

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
ДОКТОРА НАУК
аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от **16.02.2017** г. № **1/28**

О присуждении **Ерошенко Юрию Николаевичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Нелинейные гравитационно-связанные структуры в ранней Вселенной» по специальностям 01.04.02 – теоретическая физика принята к защите 29 сентября 2016 года, протокол № 4/25, диссертационным советом Д 002.119.01 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 Ерошенко Юрий Николаевич, 1973 года рождения. В 1996 году окончил факультет общей и прикладной физики Московского физико-технического института (государственного университета).

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук защитил 29 октября 1999 года в Диссертационном совете К-063.91.02, созданном на базе Московского физико-технического института (государственного университета). Тема диссертации «Влияние приливных сил на эволюцию ядер галактик и скоплений галактик» по специальности 01.04.02 – теоретическая физика, научные руководители – доктор физико-математических наук Докучаев Вячеслав Иванович и доцент, кандидат физико-математических наук Зельников Максим Иванович. Был выдан диплом кандидата наук под номером КТ № 016869. Работает научным сотрудником отдела лептонов высоких энергий и нейтринной астрофизики в Федеральном государственном бюджетном

учреждении науки Институте ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН).

Диссертация выполнена в отделе лептонов высоких энергий и нейтринной астрофизики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института ядерных исследований Российской академии наук (ИЯИ РАН).

Официальные оппоненты:

1) Зыбин Кирилл Петрович, доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, Отделение теоретической физики им. И.Е. Тамма, Лаборатория проблем физики космоса, главный научный сотрудник;

2) Захаров Александр Федорович, доктор физико-математических наук, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный научный центр Российской Федерации - Институт Теоретической и Экспериментальной Физики», Лаборатория 230, ведущий научный сотрудник;

3) Бронников Кирилл Александрович, доктор физико-математических наук, Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы», Центр гравитации и фундаментальной метрологии, главный научный сотрудник

– дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория Российской академии наук (ГАО РАН) (г. Санкт-Петербург), – в своем положительном заключении, подписанном Гнединым Юрием Николаевичем (доктор физико-математических наук, профессор, заведующий астрофизическим отделом ГАО РАН), указала, что

диссертация Ю.Н. Ерошенко соответствует всем критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, установленным в «Положении о присуждении ученых степеней», утверждённом постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, а ее автор Ю.Н. Ерошенко несомненно заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика.

Соискатель имеет 68 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 39 работы, опубликованных в рецензируемых научных изданиях - 39. Работы соискателя, представленные в диссертации, посвящены теоретическому исследованию образования во Вселенной гравитационно-связанных объектов различного типа в ранние догалактические эпохи, а также расчетам аннигиляции частиц темной материи в этих объектах. В частности, изучены процессы формирования и разрушения мелкомасштабных сгустков темной материи, исследована структура пиков плотности и гало темной материи вокруг первичных черных дыр и исследованы свойства гравитационных нелинейных структур в ранней Вселенной. Соискатель внес определяющий вклад в каждую из опубликованных работ.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Berezinsky V. S., Dokuchaev V. I. and Eroshenko Yu. N. Small-scale clumps in the galactic halo and dark matter annihilation // *Phys. Rev. D*. 2003. Vol. 68. P. 103003.
2. Berezinsky V., Dokuchaev V. and Eroshenko Yu. Destruction of small-scale in the hierarchical structures and galaxies // *Phys. Rev. D*. 2006. Vol. 73. P. 063504.
3. Berezinsky V. S., Dokuchaev V. I. and Eroshenko Yu. N. Anisotropy of dark matter annihilation with respect to the Galactic plane // *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*. 2007. Vol. 07. P. 011.
4. Berezinsky V., Dokuchaev V., Eroshenko Yu. Remnants of dark matter clumps // *Phys. Rev. D*. 2008. Vol. 77. P. 083519.
5. Березинский В. С., Докучаев В. И. и Ерошенко Ю. Н. Мелкомасштабные сгустки тёмной материи // *УФН*. 2014. Т. 184. С. 3–42.

6. Докучаев В. И., Ерошенко Ю. Н. О едином происхождении нейтральных звезд и сверхмассивных черных дыр // Журнал экспериментальной и теоретической физики. 2002. Т. 121, С. 5-13.
7. Berezhinsky V. S., Dokuchaev V. I. and Eroshenko Yu. N., Kachelries M., and Solberg M. Aa. Annihilations of superheavy dark matter in superdense clumps // Phys. Rev. D. 2010. Vol. 81. P. 103530.
8. Berezhinsky V. S., Dokuchaev V. I. and Eroshenko Yu. N. Dense DM clumps seeded by cosmic string loops and DM annihilation // Journal of Cosmology and Astroparticle Physics. 2011. Vol. 12. P. 007.
9. Berezhinsky V. S., Dokuchaev V. I. and Eroshenko Yu. N. Formation and internal structure of superdense dark matter clumps and ultracompact minihaloes // Journal of Cosmology and Astroparticle Physics. 2013. Vol. 11. P. 059.
10. Babichev E. O., Dokuchaev V. I. and Eroshenko Yu. N. Black Hole Mass Decreasing due to Phantom Energy Accretion // Phys. Rev. Lett. 2004. Vol. 93. P. 021102.
11. Ерошенко Ю. Н. Пики плотности темной материи вокруг первичных черных дыр // Письма в Астрономический журнал. 2016. Т. 42. С. 389-398.
12. Dokuchaev V., Eroshenko Yu., Rubin S. Quasars formation around clusters of primordial black holes // Grav. Cosmol. 2005. Vol. 11. P. 99-104.
13. Докучаев В. И., Ерошенко Ю. Н. и Рубин С. Г. Всплески гравитационных волн от столкновений черных дыр в скоплениях // Письма в Астрономический журнал. 2009. Т. 35. С. 163-170.
14. Докучаев В. И., Ерошенко Ю. Н. Взвешивание темной материи в центре Галактики // Письма в ЖЭТФ. 2015. Т. 101. С. 875-880.
15. Berezhin V. A., Dokuchaev V. I., and Eroshenko Yu. N. Spherically symmetric conformal gravity and gravitational bubbles // Journal of Cosmology and Astroparticle Physics. 2016. Vol. 01. P. 019.
16. Докучаев В. И., Ерошенко Ю. Н. Стационарные решения уравнения Дирака в гравитационном поле заряженной черной дыры // Журнал экспериментальной и теоретической физики. 2013. Т. 144. С. 85-91.
17. Berezhin V. A., Dokuchaev V. I., and Eroshenko Yu. N. On maximal analytical extension of the Vaidya metric // Class. Quantum Grav. 2016. Vol. 33 P. 145003.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы оппонентов и ведущей организации. Во всех отзывах сделан вывод о том, что работа содержит хорошо обоснованные новые результаты и полностью отвечает всем требованиям Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого 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 имеются замечания. Указано, что автору следовало более детально обсудить возможность регистрации субструктур темной материи в процессе микролинзирования, и задан вопрос об обоснованности предложенной в некоторых работах интерпретации быстрых радиовсплесков в модели столкновения аксионных кластеров с нейтронными звездами. Замечено, что кинетическое уравнение (1.10), описывающее динамику темной материи, в общем случае должно быть нелинейным и не обязательно должно иметь вид уравнения Фоккера-Планка. Поставлен вопрос об области применимости уравнения (1.10) и вопрос об использовании в интеграле столкновений распределения (1.27). Поставлен вопрос о влиянии барионного вещества на профиль плотности гало, рассматривавшийся в разделе 1.3.1. Обсуждались ограничения на обособленные первичные черные дыры, но не рассматривались ограничения на скопления черных дыр. На странице 8 необходимо было пояснить тезис о том, что конформная теория гравитации может предшествовать общей теории относительности. Утверждение на странице 94, что из некоррелированности следует независимость случайных величин, в общем случае неверно. В разделе 2.5 сказано, что доля массы MACHO составляет около 20% скрытой массы в гало. Действительно, группа MACHO делало такое утверждение, однако позднее группы EROS и OGLE, основываясь на их наблюдательных данных, утверждали, что эта доля составляет 5-10%. Утверждение о потере актуальности проблемы микролинз неточно, т.к. с использованием данных микролинзирования

найденны экзопланетные системы. Утверждение на странице 128 «Для того, чтобы СТМ мог служить гравитационной линзой, его радиус не должен значительно превышать радиус Эйнштейна» требует пояснения. В 4-й главе расчеты в рамках конформной теории гравитации, а также исследование задачи Вайдья выполнены формально математически, и было бы желательно рассмотреть физические приложения. Указано, что в 3-й главе желательно было выяснить, насколько результаты зависят от конкретной модели кротовых нор. По структуре диссертации указано, что не всюду в конце разделов сделаны перечисление и оценка полученных результатов. Некоторые замечания касаются выбора литературы для цитирования по тем или иным вопросам. Так, в диссертации упоминается возможность существования во Вселенной сверхтяжелых частиц, и в этой связи было бы желательно сослаться на работы К.П. Станюковича. При указании самого большого значения красного смещения для галактик и при упоминании каустик в темной материи желательно было дать ссылки на публикации. Также было отмечено наличие в диссертации нескольких опечаток, указано на недостатки в оформлении списка литературы и на использование не общепринятых сокращений, например, сокращения «СТМ» для сгустков темной материи. Также указано на необходимость пояснения некоторых используемых терминов и определений, например, передаточной функции $T(k)$ на стр. 40.

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

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их высокой научной квалификацией, полученными ими 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. На основании выполненных соискателем исследований:

1. Показано, что на ранней иерархической стадии формирования структур в процессах приливного гравитационного разрушения выживают 0,1-0,5% сгустков темной материи в каждом логарифмическом интервале масс. Внешние слои сгустков, не разрушившихся на иерархической стадии, затем эффективно разрушаются при гравитационном взаимодействии со звездами гало и диском Галактики. Доля массы гало Галактики в форме сгустков с массами меньше 100 масс Солнца составляет $\sim 3\%$. Однако в галактической окрестности Солнца выживают центральные сердцевинки сгустков. Эти избежавшие разрушения сердцевинки могут являться основными источниками аннигиляционного сигнала. Усиление сигнала может достигать одного порядка величины. Исследована угловая анизотропия аннигиляционного сигнала.

2. Обоснована модель формирования сверхплотных сгустков на космологической стадии доминирования излучения. Исследована роль несферичности сверхплотных сгустков в процессах их формирования и найдена доля сгустков, избежавших разрушения на стадии образования. Сверхплотные сгустки могут образовываться также вокруг замкнутых петель космических струн и первичных черных дыр. Из сравнения расчетов с наблюдаемым гамма-телескопом Fermi-LAT фоном получены совместные ограничения на свойства (массы и сечения аннигиляции) частиц темной материи и на источники начальных возмущений плотности. В частности, в случае теплового сечения аннигиляции исключается диапазон $0,05 < G\mu / (10^{-8}c^2) < 0,51$ для массового параметра μ космических струн, где G – гравитационная постоянная.

3. Исследовано формирование плотных пиков и гало из темной материи на догалактической стадии вокруг первичных черных дыр и их скоплений и рассчитан сигнал от аннигиляции частиц темной материи в пиках. Сравнение рассчитанного сигнала с данными Fermi-LAT ограничивает сверху современный космологический параметр плотности первичных черных дыр. Полученные ограничения на несколько порядков

сильнее других известных ограничений. Исследовано слияние первичных черных дыр в скоплениях, сопровождаемое всплесками гравитационных волн и рассчитаны характеристики всплесков.

4. Исследованы свойства нелинейных гравитационных структур различных типов: «гравитационные пузырей» и заряженных черных дыр с электронами на внутренних квантовых уровнях. Если существовал период, когда действовала конформная гравитация, то могли рождаться объекты, описываемые найденными точными сферически-симметричными решениями уравнений конформной гравитации. В ранней Вселенной могли образовываться заряженные черные дыры с электронами на внутренних квантовых уровнях. Эти системы могут представлять новый тип частиц-кандидатов темной материи. Исследована глобальная структура пространства-времени в задаче Вайдья.

Теоретическая и практическая значимости исследования обоснованы тем, что разработанные модели и методы применяются в последующих работах для расчета свойств сгустков темной материи, для изучения процессов их разрушения и для предсказания аннигиляционных сигналов, что, в свою очередь, может помочь в прямом и косвенном методах регистрации частиц темной материи. Полученные результаты полезны для интерпретации данных наблюдений, выполняемых в настоящее время на космических гамма-телескопах. Если будет подтверждено существование мелкомасштабных сгустков (через наблюдения аннигиляции частиц темной материи или другими методами), то на основе свойств сгустков можно будет судить о форме спектра возмущений в малых масштабах и о процессах на стадии инфляции, ответственных за генерацию соответствующих возмущений. В частности, можно будет фиксировать параметры в лагранжианах конкретных полевых моделей инфляции. Сделанные предсказания о структуре ранних объектов во Вселенной могут помочь в поиске и возможной идентификации этих объектов по данным астрономических наблюдений. В том числе, сделаны конкретные предсказания о всплесках гравитационных волн от столкновений черных

дыр в скоплениях и о профилях плотности ранних галактик. Расчет угла прецессии звезд может помочь в выявлении распределенной массы вокруг центральной черной дыры в центре Галактики. Выполненное исследование нелинейных гравитационных структур представляет интерес также с точки зрения разработанных в этой части работы математических методов, которые могут найти применение в других работах.

Все результаты диссертации являются обоснованными.

Личный вклад соискателя состоит в том, что он выдвинул ряд ключевых идей по теме диссертации, получил основные результаты и внес определяющий вклад в работы, выполненные в соавторстве.

На заседании 16 февраля 2017 года диссертационный совет принял решение присудить Ерошенко Юрию Николаевичу ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве **19** человек, из них **6** докторов наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика, участвовавших в заседании, из **26** человек, входящих в состав совета, проголосовал: за – **19**, против – **нет**, недействительных бюллетеней – **нет**.

Заместитель председателя
диссертационного совета Д 002.119.01
доктор физ.-мат. наук

_____ Безруков Л.Б.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 002.119.01
доктор физ.-мат. наук

_____ Троицкий С.В.

16.02. 2017 г.

МП