

МИНИСТЕРСТВО
НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«Национальный
исследовательский ядерный
университет «МИФИ»
(НИЯУ МИФИ)»**
Каширское шоссе, д.31, г. Москва, 115409
Тел. (499) 324-77-77, факс (499) 324-21-11
<http://www.mephi.ru>

УТВЕРЖДАЮ
Ректор НИЯУ МИФИ
д.ф.-м.н., профессор
_____ М.Н. Стриханов
« 21 » января 2019 г.

№ _____
На № _____ от _____

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ МИФИ) на диссертационную работу **Румянцева Дмитрия Александровича** «Резонансные электрослабые процессы в замагниченной плазме», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Диссертация Румянцева Д.А. посвящена исследованию квантовых процессов с участием нейтрино, фотонов и аксионов во внешней активной среде (сильно замагниченной плазме) с учетом возможных резонансных эффектов. Эти процессы играют важную роль в таких актуальных проблемах современной астрофизики, как расчет динамики остывания нейтронных звезд, сценарии генерации плазмы в магнитосфере и радиоизлучения пульсаров и поиск новой физики за пределами Стандартной модели.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, пяти приложений и списка цитируемой литературы из 218 источников, содержит 225 страниц машинописного текста и 46 рисунков. Глава 1 носит технический характер, в то время как в каждой из остальных рассмотрены конкретные процессы с обсуждением их возможных приложений к астрофизике.

Во Введении обосновывается актуальность выбранной темы исследования, дан обзор литературы по квантовым процессам в сильном магнитном поле и в плазме, в том числе в контексте их приложений в астрофизике, и описана разбивка излагаемого материала по главам.

В Главе 1 описана общая методика и приведены результаты расчета амплитуды комптоноподобного процесса рассеяния обобщенного тока (скалярного, псевдоскалярного, векторного или аксиального типа, причем начальный и конечный токи могут быть как одного так и различных типов) на заряженном фермионе (электроне или позитроне), с использованием точных решений уравнения Дирака и фермионных пропагаторов во внешнем постоянном однородном магнитном поле. В частности, рассмотрен предел сильного поля, когда начальный и конечный фермионы находятся на основном уровне Ландау. При этом выделен и отдельно рассмотрен частный случай упругого рассеяния без изменения состояния фермиона. Полученные в этой главе общие формулы затем используются в последующих главах, но представляют и самостоятельный интерес и являются одним из заявленных основных результатов диссертации.

В Главе 2 обсуждаются дисперсионные свойства фотона в активной среде (поле + плазма) и изучен процесс комптоновского рассеяния в сильно замагниченной плазме, когда и начальный и конечный электроны находятся на основном уровне Ландау, с учетом модификации дисперсионных свойств фотонов в активной среде. Показано, что в таких условиях существенно меняется кинематика различных фотонных процессов. Получены сравнительно простые выражения для коэффициентов поглощения фотона в сильно замагниченной плазме в двух предельных случаях: зарядово-симметричной и холодной почти вырожденной плазмы. Показано, что вблизи порога рождения пар становится важным учет дисперсии фотонов, что и определяет, в конечном итоге, зависимость коэффициентов поглощения от значений энергии, температуры и магнитного поля. Также проведено сравнение полученных коэффициентов поглощения за счет комптоновского рассеяния и за счет расщепления фотона, которое подробно обсуждается далее в главе 3.

В Главе 3 проведен анализ процесса расщепления фотона на два фотона и обратного к нему процесса слияния двух фотонов в сильно замагниченной среде. Влияние среды учитывается когерентным вкладом нелинейного комптоновского рассеяния на фермионах среды без изменения состояния последних, при этом обнаружен новый канал расщепления и слияния, запрещенный в отсутствие плазмы. Проведен численный расчет вероятностей каждого из кинематически разрешенных каналов расщепления и слияния с учетом дисперсии фотонов при распространении фотона под произвольным углом к направлению магнитного поля. Обсуждаются возможные приложения полученных результатов, в частности, продемонстрирована важность учета дисперсии фотонов в задаче переноса излучения. Показано, что используемое в литературе приближение вообще не применимо к горячей плазме.

В Главе 4 рассмотрено влияние сильно замагниченной плотной плазмы на фотон-нейтринные процессы $\gamma e \rightarrow e \nu \bar{\nu}$, $\gamma \rightarrow \nu \bar{\nu}$ и $\gamma\gamma \rightarrow \nu \bar{\nu}$. В частном случае холодной плазмы вычислены вклады рассматриваемых процессов в нейтринную светимость с учетом изменения дисперсионных свойств фотонов в замагниченной среде, причем светимость фотонейтринного процесса $\gamma e \rightarrow e \nu \bar{\nu}$ выражена через ширину поглощения фотона. Показано, что в случае релятивистской плазмы нейтринная светимость за счет данного процесса существенно модифицируется по сравнению с имеющимися в литературе результатами. Исходя из предполагаемой соответствующей модификации кривой охлаждения нейтронной звезды делается оценка сверху на величину индукции магнитного поля во внешней коре магнитара.

Глава 5 посвящена резонансным процессам в сильно замагниченной среде. Обсуждается процесс резонансного фоторождения аксионов на заряженных компонентах среды, когда резонансный эффект реализуется на виртуальном фотоне. Вычислена скорость рождения аксионов равновесным реликтовым излучением в магнитосфере магнитара вблизи резонанса и продемонстрировано, что в противовес ранее сделанным в литературе выводам, данный механизм не эффективен для производства холодной скрытой

массы. Далее рассмотрена факторизация общей амплитуды, рассмотренной в главе 1, вблизи резонанса, и в качестве иллюстрации рассмотрены соответствующие редукции амплитуд комптоновского и фотонейтринного процессов. Наконец, исследован комптоноподобный процесс фоторождения электрон-позитронной пары при взаимодействии ультрарелятивистского электрона с мягким рентгеновским фотоном в окрестности полярной шапки магнитара, для которого найдено простое аналитическое выражение для коэффициента поглощения электрона и получена оценка его эффективности для генерации в магнитосфере электрон-позитронной плазмы.

В Заключение приведены основные результаты диссертации и указаны публикации по теме диссертации. Ряд технических вопросов вынесен в приложения.

Автореферат верно и полно отражает содержание диссертации и включает обсуждение актуальности темы, цели и задач исследования, научной новизны и практической ценности работы, используемых методологии и методов, личный вклад автора, положения выносимые на защиту и данные об апробации результатов и публикациях по теме диссертации. По материалам диссертации опубликовано 26 печатных работ, из них 13 статей из списка ВАК и/или индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus.

Тема работы соответствует паспорту научной специальности 01.04.02. Диссертация содержит целый ряд новых и уточнение некоторых ранее опубликованных результатов и в целом заслуживает высокой оценки. В частности, впервые проведен численный анализ коэффициентов поглощения фотона, обусловленных процессами рассеяния и расщепления фотона в сильно замагниченной плазме; впервые получены простые аппроксимационные формулы для светимости за счет фотонейтринного процесса в замагниченной плотной плазме; уточнена оценка скорости рождения аксионов реликтовым излучением в магнитосфере магнитара и дана оценка скорости рождения электрон-позитронных пар за счет фоторождения электрон-позитронной пары на электроны в магнитосфере магнитара. Обоснованность результатов диссертации подтверждается их сопоставлением с результатами ряда

астрофизических наблюдений, а также с результатами других авторов, где цитируются работы диссертанта: согласно базе данных РИНЦ, статьи, в которых опубликованы основные результаты диссертации, имеют более 60 цитирований.

В то же время, при ознакомлении с диссертацией и ее обсуждении возникло несколько вопросов, которые можно сформулировать в виде следующих замечаний:

1. Фраза на стр. 8 Введения «Способ учета влияния плазмы, используемый в настоящей диссертации, наиболее близок по своей основе формализму реального времени. Суть его состоит в том, что рассматриваются когерентные рассеяния нейтральных частиц ... на реальных фермионах ... среды без изменения их состояния (рассеяние «вперед»). Этот способ эквивалентен методу функций Грина, но значительно упрощает вычисления.» идет без ссылок и далее в диссертации нигде более подробно не раскрыта. В то же время, например, в Приложении Б обсуждается электронный пропагатор только при нулевой температуре. В результате остается неясным как в диссертации учитывается температурные эффекты в промежуточных состояниях.
2. Поскольку изюминкой работы является одновременный учет влияния как сильного магнитного поля, так и эффектов замагниченной среды, которые для большей части рассмотренных процессов по отдельности ранее рассматривались, то, помимо приведения графиков при конкретных значениях параметров, было бы желательно также сформулировать и общие условия, при которых влияние обоих эффектов одного порядка либо один из них является определяющим, однако этого не сделано.
3. Часть обсуждаемых процессов протекает в магнитосфере, а другая – в коре или ядре нейтронной звезды, где плотность среды достаточно велика. Однако при этом в диссертации нигде не обсуждаются ограничения на плотность среды, необходимые для применимости

подразумеваемого всюду при температурном усреднении приближения идеальной плазмы.

4. Вся информация по текущему состоянию проблемы остывания нейтронных звезд берется из обзора [17] 2001 года, возможно устаревшего. Поскольку в работе астрофизическим приложениям уделено достаточно большое внимание, стоило бы дать обзор прогресса в этой области также и за последние годы.
5. Единственный найденный комментарий, объясняющий существенное расхождение с [45] в оценке скорости рождения аксионов реликтовым излучением в магнитосфере магнитара: «Здесь мы отметим только, что для корректного вычисления величины ... в ней необходимо произвести вычитание, соответствующее аномалии Адлера [212]. Этот факт, в частности, не был учтен в работе [45], что является одной из причин ошибочности полученных там результатов» (стр. 124). Если подразумевается что есть и другие причины, то почему они не указаны?

Несмотря на отмеченные недостатки, диссертационная работа Румянцева Д.А. выполнена на высоком уровне и представляет собой законченное научное исследование. Основные представленные к защите результаты являются новыми, а полученные результаты могут быть использованы в теоретических исследованиях по физике частиц и астрофизике, выполняемых в ИЯИ РАН, ИФВЭ, НИИЯФ МГУ, физическом факультете МГУ, ИТЭФ, ФИАН, ИКИ РАН и других научных центрах. Результаты диссертации своевременно опубликованы и известны научному сообществу.

Работа «Резонансные электрослабые процессы в замагниченной плазме» отвечает всем требованиям, предъявляемым ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, в частности пунктам 9, 10, 11, 13 и 14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013г. Считаю, что Румянцев Д.А. заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности

01.04.02 – «теоретическая физика» за существенный вклад в теорию электрослабых процессов в сильно замагниченной плазме.

Диссертация Румянцева Дмитрия Александровича «Резонансные электрослабые процессы в замагниченной плазме» заслушана и одобрена на семинаре Института лазерных и плазменных технологий НИЯУ МИФИ.

Диссертация и проект отзыва ведущей организации на диссертационную работу заслушаны, обсуждены и одобрены на заседании кафедры теоретической ядерной физики НИЯУ МИФИ 5 декабря 2018г., протокол № 2018-37.

Отзыв составили:

Федотов Александр Михайлович, к.ф.-м.н., доцент кафедры теоретической ядерной физики НИЯУ МИФИ, тел. +7 (495) 788 56 99, доб. 9377,

AMFedotov@MEPhI.ru

/А.М. Федотов/

Муравьев Сергей Евгеньевич, к.ф.-м.н., и.о. заведующего кафедрой теоретической ядерной физики НИЯУ МИФИ, тел. +7 (495) 788 56 99, доб. 8009, SEMuravyev@MEPhI.ru

/С.Е. Муравьев/

Кузнецов Андрей Петрович, д.ф.-м.н., профессор, и.о. директора Института лазерных и плазменных технологий НИЯУ МИФИ, тел. +7 (495) 788 56 99, доб. 9388, APKuznetsov@MEPhI.ru

/А.П.Кузнецов/

Кудряшов Николай Алексеевич, д.ф.-м.н., профессор, Председатель совета по аттестации и подготовке научно-педагогических кадров НИЯУ МИФИ, тел. +7 (495) 788 56 99, доб. 9991, NAKudryashov@MEPhI.ru

/Н.А. Кудряшов/

Приложение: сведения о ведущей организации

Полное и сокращенное наименование ведущей организации	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ МИФИ)
Адрес	115409, г. Москва, Каширское шоссе д.31
Телефон	+7 (499) 324-3384; +7 (495) 788-5699, доб. 9900
Адрес электронной почты	rector@mephi.ru
Адрес сайта в сети «Интернет»	https://mephi.ru
<p>Список основных публикаций работников организации по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Grigorian H., Voskresensky D.N., Maslov K.A. Cooling of neutron stars in “nuclear medium cooling scenario” with stiff equation of state including hyperons// Nuclear Physics A. 2018 V. 980. P. 105-130. 2. Voskresensky D.N. On Manifestation of In-Medium Effects in Neutron Stars and Heavy-Ion Collisions // Universe. 2018. V. 4. No. 2. P. 28. 3. King B., Fedotov A. M. Effect of interference on the trident process in a constant crossed field// Physical Review D. 2018. V. 98. P. 016005. 4. Korneev Ph., Tikhonchuk V., d'Humières E. Magnetization of laser-produced plasma in a chiral hollow target// New J. Phys. 2017. V.19. P. 033023. 5. Fedotov A.M. Conjecture of perturbative QED breakdown at $\alpha\chi^2/3 \gtrsim 1$// Journal of Physics: Conference Series. 2017. V.826. P. 012027. 6. Grigorian H., Voskresensky D.N., Blaschke D. Influence of the stiffness of the equation of state and in-medium effects on the cooling of compact stars// European Physics Journal A. 2016. V. 52. P. 67. 7. Попов В.С., Мур В.Д., Нарожный Н.Б., Попруженко С.В. О рождении электрон-позитронных пар из вакуума полем интенсивного лазерного излучения// ЖЭТФ. 2016. Т. 149. № 3. С. 623–640. 8. Liseykina T.V., Popruzenko S.V., Macchi A. Inverse Faraday effect driven by radiation friction// New Journal of Physics. 2016. V. 18. P. 072001. 9. Maslov K.A., Kolomeitsev E.E., Voskresensky D.N. Making a soft relativistic mean-field equation of state stiffer at high density// Physical Review C. 2015. T. 92. C. 052801(R). 10. Korneev Ph., d'Humières E., Tikhonchuk V. Gigagauss-scale quasistatic magnetic field generation in a snail-shaped target// Physical Review E. 2015. V. 91. P. 043107. 11. Narozhny N.B., Fedotov A.M. Extreme Light Physics// Contemporary Physics. 2015. V. 56. No. 3. P. 249-268. 12. Нарожный Н.Б., Федотов А.М. Квантовоэлектродинамические каскады в интенсивном лазерном поле// Успехи Физических Наук. 2015. Т. 185 № 1. С. 103–110. 13. Карнаков Б.М. Непертурбативное обобщение “золотого правила” Ферми// Письма в ЖЭТФ. 2015. Т. 101. № 12. С. 925–930. 	

Председатель совета по аттестации и подготовке

научно-педагогических кадров НИЯУ МИФИ, д.ф.-м.н., проф. _____/Н.А. Кудряшов/