

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 **26.04.2018 г. № 3/40**

О присуждении **Дворникову Максиму Сергеевичу**, гражданину РФ,  
ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Сильные магнитные поля в физике нейтрино, космологии и астрофизике» по специальности 01.04.02 – теоретическая физика принята к защите 28.12.2017 г., протокол № 10/37 диссертационным советом Д002.119.01 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 Дворников М.С., 1978 года рождения, в 2001 году окончил с отличием физический факультет Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова по специальности «Физика».

Дворников М.С. в 2004 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук в диссертационном совете К 501.001.17, созданном на физическом факультете Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова (г. Москва). Тема диссертации «Массивное нейтрино во внешних полях» по специальности 01.04.02 – теоретическая физика, научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор А. И. Студеникин. Был выдан диплом КТ № 128981, дата выдачи 10 сентября 2004 г. Работает старшим научным сотрудником Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН).

Диссертация выполнена в теоретическом отделе ИЗМИРАН.

Официальные оппоненты:

**Горбунов Дмитрий Сергеевич**, доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт ядерных исследований Российской академии наук, отдел теоретической физики, главный научный сотрудник;

**Мартемьянов Борис Вениаминович**, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Институт теоретической и экспериментальной физики имени А. И. Алиханова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Лаборатория 180, ведущий научный сотрудник;

**Постнов Константин Александрович**, доктор физико-математических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова», Государственный астрономический институт имени П. К. Штернберга, заместитель директора, – дали положительные отзывы на диссертацию.

**Ведущая организация** – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный университет имени П. Г. Демидова» (г. Ярославль) в своем положительном заключении, утвержденном А. И. Русаковым (доктор хим. наук, профессор, ректор Ярославского государственного университета), подписанном А. В. Кузнецовым (доктор физ.-мат. наук, профессор кафедры теоретической физики Ярославского государственного университета), А. Я. Пархоменко (кандидат физ.-мат. наук, доцент, заведующий кафедрой теоретической физики Ярославского государственного университета), указала, что диссертация М. С. Дворникова 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, М. С. Дворников, несомненно заслуживает присуждения

ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Соискатель имеет 70 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 32 работы, из которых 24 опубликованы в рецензируемых научных изданиях. Работы соискателя, представленные в диссертации, посвящены теоретическому исследованию влияния сильных магнитных полей на нейтринные осцилляции, а также генерации и эволюции магнитных полей в ранней Вселенной и в компактных звездах. Впервые осцилляции нейтрино в веществе под действием внешнего магнитного поля были описаны в рамках подхода, основанного на релятивистской квантовой механике. Впервые было изучено влияние фонового вещества на осцилляции между нейтрино и антинейтрино с использованием квантовой теории поля. Получено новое ограничение снизу на нейтринные асимметрии в ранней Вселенной, необходимое для реализации сценария усиления магнитного поля за счет нейтринной асимметрии. Выведены новые уравнения для описания эволюции магнитного поля с учетом магнитогидродинамической турбулентности. Впервые учтено влияние асимметрий левых лептонов и хиггсовских бозонов, а также сфалеронных переходов на лептогенезис и бариогенезис под действием гипермагнитных полей в ранней Вселенной до электрослабого фазового перехода. Разработана новая модель генерации сильных магнитных полей в магнитарах основанная на неустойчивости поля, вызванной нарушающим четность электрослабым взаимодействием в кварковом веществе. Предложено новое объяснение электромагнитных вспышек магнитаров, инициируемых мелкомасштабными флуктуациями магнитного поля внутри компактной звезды, с учетом магнитогидродинамической турбулентности и электрослабого взаимодействия между кварками. Соискатель внес определяющий вклад в каждую из опубликованных работ.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. *Dvornikov M., Maalampi J.* Evolution of mixed Dirac particles interacting with an external magnetic field // *Phys. Lett. B.* – 2007. – Vol. 657. – Pp. 217–227.

2. *Dvornikov M.* Neutrino oscillations in matter and in twisting magnetic fields // *J. Phys. G.* – 2008. – Vol. 35. – Pp. 025003.
3. *Dvornikov M., Maalampi J.* Oscillations of Dirac and Majorana neutrinos in matter and a magnetic field // *Phys. Rev. D.* – 2009. – Vol. 79. – P. 113015.
4. *Дворников М. С.* Описание спин-флейворных осцилляций дираковских нейтрино в рамках релятивистской квантовой механики // *ЯФ.* – 2012. – Т. 75. – С. 249–261.
5. *Dvornikov M., Semikoz V. B.* Lepton asymmetry growth in the symmetric phase of an electroweak plasma with hypermagnetic fields versus its washing out by sphalerons // *Phys. Rev. D.* – 2013. – Vol. 87. – P. 025023.
6. *Dvornikov M., Semikoz V. B.* Instability of magnetic fields in electroweak plasma driven by neutrino asymmetries // *J. Cosmol. Astropart. Phys.* – 2014. – Vol. 05. – P. 002.
7. *Dvornikov M., Semikoz V. B.* Magnetic field instability in a neutron star driven by the electroweak electron-nucleon interaction versus the chiral magnetic effect // *Phys. Rev. D.* – 2015. – Vol. 91. – P. 061301.
8. *Dvornikov M.* Generation of strong magnetic fields in dense quark matter driven by the electroweak interaction of quarks // *Nucl. Phys. B.* – 2016. – Vol. 913. – Pp. 79–92.
9. *Dvornikov M., Semikoz V. B.* Influence of the turbulent motion on the chiral magnetic effect in the early Universe // *Phys. Rev. D.* – 2017. – Vol. 95. – P. 043538.
10. *Dvornikov M.* Magnetic fields in turbulent quark matter and magnetar bursts // *Int. J. Mod. Phys. D.* – 2018. – Vol. 27. – P. 1750184.

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 М. С. Дворникова содержит результаты, имеющие высокую научную значимость. В диссертации получены новые важные результаты в различных областях теоретической физики, таких как физика нейтрино, космология и астрофизика, объединенные исследованием физических процессов в сильных магнитных полях. М. С. Дворниковым были получены новые важные результаты, которые можно квалифицировать как крупные научные достижения, среди которых можно выделить следующие:

1. Разработан формализм для описания осцилляций нейтрино во внешних полях, в том числе и в магнитном поле, на основе релятивистской квантовой механики.
2. Разработана новая модель генерации сильных магнитных полей в магнитарах, основанная на неустойчивости магнитного поля из-за нарушающих четность электрослабых взаимодействий в кварковом веществе. Данная модель, в частности, применяется для объяснения вспышек магнитаров.

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

В отзывах имеются замечания. Указывается, что недостаточно исследован случай распространения и осцилляций нейтрино, представленных волновыми пакетами конечной ширины; в разделе 1.1 следовало бы сразу привести массовый член в лагранжиане самого общего вида; недостаточно обосновано применение релятивистской квантовой механики для описания майорановских нейтрино; не совсем адекватно употреблен термин «ограничение на нейтринные асимметрии», который следовало бы назвать «теоретическим ограничением на нейтринные асимметрии»; при рассмотрении осцилляций нейтрино в неподвижном и неполяризованном веществе можно было использовать более простые и физически ясные формулы; отсутствуют оценки влияния переменной плотности вещества на исследованные механизмы осцилляций нейтрино, в том числе, при осцилляциях нейтрино от сверхновой; не совсем понятны условия

применимости формализма, развитого в разделе 1.10; встречаются опечатки в некоторых формулах и в тексте; отсутствует расшифровка не общеизвестных аббревиатур, а также в конце каждого раздела отсутствуют четкие ответы, позволяющие судить, насколько соискатель приблизился к решению поставленных задач.

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

В отзывах имеются предложения. Предлагается распространить подход для описания осцилляций нейтрино, разработанный в разделе 1.10 в рамках квантовой теории поля, на рассмотрение не только осцилляций в веществе, но и в магнитном поле. Если бы подобный процесс был также исследован в диссертации, это сделало бы данный раздел еще более адекватно соответствующим теме диссертации. При рассмотрении астрофизических магнитных полей в главе 3 следовало бы подробнее остановиться на их возможной экспериментальной верификации или опровержении. Это бы помогло экспериментаторам при анализе и интерпретации данных наблюдений. Например, при описании вспышек магнитаров в разделе 3.7 следовало бы обсудить вопрос о возможной повторяемости этих процессов. Из текста диссертации неясно, могут ли повторяться гигантские вспышки магнитаров в рамках предлагаемой модели. При рассмотрении восстановления киральной симметрии за счёт эффектов КХД следовало бы обсудить детали механизма восстановления симметрии.

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 выполненных соискателем следующих исследований:

1. Разработан формализм для описания флейворных и спин-флейворных осцилляций нейтрино в веществе под действием внешнего магнитного поля. Сформулирована начальная задача для системы флейворных нейтрино, позволяющая проинтерпретировать эффективную квантовомеханическую волновую функцию, используемую для описания осцилляций нейтрино. Данная задача решена для широкого класса внешних полей, что дало возможность описать осцилляции дираковских и майорановских нейтрино в реальных астрофизических средах, таких как расширяющаяся оболочка после взрыва сверхновой.
2. Описаны осцилляции между нейтрино и антинейтрино в фоновом веществе с использованием квантовой теории поля. Получена вероятность перехода, которая позволяет рассмотреть влияние плотного ядерного вещества на безнейтринный двойной  $\beta$ -распад.
3. Вычислен антисимметричный член в поляризованном операторе фотона в плазме лептонов, которые электрослабо взаимодействуют с нейтринным газом. Обнаружено, что данный член ответственен за неустойчивость внешнего магнитного поля, приводящего к его росту. На этой основе изучена генерация магнитных полей за счет нейтринной асимметрии в ранней вселенной и при взрыве сверхновой. Показано, что в этих случаях можно ожидать значительного роста затравочного поля.
4. Рассмотрено влияние асимметрий левых лептонов и хиггсовских бозонов, а также сфалеронных переходов, на эволюцию гиперзарядовых полей в ранней вселенной до электрослабого фазового перехода. Используя этот результат, построены модели лептогенезиса и бариогенезиса под действием гипермагнитного поля. Исследован вклад левых лептонов, а также затравочного гипермагнитного поля, в процесс генерации барионной асимметрии вселенной.
5. Получена поправка к киральному магнитному эффекту за счет электрослабого взаимодействия между заряженными фермионами, которая приводит к неустойчивости магнитного поля. На этой основе построена модель генерации сильных крупномасштабных магнитных полей в кварковом веществе. В рамках

данной модели показано, что характеристики генерируемых полей близки к предсказываемым в магнитарах.

6. Исследована роль массы заряженных фермионов на возникновение кирального магнитного эффекта в присутствии электрослабого взаимодействия с фоновым веществом. Используя метод точных решений волнового уравнения в присутствии внешних полей, а также вычисление антисимметричного вклада в поляризационный оператор фотона, показано, что ненулевая масса фермионов нивелирует появление кирального магнитного эффекта. Данный результат связан с нарушением киральной симметрии.
7. Рассмотрено влияние турбулентности на эволюцию магнитного поля в релятивистской плазме. Обнаружено, что данный вид турбулентности, в рамках сделанных в диссертации упрощений, не может приводить к усилению затравочного поля. Рассмотрев, наряду с данной турбулентностью, вклады кирального магнитного эффекта и электрослабого взаимодействия между кварками в плотном веществе компактной звезды, была построена модель для описания вспышек магнитаров вызванных мелкомасштабными флуктуациями магнитного поля внутри звезды.

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 при интерпретации и анализе данных в космологии и астрофизике, а также при планировании новых экспериментов в физике нейтрино.

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 магнитной гидродинамики. 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 развитии теоретико-полевых подходов для описания нейтринных осцилляций во внешних полях, изучении эволюции магнитных и гипермагнитных полей в ранней Вселенной, а также в разработке модели генерации сильных магнитных полей в компактных звездах. Вклад М. С. Дворникова 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 26.04.2018 г. диссертационный совет принял решение присудить Дворникову М. С. ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **19** человек, из них **7** докторов наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика, участвовавших в заседании, из **26** человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – **18**, против – **1**, недействительных бюллетеней – **0**.

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.

26.04.2018 г.