

ОТЗЫВ

официального оппонента Горбунова Дмитрия Сергеевича
на диссертацию Дворникова Максима Сергеевича «Сильные магнитные
поля в физике нейтрино, космологии и астрофизике», представленной на
соискание ученой степени доктора физико-математических наук по
специальности 01.04.02- «теоретическая физика».

Единственным прямым указанием на неполноту Стандартной модели физики частиц являются нейтринные осцилляции. Одной из главных проблем космологии является появление асимметрии между материей и антиматерией в ранней Вселенной. Одной из загадок астрофизики является происхождение межгалактических магнитных полей. Все эти три вопроса могут иметь глубокую связь, и представленная диссертация содержит подробное и глубокое исследование этого вопроса. Актуальность работы и её значимость для развития соответствующих направлений теоретической физики и астрофизики не вызывает сомнений.

Диссертация состоит из трёх основных глав. В первой главе подробно излагаются методы, используемые для описания осцилляций нейтрино в вакууме, в веществе и под действием сильного магнитного поля. В каждом случае имеются свои особенности, которые заставляют выбирать те или иные методы, наиболее удачные для корректного описания осцилляционных процессов. Отметим, что здесь автор предполагает наличие магнитных моментов нейтрино с величинами, близкими к максимальным экспериментально разрешённым, что возможно лишь в специфических обобщениях Стандартной модели. Для полноты изложения также предполагается возможное наличие нестандартной связи нейтрино с материей. В результате, изложенный формализм можно применять для исследования нейтринных осцилляций в соответствующих теориях за рамками Стандартной модели.

Во второй главе рассматриваются сильные магнитные и гипермагнитные поля в ранней Вселенной. Нейтрино при этом играют роль наравне с заряженными лептонами как важный элемент космической плазмы, участвующий в эволюции (гипер)магнитного поля, а также во взаимодействии полей с различными асимметриями плазмы (лептонная, барионная, киральная). Предполагая, что в ранней Вселенной работали какие-то механизмы создания тех или иных асимметрий или затравочных полей, автор показывает как в результате нетривиальной динамики полей и плазмы в расширяющейся Вселенной можно получить асимметрию между материей и антиматерией и/или крупномасштабные магнитные поля.

В третьей главе обсуждаются возможные механизмы генерации сильных магнитных полей в компактных звёздах. Подробно рассматривается киральный магнитный эффект, влияние ненулевых масс заряженных частиц на создание аномального тока в среде, развитие неустойчивости магнитного поля. Изучается возможность восстановления киральной симметрии в плотном звёздном веществе, и перспективы объяснения вспышек магнитаров. Наконец, рассматривается влияние асимметрии нейтрино на генерацию магнитного поля при взрыве сверхновой.

В целом изложение построено очень убедительно, многие выводы подробно аргументированы аналитическими формулами и рисунками с изображением результатов численного расчёта. Результаты сравниваются с аналогичными в литературе, даётся подробное объяснение (возможных) причин расхождения, исследуются предельные случаи параметров, при которых новые авторские формулы воспроизводят имеющиеся в литературе результаты. Это подтверждает правильность формул и востребованность развитых в диссертации методов вычислений. В качестве замечания отмечу, что после таких сравнений было бы полезно чётко указать современное состояние вопроса: можно или нет решить

обсуждаемую проблему (создание необходимой барионной асимметрии, внегалактического магнитного поля и т. д.) с привлечением рассматриваемого механизма. Последние разделы каждой из глав содержат выводы, представляющие подробные перечисления технических результатов, но не дают чётких ответов для интересных физических задач.

В качестве мелких замечаний можно указать следующее. Обсуждение природы нейтрино – дираковский или майорановский фермион – в главе 1 представляется неудачным. Выбор массовой матрицы 2×2 в лагранжиане (1.1) не может «внести майорановость», поскольку лагранжиан явно сохраняет лептонную симметрию. Неуниверсальность записи (1.1) особенно наглядна при сравнении с общим случаем дираковских и майорановских масс (1.130). Неудачным также представляется обсуждение нейтринных осцилляций в случае конечных пакетов (что есть как раз реалистичная ситуация), поскольку из текста на стр.35 создаётся впечатление, что отдельный детектор на большом расстоянии не заметит осцилляций. При рассмотрении осцилляций в сверхновых не учитывается зависимость плотности вещества от расстояния до центра звезды. В то же время из литературы известно, что предсказания для темпа рождения стерильных нейтрино кэВных масс существенно меняются при учёте этой зависимости. В разделе 1.10 после получения полной картины осцилляций в рамках квантовой теории поля не указано, какие из имевшихся в литературе противоречий (стр.88) удалось устранить. Здесь же описано подавление процессов рассеяния заряженных лептонов на ядрах с обменом стерильными нейтрино, если последние аномально сильно (эффективная масса порядка эВ) взаимодействуют с веществом, становясь нерелятивистскими. При рассматриваемых энергиях лептонов (выше МэВ), непонятно как такую ситуацию можно реализовать ни для рассеяния, ни для упоминаемого двойного безнейтринного бета-распада. Оценка для формфактора фотона на стр.106 неверна, хотя бы по размерности. Такая же

проблема с размерностью в оценке плазменной частоты (2.12). Приведённое на стр.111 число релятивистских степеней свободы в плазме справедливо только выше температуры электрослабого (а не КХД) перехода. При получении оценки (2.52) похоже пренебрегли не только эволюцией, но и самым киральным дисбалансом. Жаль, что не обсуждаются детали механизма восстановления киральной симметрии за счёт КХД эффектов (глава 3). Здесь шла речь о массах кварков, а они определяются хиггсовским механизмом, затрагивающим более высокий масштаб энергии. «Эффективное восстановление» киральной симметрии может и не помочь снять подавление массами, детали зависят от механизма. Непонятно, как преобразование Фурье используется для получения эффективного взаимодействия электронов и нейтрино (G_2 .)

В литературном смысле текст можно было бы улучшить. Он суховат и по большей части имеет довольно технический характер. Из языковых замечаний отмечу систематические несогласованность падежей и пренебрежение правилами пунктуации. Опечаток как таковых мало, включая формулы, и это улучшает впечатление. Также удачным представляется перенос доказательств некоторых утверждений в отдельные приложения в конце текста.

Все вышеизложенные недостатки и вопросы несколько не снижают ценности диссертации как фундаментального научного исследования. Все полученные результаты являются новыми. Они хорошо обоснованы и изложены в публикациях в российских и зарубежных рецензируемых журналах. Результаты неоднократно докладывались на различных российских и международных конференциях, а также на многочисленных научных семинарах в ряде институтов нашей страны и за рубежом.

Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации. Диссертационная работа полностью отвечает всем требованиям Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого

Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а сам автор, Дворников Максим Сергеевич, несомненно заслуживает присуждения искомой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Главный научный сотрудник ОТФ ИЯИ РАН
доктор физ.-мат. наук, член-корр. РАН

Горбунов Д.С.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН)
Адрес: проспект 60-летия Октября, 7а, Москва, 117312
Тел.: +7(499)783-9291
e-mail: gorby@ms2.inr.ac.ru

Дата: 09.04.2018г.

Подпись Д.С. Горбунова удостоверяю.

Заместитель директора ИЯИ РАН
доктор физ.-мат. наук

Рубцов Г. И.

Горбунов Дмитрий Сергеевич

Доктор физ.-мат. наук по специальности 01.04.02-теоретическая физика.

Статьи по теме диссертации:

1. Gravitational waves from phase transition in split NMSSM
By S.V. Demidov, D.S. Gorbunov, D.V. Kirpichnikov.
arXiv:1712.00087 [hep-ph].
[10.1016/j.physletb.2018.02.007](https://arxiv.org/abs/10.1016/j.physletb.2018.02.007).
Phys.Lett. B779 (2018) 191-194.
2. Revised neutrino-gallium cross section and prospects of BEST in resolving the Gallium anomaly
By Vladislav Barinov, Bruce Cleveland, Vladimir Gavrin, Dmitry Gorbunov, Tatiana Ibragimova.
arXiv:1710.06326 [hep-ph].
[10.1103/PhysRevD.97.073001](https://arxiv.org/abs/10.1103/PhysRevD.97.073001).
Phys.Rev. D97 (2018) no.7, 073001
3. Hiding an elephant: heavy sterile neutrino with large mixing angle does not contradict cosmology
By F. Bezrukov, A. Chudaykin, D. Gorbunov.
arXiv:1705.02184 [hep-ph].
[10.1088/1475-7516/2017/06/051](https://arxiv.org/abs/10.1088/1475-7516/2017/06/051).
JCAP 1706 (2017) no.06, 051
4. Fatal youth of the Universe: black hole threat for the electroweak vacuum during preheating
By Dmitry Gorbunov, Dmitry Levkov, Alexander Panin.
arXiv:1704.05399 [astro-ph.CO].
[10.1088/1475-7516/2017/10/016](https://arxiv.org/abs/10.1088/1475-7516/2017/10/016).
JCAP 1710 (2017) no.10, 016
5. On the dark radiation problem in the axiverse
By Dmitry Gorbunov, Anna Tokareva.
arXiv:1702.05924 [hep-ph].
[10.1088/1475-7516/2017/06/016](https://arxiv.org/abs/10.1088/1475-7516/2017/06/016).
JCAP 1706 (2017) no.06, 016