

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  
(ДОКТОРА) НАУК  
аттестационное дело № \_\_\_\_\_  
решение диссертационного совета от **14.02.2019** г. № **2/49**

О присуждении **Румянцеву Дмитрию Александровичу**, гражданину РФ, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Резонансные электрослабые процессы в замагниченной плазме» по специальности 01.04.02 – теоретическая физика, принята к защите 22.10.2018 г., протокол № 8/45 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 России № 75/нк от 15 февраля 2013 года.

Соискатель Румянцев Дмитрий Александрович 1972 года рождения, в 2002 году окончил с отличием физический факультет Ярославского государственного университета им. П.Г. Демидова по направлению «Физика».

Румянцев Д.А. в 2005 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук в диссертационном совете Д 002.119.01, созданном на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН) (г. Москва). Тема диссертации: «Фотон-фотонные и фотон-нейтринные процессы в сильно замагниченной электрон-позитронной плазме» по специальности 01.04.02 – теоретическая физика, научный руководитель – доктор физико-математических наук, доцент, А. В. Кузнецов. Был выдан диплом КТ № 174528, дата выдачи 10 марта 2006 г. Работает доцентом кафедры теоретической физики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова».

Диссертация выполнена на кафедре теоретической физики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова».

Научный консультант – доктор физико-математических наук А. В. Кузнецов, профессор кафедры теоретической физики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова».

Официальные оппоненты:

**Высоцкий Михаил Иосифович**, доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт теоретической и экспериментальной физики (ИТЭФ) имени А. И. Алиханова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», заведующий лабораторией теории элементарных частиц ИТЭФ;

**Семикоз Виктор Борисович**, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова Российской академии наук (ИЗМИРАН)», заведующий теоретическим отделом;

**Теряев Олег Валерианович**, доктор физико-математических наук, «Международная межправительственная организация Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ)», Лаборатория физики высоких энергий, начальник отдела,

- дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», (г. Москва) – в своем положительном заключении, утвержденном М. Н. Стрихановым (доктор физ.-мат. наук, профессор, ректор Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»), подписанном А. М. Федотовым (кандидат физ.-мат. наук, доцент кафедры теоретической ядерной физики Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»), С. Е. Муравьевым

(кандидат физ.-мат. наук, и. о. заведующего кафедрой теоретической ядерной физики Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»), А. П. Кузнецовым (доктор физ.-мат. наук, профессор, и. о. директора Института лазерных и плазменных технологий Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ») и Н. А. Кудряшовым (доктор физ.-мат. наук, профессор, председатель совета по аттестации и подготовке научно-педагогических кадров Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ»), указала, что диссертация Д. А. Румянцева соответствует всем критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, установленным в «Положении о присуждении ученых степеней», утвержденном постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, а ее автор, Д. А. Румянцев, несомненно заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Соискатель имеет 44 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации 26 работ, из которых **13 опубликованы в рецензируемых научных изданиях**, рекомендованных ВАК. Работы соискателя, представленные в диссертации, посвящены теоретическому исследованию влияния внешней активной среды – сильного магнитного поля и замагниченной плотной электрон-позитронной плазмы – на квантовые процессы с участием фотонов и нейтрино с учетом возможных резонансных эффектов. Впервые вычислены амплитуды обобщенного комптоноподобного процесса рассеяния обобщенного тока скалярного, псевдоскалярного, векторного или аксиального типов на фермионах в постоянном однородном магнитном поле и плазме. Впервые получены простые выражения для коэффициентов поглощения фотона, обусловленные процессом фотона на электроны в сильно замагниченной плазме в двух предельных случаях зарядово-симметричной и холодной почти вырожденной плазмы с учетом дисперсии и перенормировки волновых функций фотонов. Впервые получены коэффициенты поглощения в процессах расщепления и слияния фотонов в сильно замагниченной зарядово-симметричной плазме с учетом изменения дисперсионных свойств и правил

отбора по поляризациям фотонов в такой среде в общем случае, когда распадающийся фотон распространяется под произвольным углом по отношению к направлению магнитного поля. В замагниченной плотной плазме впервые получены аппроксимационные формулы для светимости за счет фотонейтринного процесса рассеяния фотона на электроне с рождением электрона и нейтрино-антинейтринной пары в двух случаях релятивистской и нерелятивистской плазмы. Впервые найдено число аксионов, рождаемых равновесным реликтовым излучением в магнитосфере магнитара. Предложен новый механизм генерации электрон-позитронной плазмы в магнитосфере магнитара. Соискатель внес определяющий вклад в каждую из опубликованных работ.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Румянцев Д. А., Чистяков М. В. Влияние сильно замагниченной плазмы на процесс расщепления фотона. // *ЖЭТФ*. – 2005. – Т. 128, – № 4. – С. 740-751.
2. Румянцев Д. А., Чистяков М. В. Влияние фотон-нейтринных процессов на остывание магнитара. // *ЖЭТФ*. – 2008. Т– . 134, – № 4. – С. 627-636.
3. Румянцев Д. А., Чистяков М. В. Процессы с участием фотонов в сильно замагниченной плазме. // *Ядерная физика*. – 2009. – Т. 72, – № 2. – С. 334-339.
4. Chistyakov M. V., Romyantsev D. A. Compton effect in strongly magnetized plasma. // *Int. J. Mod. Phys. A*. – 2009. – V. 24, – No. 20-21. – P. 3995-4008.
5. Михеев Н. В., Румянцев Д. А., Школьникова Ю. Е. О резонансном рождении аксионов в магнитосфере магнитара. // *Письма в журн. эксперим. и теор. физ.* – 2009. – Т. 90, – № 9. – С. 668-671.
6. Chistyakov M. V., Romyantsev D. A., Stus' N. S. Photon splitting and Compton scattering in strongly magnetized hot plasma. // *Phys. Rev. D*. – 2012. – V. 86, – P. 043007 (1-17).
7. Румянцев Д. А. Резонансный механизм рождения  $e^+e^-$  пар в сильном магнитном поле. // *Ядерная физика*. – 2013. – Т. 76, – № 12. – С. 1605-1609.
8. Михеев Н. В., Румянцев Д. А., Чистяков М. В. Фоторождение нейтрино на электроне в плотной замагниченной среде. // *ЖЭТФ*. – 2014. – Т. 146, – № 2. – С. 289-296.

9. *Kuznetsov A. V., Rumyantsev D. A., Shlener D. M.* Generalized two-point tree-level amplitude  $j\bar{f} \rightarrow j' \bar{f}'$  in a magnetized medium. // *Int. J. Mod. Phys. A.* – 2015. – V. 30, – No. 11. – P. 1550049 (1-23).

10. *Румянцев Д. А., Шленев Д. М., Ярков А. А.* Резонансы в комптоноподобных процессах рассеяния во внешней замагниченной среде. // *ЖЭТФ.* – 2017. – Т. 152, – № 3. – С. 483-494.

Во всех отзывах сделан вывод о том, что работа содержит хорошо обоснованные новые результаты и полностью отвечает всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а её автор заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

В отзывах отмечается, что диссертация Д. А. Румянцева содержит результаты, имеющие высокую **научную значимость**. В диссертации получены новые важные результаты в различных областях теоретической физики, таких как физика элементарных частиц (фотоны, нейтрино, аксионы) и астрофизика, объединенные исследованием физических процессов в сильных магнитных полях и плазме. Д. А. Румянцевым были получены новые важные результаты, которые можно квалифицировать как крупные научные достижения. Среди них особо отмечены следующие:

1. Разработан формализм для самосогласованного описания процессов с участием фотонов и нейтрино с последовательным учетом влияния сильного магнитного поля и плазмы на амплитуды процессов и на дисперсионные и поляризационные свойства фотонов на основе квантовой теории поля.
2. Разработан формализм расчета резонансных комптоноподобных процессов рассеяния обобщенного тока скалярного, псевдоскалярного, векторного или аксиального типов на фермионах в постоянном однородном магнитном поле и фермион-антифермионной плазме, основанный на использовании точных решений уравнения Дирака и пропагаторов фермионов в постоянном однородном магнитном поле.

Данный формализм, в частности, применяется для анализа механизма генерации электрон-позитронной плазмы в магнитосфере магнитара, основанного на резонансном рассеянии мягкого рентгеновского фотона, испущенного с поверхности магнитара, жестким электроном, ускоренным в его полярной шапке.

Результаты диссертационной работы являются оригинальными и получены впервые. Они обоснованы и убедительны, хорошо известны специалистам и опубликованы в ведущих физических журналах. Диссертационная работа Д. А. Румянцева выполнена на высоком научном уровне.

В отзывах имеются замечания: указывается, что недостаточно подробно раскрыт формализм учета влияния плазмы на квантовые процессы посредством когерентного рассеяния нейтральных частиц на реальных фермионах среды без изменения их состояния (рассеяние «вперед»); остается неясным как в диссертации учитываются температурные эффекты в промежуточных состояниях фермионов; недостаточно полно указаны причины существенного расхождения с имеющейся в литературе оценкой скорости рождения аксионов реликтовым излучением в магнитосфере магнитара; не совсем точно указано, что аксион является наиболее вероятным кандидатом на роль холодной темной материи, тогда как не менее популярным кандидатом является WIMP – слабо взаимодействующая массивная частица; встречаются опечатки в тексте; отмечаются недостатки в цитировании литературы по исследованию процесса рождения светопозитрония, современному состоянию проблемы остывания нейтронных звезд, а также собственных работ диссертанта.

Данные замечания не снижают ценности работы и не влияют на справедливость полученных результатов.

В отзывах имеются предложения. Предлагается продолжить исследование самого переноса излучения, возможно в диффузионном приближении, что в конечном счете и определяет наблюдаемый спектр «мягких гамма-повторителей» в излучении магнитаров – нейтронных звезд с сильным магнитным полем. Предлагается сформулировать общие условия, при которых влияние на квантовые процессы как эффектов сильного магнитного поля, так и

эффектов замагниченной среды будет одного порядка либо один из них будет определяющим. Следовало бы дополнительно обсудить ограничения на плотность среды, необходимые для применимости подразумеваемого всюду при температурном усреднении приближения идеальной плазмы. В главе 1 желательно было бы рассмотреть вопрос: можно ли дополнительно описать поляризационные эффекты, вводя стандартным образом ковариантные поляризации. При рассмотрении процесса расщепления фотона в замагниченной среде в главе 3 интересно было бы обсудить, в какой степени известное описание рассеяния вперед в терминах показателя преломления обобщается на данный случай, в особенности в связи с уравнением диффузии. Утверждение в разделе 3.2 о возможности получения ковариантных выражений, не содержащих 4-скорость среды, было бы полезно обсудить не только с точки зрения возможности построения тензорного базиса, но и в связи с физикой влиянием среды.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой научной квалификацией, полученными научными результатами мирового уровня и многолетним опытом научных исследований по сходной тематике.

Диссертационный совет отмечает, что совокупность полученных в диссертации результатов можно квалифицировать как крупное научное достижение. Данное заключение основано на анализе следующих результатов, составляющих **положения, выносимые на защиту:**

1. Впервые вычислены амплитуды обобщенного комптоноподобного процесса  $jf \rightarrow j'f'$  в постоянном однородном магнитном поле с произвольной величиной напряженности, где  $f$  и  $f'$  – начальный и конечный фермионы, находящиеся на произвольных уровнях Ландау,  $j$  и  $j'$  – обобщенные токи скалярного, псевдоскалярного, векторного или аксиального типов. Амплитуды представлены в явном калибровочно- и лоренц-инвариантном виде. Рассмотрены частные случаи сильного магнитного поля, когда реальные фермионы занимают основной уровень Ландау, и когерентного рассеяния тока  $j$  «вперед» без изменения

состояний фермионов. Последний результат позволил обобщить имеющиеся в литературе выражения для амплитуд перехода  $j \rightarrow f\bar{f} \rightarrow j'$  в магнитном поле на случай произвольно замагниченной плазмы.

2. Впервые получены простые выражения для коэффициентов поглощения фотона, обусловленные процессом  $\gamma e \rightarrow \gamma e$  в сильно замагниченной плазме в двух предельных случаях зарядово-симметричной и холодной почти вырожденной плазмы с учетом дисперсии и перенормировки волновых функций фотонов. Проведено сравнение коэффициентов поглощения фотонов в процессе расщепления фотона и в процессе комптоновского рассеяния.
3. Вычислена амплитуда процесса расщепления фотона  $\gamma \rightarrow \gamma\gamma$ , проанализирована кинематика и найдены правила отбора по поляризациям. Для разрешенных каналов расщепления впервые получены соответствующие вероятности с учетом дисперсии и перенормировки волновых функций фотонов в общем случае, когда распадающийся фотон распространяется под произвольным углом по отношению к направлению магнитного поля. Полученные результаты показывают, что присутствие плазмы, с одной стороны, существенным образом изменяет правила отбора по поляризациям по сравнению со случаем чистого магнитного поля. Обнаружен новый канал расщепления  $\gamma_2 \rightarrow \gamma_1\gamma_1$ , запрещенный в отсутствие плазмы. С другой стороны, из численных расчетов и полученных асимптотических формул следует, что горячая плазма оказывает подавляющее влияние на каналы  $\gamma_1 \rightarrow \gamma_1\gamma_2$  и  $\gamma_1 \rightarrow \gamma_2\gamma_2$ . Тем не менее холодная зарядово-симметричная плазма в сочетании с сильным магнитным полем способна усилить вероятность расщепления по этим каналам по сравнению с чистым магнитным полем.
4. Рассмотрено влияние сильно замагниченной плотной плазмы на фотон-нейтринные процессы  $\gamma e \rightarrow e\nu\bar{\nu}$ ,  $\gamma \rightarrow \nu\bar{\nu}$  и  $\gamma\gamma \rightarrow \nu\bar{\nu}$  и впервые получены инвариантные амплитуды реакций  $\gamma e \rightarrow e\nu\bar{\nu}$  и  $\gamma\gamma \rightarrow \nu\bar{\nu}$ . В частном случае холодной плазмы впервые вычислены вклады рассматриваемых

процессов в нейтринную светимость с учетом изменения дисперсионных свойств фотонов в замагниченной среде. Предложен методический прием вычисления светимости фотонейтринного процесса,  $\gamma e \rightarrow e \nu \bar{\nu}$ , через ширину поглощения фотона. На основе изложенной методики показано, что в случае релятивистской плазмы нейтринная светимость за счет процесса  $\gamma e \rightarrow e \nu \bar{\nu}$  существенно модифицируется по сравнению с имеющимися в литературе результатами. Показано, что в случае холодной плазмы вклад в нейтринную излучательную способность процесса  $\gamma \gamma \rightarrow \nu \bar{\nu}$  будет сильно подавлен по сравнению с вкладами фотонейтринного процесса и процесса конверсии фотона. Исходя из возможной модификации кривой охлаждения нейтронной звезды за счет изменения нейтринной светимости в сильном магнитном поле, делается предположение об ограничении на величину индукции магнитного поля во внешней коре магнитара.

5. Впервые рассмотрено влияние замагниченной плазмы на процесс резонансного фоторождения аксионов на заряженных компонентах среды,  $i \rightarrow f + a$ . Показано, что аксионная светимость в области резонанса за счет всевозможных реакций с участием частиц среды однозначно выражается через светимость перехода фотон  $\rightarrow$  аксион. Найдено число аксионов, рождаемых равновесным реликтовым излучением в магнитосфере магнитара. Показано, что в противовес ранее сделанным в литературе выводам, рассмотренный резонансный механизм не эффективен для производства холодной скрытой массы.
6. Проведено исследование комптоноподобного процесса  $\gamma e^- \rightarrow e^- e^+ e^+$  рождения электрон-позитронной пары при взаимодействии ультрарелятивистского электрона с мягким рентгеновским фотоном в окрестности полярной шапки магнитара. Для процесса  $\gamma e^- \rightarrow e^- e^+ e^+$  впервые получено простое аналитическое выражение для коэффициента поглощения электрона. Получена оценка возможной эффективности

процесса рождения пар для генерации в магнитосфере электрон-позитронной плазмы.

Все результаты диссертации являются обоснованными. Значение полученных соискателем результатов исследования для **практики** подтверждается тем, что данные результаты и теоретический аппарат, изложенные в диссертации, могут использоваться в ИЯИ РАН, ИЗМИРАН, МГУ им. М.В. Ломоносова, НИЦ "Курчатовский институт" и других институтах и научных центрах, при численном моделировании астрофизических явлений, таких, как гигантские вспышки источников мягких повторяющихся гамма-всплесков, остывание нейтронных звезд, генерация плазмы в магнитосферах радиопульсаров и магнитаров, где могут реализоваться рассматриваемые физические условия, а также при планировании новых экспериментов в физике плазмы с сильным магнитным полем.

Оценка **достоверности** результатов выявила, что полученные в диссертации результаты получены с использованием строгих и апробированных методов квантовой теории поля, в частности, метода точных решений волновых уравнений в присутствии внешних полей, а также методов физики элементарных частиц и физики плазмы. Кроме того, при получении ряда результатов диссертации использовались современные компьютерные алгоритмы символьных вычислений, что также говорит в пользу достоверности полученных результатов. Обоснованность результатов подтверждается их сопоставлением с результатами других авторов в различных предельных случаях, а также с результатами экспериментов.

**Личный вклад** соискателя состоит в том, что он принимал непосредственное участие в вычислении амплитуд обобщенных комптоноподобных процессов в постоянном однородном магнитном поле, в проведении численного анализа коэффициентов поглощения фотона, обусловленных процессами рассеяния и расщепления фотона в сильно замагниченной плазме, в вычислении вкладов в нейтринную светимость, в нахождении числа аксионов, рождаемых равновесным реликтовым

излучением в магнитосфере магнитара и в оценке возможной эффективности процесса рождения электрон-позитронных пар для генерации плазмы в магнитосфере магнитара. Вклад Д. А. Румянцева в постановку задач, формулировку выводов и подготовку к публикации полученных результатов, проводимую совместно с соавторами, был определяющим. Содержание диссертации и основные положения, выносимые на защиту, отражают персональный вклад автора в опубликованные работы.

На заседании 14.02.2019 г. диссертационный совет принял решение присудить Румянцеву Д.А. ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **18** человек, из них **5** докторов наук по специальности 01.04.02 - теоретическая физика, участвовавших в заседании, из **26** человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за- **18**, против - **нет**, недействительных бюллетеней - **нет**.

Председатель

диссертационного совета Д002.119.01

академик РАН

\_\_\_\_\_ Рубаков В.А.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 002.119.01

член-корр. РАН

\_\_\_\_\_ Троицкий С.В.

14.02.2019 г.

м.п.