

**Ответы**  
**на замечания в отзывах на диссертацию**

**Отзыв ведущей организации – «НИЯУ МИФИ»**

*Фраза на стр. 8 Введения «Способ учета влияния плазмы, используемые 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 функции 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 учитываются температурные эффекты в промежуточных состояниях.*

Действительно, в диссертации мы не фиксировались на подробном обсуждении метода учета влияния плазмы посредством написания амплитуды рассеяния «вперед» на частицах среды. В частности, подробный обзор литературы по данному вопросу не проводился. Как удалось выяснить, этот метод подробно изложен в книге Sakurai, J. J. 1967, Advanced Quantum Mechanics (Addison-Wesley, Reading, Mass). Постараюсь учесть это в дальнейшей работе. Температурные эффекты учитываются путем суммирования амплитуд единичных актов рассеяния по всем состояниям фермионов и антифермионов (в частности электронов и позитронов), с учетом соответствующих функций распределения. При этом естественно взять пропагатор фермиона в чистом магнитном поле при нулевой температуре.

*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.*

Согласен с замечанием. Нужно отметить следующее обстоятельство. В приложениях полученных в диссертации результатов к астрофизическим явлениям рассматривается ситуация только сильно замагниченной плазмы. Соответствующее условие сформулировано на стр. 73 диссертации (формула (3.1)). В этом случае предполагается, что все реальные электроны и позитроны среды занимают основной уровень Ландау, а число электронов (позитронов) находящихся на высших уровнях Ландау будет экспоненциально подавлено. Для задачи, посвященной резонансному рождению аксионов, условие слабо замагниченной плазмы сформулировано на стр. 126. Формулировка более общего условия выходит за рамки задач решаемых в диссертации, и будет сделана в дальнейшей работе.

*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.*

Согласен с замечанием. Постараюсь учесть его в дальнейшей работе.

*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.*

Полностью согласен с замечанием. Действительно, обзор [17] выглядит несколько устаревшим. Но, насколько мне известно, новый полный обзор по обсуждаемым в диссертации фотон-нейтринным процессам, по-видимому, отсутствует. Постараюсь учесть это замечание в дальнейшей работе.

*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?*

Согласен с замечанием. Следует отметить, что указанная причина некорректности результатов работы [45] действительно является если не основной, то существенной. Другими причинами являются неаккуратный учет явления резонанса на виртуальном фотоне и изменения дисперсионных свойств фотона в замагниченной среде.

### **Отзыв официального оппонента М.И. Высоцкого**

*На странице 39 приведена численная оценка критического магнитного поля, отвечающего массе  $W$ -бозона, но размерность (гауссы) не указана.*

*На странице 41 написано «В недавней работе [153]» – это работа 1997 года.*

*На странице 12 написано, что «аксион – наиболее вероятный кандидат на роль холодной темной материи», в то время как не менее популярным кандидатом является  $WIMP$  – слабо взаимодействующая массивная частица.*

Полностью согласен с замечаниями и учту их в дальнейшей работе.

### **Отзыв официального оппонента В.Б. Семикоза**

*В дальнейшем автору следовало бы продолжить исследование самого переноса излучения, возможно в диффузионном приближении (3.44), что в конечном сче-*

те, и определяет наблюдаемый спектр «мягких гамма-повторителей» в излучении магнитаров – нейтронных звезд с сильным магнитным полем.

Полностью согласен с предложением и учту его в дальнейшей работе.

Следует заметить, что на самом деле динамика такого убывания двух величин – температуры и напряженности магнитного поля, вполне самосогласована: с уменьшением температуры растет электропроводность плазмы (в случае вырожденного электронного газа  $T \sim \sigma^2$ ), т. е. диффузионные (омические) потери магнитного поля замедляются, хотя напряженность поля продолжает уменьшаться. Это, разумеется, выходит за рамки исследований Румянцева в данной главе.

Полностью согласен с комментарием и учту его в дальнейшей работе.

У меня есть замечание по цитируемой автором литературе в разделе 5.4 для так называемого процесса рождения светопозитрония [89], препятствующего появлению свободных  $e^+e^-$  пар при распространении фотона, захваченного магнитным полем (изгибное излучение). Расчеты Усова и Шабада [89] были неточными, что исправлено независимо в том же году (1985) Л. Б. Леинсоном и Ораевским (ИЗМИРАН) в *Phys.Lett. B165* (1985) 422 (titled as «Gamma – Positronium in Strong Magnetic Fields»). Следовало бы сослаться на эту статью. Усов и Шабад также ссылаются на статью Леинсона и Ораевского в последующих работах на эту тему (PRD 2008).

Полностью согласен с замечанием. Обязательно добавлю эту ссылку в последующих работах.

Надо было дополнительно сослаться в разделе 5.4 диссертации на какую-то свою работу, по-видимому, в ЯФ [152], подчеркивая приоритет в исследовании механизма заполнения плазмы магнитосферы.

Полностью согласен с замечанием и учту его в дальнейшей работе.

### **Отзыв официального оппонента О.В. Теряева**

Утверждение на с.23 «Инвариантом будет только квадрат модуля амплитуды, просуммированный по поляризациям фермионов» естественно порождает вопрос, можно ли описать и поляризационные эффекты, вводя стандартным образом ковариантные поляризации.

Если использовать волновые функции фермионов с фиксированной проекцией спина, вычисленные парциальные вклады в амплитуду не будут обладать лоренц-инвариантной структурой при преобразованиях вдоль магнитного поля и, следовательно, ввести стандартным образом ковариантные поляризации в этом случае не удастся. При использовании решений уравнения Дирака, как собственные функции ковариантного оператора  $\hat{\mu}_z$  можно ввести два ковариантных поляризационных состояния фермиона.

При этом (3.2) следовало бы понимать как сложение соответствующих вероятностей, поскольку амплитуды на Рис. 3.1 и 3.2 содержат разные начальные и

*конечные частицы и поэтому не могут интерферировать. 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 (3.44).*

Полностью согласен с замечанием. Постараюсь учесть его в дальнейшей работе.

*Утверждение на с. 77 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.*

Полностью согласен с замечанием. Действительно, частично это учтено при анализе разложения поляризационного оператора фотона по обратной величине магнитного поля в главе 2, формула (2.4).