

## Отзыв

официального оппонента Бронникова Кирилла Александровича  
на диссертацию Ерошенко Юрия Николаевича «Нелинейные гравитационно-  
связанные структуры в ранней Вселенной», представленной на соискание  
ученой степени доктора физико-математических наук по специальности  
01.04.02 - теоретическая физика

Диссертационная работа Ю.Н. Ерошенко посвящена теоретическому  
исследованию процессов образования гравитационно-связанных объектов  
различных типов в ранние догалактические эпохи, изучению их последующей  
эволюции, а также поиску их возможных наблюдательных проявлений.  
Основной темой диссертации является изучение мелкомасштабных сгустков  
темной материи с субзвездными массами. Автор и его коллеги впервые  
выяснили, какая доля сгустков избегает приливного гравитационного  
разрушения, и вычислили увеличение интенсивности сигнала, возникающего  
при аннигиляции частиц темной материи в выживших сгустках по сравнению с  
ее однородным распределением. Рассмотрены также гало и плотные пики  
темной материи вокруг первичных (реликтовых) черных дыр и образование  
гравитационных нелинейных структур в эйнштейновской и в конформной  
теории гравитации. Эти направления исследований весьма важны и актуальны,  
так как могут привести к решению проблемы темной материи (скрытой массы)  
Вселенной, в несколько раз превышающей массу видимой материи.  
Полученные результаты могут также найти применение в гамма-астрономии, в  
физике космических лучей и в других областях астрофизики и космологии.  
Рассматриваемые в диссертации объекты имеют догалактическое  
происхождение, но многие из них могли сохраниться до современной эпохи и

иметь различные наблюдательные проявления, поиск которых с помощью наземных и космических телескопов представляет возможность проверки предлагаемых моделей.

В предположении, что частицы темной материи представляют собой слабо взаимодействующие частицы одного из видов, предсказываемых современными теориями объединения взаимодействий, поиск сигналов от их аннигиляции в плотных сгустках является одним из основных методов их обнаружения. Другим перспективным направлением, рассмотренным в диссертации, является поиск гравитационно-волновых сигналов от столкновений первичных черных дыр в их скоплениях. Происхождение сверхмассивных черных дыр в ядрах галактик и квазаров на больших красных смещениях до сих пор не выяснено, что придает рассматриваемым моделям дополнительную актуальность.

Диссертационная работа Ю.Н. Ерошенко напечатана на 299 страницах и содержит общую характеристику работы, введение, четыре основных главы, заключение и список литературы из 429 наименований. Представленные результаты были получены путем аналитических и численных расчетов. Для получения ограничений на параметры моделей применялся метод сравнения рассчитанных величин с верхними наблюдательными пределами по гамма-фону, полученными на гамма-телескопах. Особо выделялись и обсуждались эффекты, допускающие наблюдательную проверку.

Во Введении дана общая характеристика диссертации, представлены ее цель, актуальность, научная новизна, перечислены положения, выносимые на защиту, описан личный вклад автора в полученные результаты, описана апробация и перечислены публикации по теме диссертационной работы в

рецензируемых журналах и материалах конференций. Введение также содержит краткий обзор области исследования по теме диссертации.

В первой главе рассмотрены процессы образования и разрушения мелкомасштабных сгустков темной материи в наиболее консервативном случае их образования из стандартного спектра космологических возмущений плотности. Решалось кинетическое уравнение, найдена минимальная масса сгустка, которая зависит от свойств частиц темной материи. С помощью развитого оригинального подхода рассчитана начальная функция масс сгустков, получена итоговая функция масс тех сгустков, которые избежали приливного разрушения при столкновениях со звездами. Найдена вероятность выживания центральных областей сгустков и показано, что значительная доля остатков сгустков может сохраниться в течение времени существования Галактики. Рассчитано усиление сигнала от аннигиляции частиц темной материи в сгустках (по сравнению с сигналом в диффузно распределенной темной материи), и показано, что это усиление может достигать одного порядка величины. Найдена также величина анизотропии аннигиляционного сигнала по отношению к диску Галактики.

В главе 2 рассмотрены сверхплотные сгустки темной материи, которые могли формироваться на радиационно-доминированной стадии космологической эволюции при наличии дополнительного максимума в спектре адиабатических возмущений плотности. Разработан метод сшивки начальных условий, известных из линейной теории роста возмущений, и рассматриваемой нелинейной модели. Впервые исследованы эффект нарастания несферичности формирующегося сгустка и его влияние на число образующихся сгустков. Сформулирован критерий окончания аккреции темной материи на сверхплотные сгустки, и найдены итоговые характеристики мини-гало. Исследованы возможные наблюдательные проявления сверхплотных сгустков: аннигиляция частиц

темной материи (в частности, сверхтяжелых), гравитационное микролинзирование и влияние на гравитационно-волновые интерферометры. Из ограничений на параметры гамма-излучения, полученных из наблюдений на телескопе Fermi-LAT, найдены ограничения на комбинации параметров частиц темной материи и ее сгустков.

Глава 3 посвящена эффектам, связанным с распределением вещества вокруг первичных черных дыр и кротовых нор. В частности, продемонстрирована возможность прохождения гидродинамического потока через кротовую нору. Исследовано накопление темной материи вокруг первичных черных дыр в пиках плотности. Сравнение гамма-излучения от аннигиляции частиц темной материи в пиках с данными наблюдений позволило получить новые ограничения на космологический параметр плотности первичных черных дыр, и в некотором диапазоне масс эти ограничения оказываются наиболее строгими из известных. Рассмотрена модель образования некоторых галактик и ранних квазаров вокруг первичных черных дыр и их скоплений, рассчитана ожидаемая структура таких галактик. Эта модель способна объяснить наличие квазаров на больших красных смещениях. В моделях со скоплениями первичных черных дыр рассчитан темп возникновения гравитационных всплесков от столкновений черных дыр. Исследована также прецессия звездных орбит в результате влияния распределенной темной материи вокруг сверхмассивной черной дыры в центре нашей Галактики, и рассмотрена аннигиляция темной материи в области вокруг центральной черной дыры.

В главе 4 исследованы нелинейные гравитационные структуры различных типов, которые могли рождаться в ранней Вселенной, и свойства которых определяются в основном не материальным источником, а самой гравитацией. В рамках конформной теории гравитации, которая в ранние эпохи могла

предшествовать общей теории относительности, получены и исследованы решения типа «гравитационные пузырей», а также решения с переменным скаляром кривизны. Для исследования применялся метод 2+2-разложения метрики. Рассмотрены черные дыры с зарядами на внутренних квантовых орбиталях. С помощью решения уравнения Дирака в метрике заряженной черной дыры впервые показано, что внутри черной дыры могут существовать стационарные электронные уровни. Исследована аккреция излучения на первичную черную дыру с помощью решения задачи Вайдья в диагональных координатах, и описана полученная глобальная геометрия.

В конце диссертации дано краткое Заключение, в котором суммируются основные результаты работы, и приведен список использованной литературы.

Диссертация Ю.Н. Ерошенко в целом заслуживает высокой оценки. Результаты диссертации являются существенным вкладом в изучение процессов в ранней Вселенной и уже находят применение в других работах, о чем говорит высокий уровень цитирования опубликованных статей по результатам исследования. Тема исследования актуальна, диссертация содержит новые важные результаты, а положения, вынесенные на защиту, хорошо обоснованы. Среди достоинств диссертации следует особо выделить и то, что в работе сделаны конкретные предсказания, допускающие проверку в наблюдениях в недалеком будущем, например, предсказание об усилении аннигиляционного сигнала в сгустках темной материи.

Работа написана достаточно ясным языком и имеет хорошо продуманную структуру, а ее автореферат адекватно отражает содержание диссертации. Результаты полно отражены в журнальных публикациях автора по теме диссертации. Автор продемонстрировал глубокое понимание современных

проблем физики высоких энергий, теоретической астрофизики и космологии и показал хорошее владение методами и техникой теоретических вычислений.

Наряду с указанными достоинствами диссертационной работы Ю.Н. Ерошенко, необходимо сделать некоторые критические замечания.

1. Замечание общего характера. В конце каждого раздела, посвященного решению конкретной проблемы, желательно было бы видеть краткое перечисление и оценку полученных результатов. Это сделано далеко не всюду.

2. В 3-й главе при расчете потока через кротовую нору рассмотрена лишь одна модель кротовой норы с источником гравитации в виде фантомной энергии. Было бы интересно проанализировать и другие модели кротовых нор и выяснить, насколько полученные результаты зависят от конкретной модели кротовой норы. Впрочем, для принципиального вывода о гидродинамической проходимости кротовых нор одного конкретного примера уже достаточно, поэтому данный недостаток не представляется существенным.

3. В 4-й главе расчеты в рамках конформной теории гравитации, а также исследование задачи Вайдья в диагональных координатах выполнены достаточно формально математически без приложения к конкретным физическим ситуациям. Хотя эти расчеты представляют интерес с точки зрения развитых математических методов, желательно было бы разработать возможные физические приложения полученных результатов.

4. В диссертации несколько раз упоминается возможность существования во Вселенной сверхтяжелых частиц с массами, близкими к планковской. К сожалению, при этом отсутствуют ссылки на работы одного из авторов идеи о существовании и важной роли таких частиц, проф. К.П. Станюковича (например, можно было бы сослаться на монографию «Гравитационное поле и элементарные частицы», Наука, М., 1965).

Перечисленные замечания, однако, не умаляют общую научную ценность и положительную оценку диссертационной работы.

Диссертационная работа Ю.Н. Ерошенко является оригинальным научным трудом в области современной теоретической физики и космологии, выполненным на высоком научном уровне. Полученные результаты представлены в 39 журнальных публикациях и в докладах на научных конференциях.

На основании изложенного можно заключить, что по научному уровню, объему работы, а также по актуальности и оригинальности полученных результатов, диссертация Ерошенко Юрия Николаевича «Нелинейные гравитационно-связанные структуры в ранней Вселенной» удовлетворяет всем требованиям, установленным в «Положении о присуждении ученых степеней», утверждённом постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года №842, к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор заслуживает присвоения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 - теоретическая физика.

30 января 2017 г.

Доктор физико-математических наук,  
главный научный сотрудник Центра  
гравитации и фундаментальной  
метрологии ВНИИМС

Бронников К. А.

E-mail: kb20@yandex.ru

ВНИИМС - Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы», 119361, Москва, ул. Озерная, 46, ФГУП ВНИИМС, тел. 8 (495) 437-37-29.

Подпись К.А. Бронникова удостоверяю: специалист по персоналу Камышева Н.В.

Бронников Кирилл Александрович, главный научный сотрудник

Доктор физико-математических наук (специальность 01.04.02 - теоретическая физика)

Список основных публикаций по теме диссертации за последние 5 лет:

1. S.V. Bolokhov, K.A. Bronnikov, S.G. Rubin, Extra dimensions as a source of the electroweak model,  
Phys. Rev. D84 (2011) 044015
2. K.A. Bronnikov, O.B. Zaslavskii, Neutral and charged matter in equilibrium with black holes,  
Phys. Rev. D84 (2011) 084013
3. K.A. Bronnikov, J.C. Fabris, A. Zhidenko, On the stability of scalar-vacuum spacetimes,  
Eur. Phys. J. C71 (2011) 1791
4. K. Bronnikov, I. Dymnikova, E. Galaktionov, Multi-horizon spherically symmetric spacetimes with several scales of vacuum energy,  
Class. Quant. Grav. 29 (2012) 095025
5. K.A. Bronnikov, R.A. Konoplya, A. Zhidenko, Instabilities of wormholes and regular black holes supported by a phantom scalar field,  
Phys. Rev. D86 (2012) 024028
6. S.V. Bolokhov, K.A. Bronnikov, M.V. Skvortsova, Magnetic black universes and wormholes with a phantom scalar,  
Class. Quant. Grav. 29 (2012) 245006
7. K.A. Bronnikov, V.N. Melnikov, S.G. Rubin, I.V. Svadkovsky, Nonlinear multi-dimensional gravity and the Australian dipole  
Gen. Rel. Grav. 45 (2013) 2509-2528
8. K.A. Bronnikov, V.G. Krechet, J.P.S. Lemos, Rotating cylindrical wormholes,  
Phys. Rev. D87 (2013) 084060
9. K.A. Bronnikov, M.V. Skvortsova, Variations of  $\alpha$  and G from nonlinear multidimensional gravity,

Grav. Cosmol. 19 (2013) 114-123

10. K.A. Bronnikov, J.C. Fabris, R. Silveira, O.B. Zaslavskii, Dilaton gravity, charged dust, and (quasi-) black holes

Phys. Rev. D89 (2014) no.10, 107501

11. K.A. Bronnikov, O.B. Zaslavskii, Quasi-black holes: general features and purely field configurations,

Mod. Phys. Lett. A30 (2015) no.30, 1550154

12. K.A. Bronnikov, A.M. Galiakhmetov, Wormholes without exotic matter in Einstein–Cartan theory,

Grav. Cosmol. 21 (2015) no.4, 283-288

13. K.A. Bronnikov, J.C. Fabris, D.C. Rodrigues, On horizons and wormholes in k-essence theories

Grav. Cosmol. 22 (2016) no.1, 26-31