

“УТВЕРЖДАЮ”
Ректор Ярославского
государственного университета
им. П.Г. Демидова

/ Русаков А.И. /

ВЫПИСКА

**из протокола 1 заседания кафедры теоретической физики
от 21 сентября 2017 г.**

Присутствовали: кандидат физико-математических наук, доцент Пархоменко А.Я., доктор физико-математических наук, профессор Гвоздев А.А., доктор физико-математических наук, профессор Кузнецов А.В., доктор физико-математических наук, профессор Смирнов А.Д., кандидат физико-математических наук, доцент Кузнецов В.С., кандидат физико-математических наук, доцент Нарынская Е.Н., кандидат физико-математических наук, доцент Румянцев Д.А., кандидат физико-математических наук, доцент Огнев И.С., кандидат физико-математических наук, ст. преподаватель Добрынина А.А.

Слушали: обсуждение диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук Д.А. Румянцева на тему: «Резонансные электрослабые процессы в замагниченной плазме» и автореферата диссертации.

Выступили: Кузнецов А.В., доктор физико-математических наук, профессор, с положительным мнением о диссертации. Он, в частности, отметил, что в диссертации исследуются резонансные процессы с участием фотонов, нейтрино и аксионов в присутствии сильного магнитного поля и плазмы, актуальные с точки зрения приложений в астрофизике и космологии. Диссертацию Румянцева Д.А. следует представить к защите по специальности “01.04.02 – Теоретическая физика”.

???Михеев Н.В., доктор физико-математических наук, профессор, с положительным мнением о диссертации. Содержащиеся в диссертации Д.А. Румянцева исследования влияния сильного магнитного поля и плазмы на квантовые процессы с участием фотонов и нейтрино, являются актуальными с точки зрения приложения к физике сверхновых звезд и магнитаров.

Постановили: рекомендовать диссертацию Д.А. Румянцева на тему: «Резонансные электрослабые процессы в замагниченной плазме» к защите на соискание ученой степени доктора физико – математических наук по специальности “01.04.02 – Теоретическая физика”.

Актуальность темы и направленность исследования

В настоящее время процессы с участием электрически нейтральных частиц, в частности, с участием нейтрино и фотонов, во внешнем поле является предметом интенсивного исследования в физике элементарных частиц. Это связано с тем, что плотная звездная среда и сильное магнитное поле могут не только катализировать

процессы, существенно менять их кинематику, но и индуцировать новые взаимодействия.

До недавнего времени квантовые процессы исследовались отдельно в плазме и в магнитном поле. Однако в астрофизических приложениях более реалистичной является ситуация, когда плазма и магнитное поле присутствуют одновременно. Темой диссертационной работы является как раз изучение возможности влияния внешней активной среды на процессы с участием электрически нейтральных частиц. Исследования подобного рода представляют концептуальный интерес и являются актуальными с точки зрения приложений в астрофизике и космологии.

Конкретное участие автора в получении научных результатов

Все результаты диссертации получены автором самостоятельно.

Степень обоснованности научных результатов, положений и выводов, полученных соискателем.

Все результаты диссертации строго обоснованы.

Наиболее существенные результаты, полученные автором, и их новизна.

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 $j \rightarrow ff \rightarrow j'$ 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 по-

давливающее 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 электромагнитных мультипольных 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 $\gamma e^\pm \rightarrow e^\pm e^+ e^-$ рождения электрон-позитронной пары при взаимодействии ультрарелятивистского электрона с мягким рентгеновским фотоном в окрестности полярной шапки магнитара. Для процесса $\gamma e^\pm \rightarrow e^\pm e^+ e^-$ впервые получено простое аналитическое выражение для коэффициента поглощения электрона и проведена оценка возможной эффективности процесса рождения $e^+ e^-$ - пар в магнитосфере магнитара.

Публикации автора

По теме диссертации опубликовано 9 работ: одна – в зарубежном журнале “Modern Physics Letters A”, три – в отечественном журнале “Ядерная физика”, одна – в трудах международной конференции, четыре – в тематических сборниках научных работ.

1. Kuznetsov A.V., Mikheev N.V., Rumyantsev D.A. Lepton pair production by high-energy neutrino in an external electromagnetic field // Mod. Phys. Lett. 2000. V. A15. No. 8. P. 573-578.

2. Кузнецов А.В., Михеев Н.В., Румянцев Д.А. Нейтринное рождение лептонных пар во внешнем электромагнитном поле // Ядер. физ. . 2002. Т. 65. № 2. С. 303-306.
3. Кузнецов А.В., Михеев Н.В., Румянцев Д.А. Превращение фотонной пары в нейтрино в сильном магнитном поле // Актуальные проблемы физики. Выпуск 3: Сборник научных трудов молодых ученых, аспирантов и студентов. Ярославль. Яросл. гос. ун-т. 2001. С.31-36.
4. Кузнецов А.В., Михеев Н.В., Румянцев Д.А. Процесс $\gamma\gamma \rightarrow \nu\bar{\nu}$ в сильно замагниченной электрон-позитронной плазме // Актуальные проблемы физики. Выпуск 4: Сборник научных трудов молодых ученых, аспирантов и студентов. Ярославль. Яросл. гос. ун-т. 2003. С.28-34.
5. Кузнецов А.В., Михеев Н.В., Румянцев Д.А. Обобщенная амплитуда n -вершинного однопетлевого процесса в сильном магнитном поле // Исследования по теории элементарных частиц и твердого тела. Выпуск 4: Сборник трудов, посвященный 30-летию кафедры теоретической физики ЯрГУ. Ярославль. Яросл. гос. ун-т. 2003. С.47-54.
6. Кузнецов А.В., Михеев Н.В., Румянцев Д.А. Процесс $\gamma\gamma \rightarrow \nu\bar{\nu}$ в сильном магнитном поле // Ядер. физ. . 2003. Т. 66. № 2. С. 319-327.
7. Кузнецов А.В., Михеев Н.В., Румянцев Д.А. Обобщенная амплитуда n -вершинного однопетлевого процесса в сильном магнитном поле // Ядер. физ. . 2004. Т. 67. № 2. С. 324-331.
8. Kuznetsov A.V., Mikheev N.V., Rumyantsev D.A. General amplitude of the n -vertex one-loop process in a strong magnetic field. // In: Proceedings of the 12th International Seminar "Quarks'2002", edited by V.A. Matveev, V.A. Rubakov, S.M. Sibiryakov and A.N. Tavkhelidze. Moscow: Institute for Nuclear Research of Russian Academy of Sciences, 2004, P. 192-201.
9. Румянцев Д.А., Чистяков М.В. Расщепление фотона в сильно замагниченной плазме // Лептоны: Юбилейный сборник статей, посвященный 80-летию Э.М. Липманова. Ярославль. Яросл. гос. ун-т. 2004. С.171-179.

Сделаны доклады на российских и международных конференциях.

Практическая значимость диссертации и использование полученных результатов

Результаты исследования процессов с участием нейтрино и фотонов во внешней активной среде могут представлять большой интерес в той области астрофизики, где реализуются сильные магнитные поля (процесс остывания нейтронных звезд, взрыв сверхновой, подобной $SN1987A$), а также в космологии ранней Вселенной.

Соответствие содержания диссертации специальности, по которой она рекомендуется к защите

В диссертации приводятся результаты теоретического расчета вероятностей нейтринного рождения лептонных пар во внешнем электромагнитном поле и расщепления фотона на два фотона в сильно замагниченной плазме. Кроме того, для процессов $\gamma\gamma \rightarrow \nu\bar{\nu}$ и $\gamma\gamma \rightarrow \gamma\nu\bar{\nu}$, проведен расчет потери энергии из единицы объема звезды

в единицу времени, обусловленный выходом нейтрино. Тематика диссертации соответствует специальности “01.04.02 – Теоретическая физика”.

Кафедра считает, что диссертация Д.А. Румянцева удовлетворяет всем требованиям, которые предъявляются к диссертациям, представляемым на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности “01.04.02 – Теоретическая физика”.

Заведующий кафедрой
теоретической физики,
кандидат физ.-мат. наук,
доцент

Пархоменко А.Я.