

## ОТЗЫВ

официального оппонента, главного научного сотрудника НИЯУ МИФИ, доктора физико-математических наук, профессора Рубина Сергея Георгиевича на работу сотрудника ОИЯИ Баушева Антона Николаевича «Темная материя. Проблемы и решения», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.02 – теоретическая физика

Темная материя остается проблемой в современной физике в течение десятилетий. Однако до сих пор не ясен ее состав. По-видимому, темная материя состоит из новых слабо взаимодействующих элементарных частиц, однако возможны и другие варианты. Например, это могут быть первичные черные дыры, кротовые норы, деформированные дополнительные пространственные измерения и атомы из новых частиц и многокомпонентные системы. Хотя мало кто сомневается в существовании темной материи, отсутствие результатов по ее прямому обнаружению приводит к появлению альтернативных моделей, связанных в основном с модификацией гравитации Эйнштейна-Гильберта. Тем не менее, сценарий темной материи, состоящей из частиц, хорошо мотивирован теоретически, так как почти все расширения Стандартной Модели содержат частицы, которые могут играть роль темной материи.

Дополнительной трудностью в изучении темной материи является зависимость ее пространственного распределения от начальных условий. В связи с вышесказанным, работа А.Н. Баушева является как актуальной, так и своевременной. В ней получены достаточно общие результаты, позволяющие применять их к различным типам частиц темной материи.

Диссертация А.Н. Баушева состоит из введения, пяти глав основного текста, заключения и библиографического списка, включающего 217 наименований.

Во введении (Глава 1) автор обосновывает актуальность темы исследований, состояние проблемы и историю изучения темной материи, формулирует цель и аргументирует научную новизну исследований, представляет выносимые на защиту научные положения.

Вторая глава посвящена проблеме профиля плотности темной материи в центрах галактических гало. Для объяснения наблюдательных данных предлагается идея умеренной релаксации, имеющей ясный физический смысл. Обсуждаются причины того, что численные расчеты не в состоянии полностью описать динамику темной материи. Предложенные автором критерии могут быть использованы при проверке различных моделей темной материи. Обсуждается возможность сохранения небольших клампов темной материи при их движении внутри галактики. Рассмотрено разрушение клампов за счет приливных сил, за счет взаимодействия с диском галактики. Показано, что вероятность разрушения клампов, находящихся на расстояниях, меньших 20 кпк от центра, велика .

В третьей главе обсуждается распределение частиц темной материи по скоростям и возможности их детектирования. Развивается и обосновывается предположение об анизотропном распределении частиц по скоростям внутри гало. Последнее находится в согласии с идеей об умеренной релаксации, предложенной во второй главе. Если анизотропное распределение справедливо, то, как показано автором, появляется возможность детектирования сигналов с большой передачей энергии. Рассматривается также взаимодействие клампов темной материи с барионами. Показано, что массивные клампы, в результате гравитационного взаимодействия с барионами во время

формирования галактики, могут давать существенный вклад в плотность темной материи в центре гало.

Четвертая глава посвящена вопросам аннигиляции темной материи вблизи черных дыр, в карликовых галактиках и в ранней Вселенной, когда концентрация частиц темной материи была велика. Исследованы особенности аннигиляции вблизи черных дыр за счет увеличения плотности темной материи и энергии столкновений. Указано на перспективность исследований аннигиляционного потока от карликовых галактик в связи с хорошими фоновыми условиями. Оценивается вклад аннигиляции частиц темной материи во внегалактический поток гамма-излучения.

Пятая глава посвящена изучению альтернативных источников гамма-излучения. Одним из таких источников является коллапс звезд с отличным от нуля угловым моментом, который рассматривается с учетом нейтринного охлаждения. Показано, что энергетический выход сильно зависит от геометрии магнитного поля. Еще один источник – рентгеновские пульсары. Оценки, сделанные в диссертации, указывают на сильную зависимость циклотронной особенности от фазы пульсара.

В Заключении суммированы основные результаты работы.

К замечаниям по диссертации можно отнести следующее:

1. Автор стремился создать общую картину поведения частиц темной материи в гравитационно связанных областях. В целом, ему это удалось, но ценой отказа от точных предсказаний. Практически во всех главах делаются правдоподобные оценки, которые трудно подтвердить точными численными вычислениями. В качестве иллюстрации, можно указать на вычисление интеграла в формуле (2.20). Тем не менее, физически мотивированные результаты указывают на правильность развиваемых идей.

Так, идея об умеренной релаксации хорошо объясняет наблюдательные данные и может быть использована при построении последующих моделей темной материи в качестве критерия правильности конкретной модели.

2. На стр. 94 утверждение автора о связи Максвелловского распределения частиц темной материи по скоростям и формы орбиты, по которым они движутся, не является обоснованным.
3. Использование формулы Брейта-Вигнера (4.18) для описания сечения аннигиляции частиц темной материи, является слишком общим. Выбор параметров может кардинально повлиять на выводы, описанные в диссертации. Хотелось бы видеть в диссертации анализ подобного влияния.

Отмеченные выше недостатки не снижают научного значения диссертации А.Н. Баушева, которая является завершённой научной работой, а совокупность полученных новых результатов представляет существенное достижение в области теории, имеющее значение для разрешения одной из основных загадок физики – сущности темной материи. Научные положения, сформулированные в диссертации, обоснованы. Результаты и выводы диссертации выглядят достоверными.

Основные результаты диссертации своевременно опубликованы. Имеется 19 публикаций в высокорейтинговых журналах, входящих в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий», в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание учёной степени доктора и кандидата наук, утверждённый ВАК. Автореферат правильно отражает содержание диссертации. Диссертация Баушева Антона Николаевича полностью соответствует пункту. Диссертация на соискание учёной степени удовлетворяет всем требованиям,

предъявляемым ВАК РФ к докторским диссертациям, в частности пунктом. Положение о порядке присуждения учёных степеней, утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, а её автор, несомненно, заслуживает присуждения ему учёной степени доктора физико-математических наук.

Официальный оппонент

профессор кафедры

физики элементарных частиц НИЯУ МИФИ

доктор физ.-мат. наук, профессор



Сергей Георгиевич Рубин

117519, гор. Москва, ул. Красного Маяка, д. 4, корп. 3

Тел: +7 916 3254931

Эл. Почта: [sergeirubin@list.ru](mailto:sergeirubin@list.ru)

"16" 05 2017

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ  
ЗАМ. ДИРЕКТОРА ПО  
ПЕРСОНАЛУ НИЯУ МИФИ  
Л. В. ВАСИЛЬЧЕНКО

