоренц-инвариантности в среде. Показан

динамический механизм реализации схемы $1/N_c$ разложения в нелокальной кварковой модели в вакууме и при конечной температуре.

Значения полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что: **получены** оценки адронного вклада от процесса рассеяния света на свете, которые могут использоваться для сравнения с экспериментальными измерениями; **предложены возможные** сигналы образования новых состояний ядерной материи, механизм генерации эффекта пика в отношении выходов каонов к пионам.

Оценка достоверности результатов исследования: для теоретических исследований полученные результаты основываются на корректном использовании методов квантовой теории поля, согласием предсказаний модели с экспериментальными наблюдаемыми, проверкой известных предельных выражений и согласованности с низкоэнергетическими теоремами; **выводы базируются** на сравнении полученных результатов с результатами других теоретических расчетов в рамках различных моделей, а также сравнении с имеющимися экспериментальными данными.

Личный вклад соискателя: Диссертация обобщает результаты исследований, проведённых в соавторстве. При выполнении расчетов в сотрудничестве с другими научными центрами автор являлся руководителем работ от ИДСТУ СО РАН. В большинстве работ, выполненных в соавторстве, автору принадлежит существенный вклад в постановке задач. Практическая реализация при проведении аналитических и численных вычислений проводилась в ИДСТУ СО РАН независимо от других научных центров им лично и под его руководством.

Диссертационный совет пришёл к выводу, что в диссертации Раджабова А.Е. представлен и хорошо обоснован новый подход к решению большого числа сложных и фундаментальных научных проблем, результаты которого имеют высокую научную и практическую значимость. Работа соответствует специальности 01.04.02 – теоретическая физика и пункту 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утверждённого постановлением Правительства

РФ № 842 от 24 сентября 2013 г., а также отвечает требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям.

На заседании 28 ноября 2019 г. диссертационный совет принял решение присудить Раджабову А.Е. учёную степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 6 докторов по специальности 01.04.02 – теоретическая физика, участвовавших в заседании, из 25 человек, входящих в совет, проголосовали: за – 18, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель
диссертационного совета Д 212.074.04,
доктор физико-математических наук,
старший научный сотрудник



Буднев Николай Михайлович

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.074.04,
доктор физико-математических наук,
профессор

Аграфонов Юрий Васильевич

28 ноября 2019 г.