

ОТЗЫВ

на диссертацию **Баушева Антона Николаевича**
на тему: «**Темная материя: проблемы и решения**»,
представленную на соискание ученой степени «доктор физико-математических наук» по
специальности «01.04.02 - теоретическая физика»

Диссертация А.Н.Баушева посвящена исследованию процессов формирования темной материи в виде частиц и взаимодействиям этих частиц. Данная тема является **актуальной** в свете быстрого ввода в строй новых астрономических инструментов и накоплению статистики по уже существующим, что дает возможность более глубокого понимания процессов в галактиках и вызывает необходимость в новых теоретических подходах, чему и посвящена обсуждаемая диссертация. **Научная новизна** заключается в том, что диссертантом разработан и предложен новый подход к формированию структур темной материи в галактиках, в рамках которого удалось более корректно объяснить наличие плато в центре гало, поведение профиля плотности и другие характеристики. В диссертации предложен новый метод, названный «энергетический подход», к формированию структур темной материи различного уровня, что способствует пониманию этих процессов и может вывести на новые способы ее наблюдений. Используемые в исследовании методы, а, следовательно, и **достоверность полученных результатов и выводов**, сомнений не вызывают. Обсуждаемая диссертационная работа содержит результаты многолетнего исследования Антоном Николаевичем процессов формирования и взаимодействия темной материи, обобщающих общую теорию относительности. Это новое направление современного теоретического исследования, и диссертационная работа А.Н.Баушева вносит очень существенный вклад в ее развитие.

Результаты исследований опубликованы в высокорейтинговых журналах, докладывались на многих международных конференциях и заслужили признание коллег.

Вместе с тем, кроме указания на традиционные ошибки в грамматике и синтаксисе, у меня есть ряд вопросов к диссертанту. Замечания стоят в порядке появления в тексте.

1. Критика модифицированной ньютоновской динамики (MOND) на стр. 8 представляется несколько поверхностной. Стоило бы добавить про астрономические данные о несовпадении оптического и гравитационного центров галактик. В тоже время, контраргументом против требуемой в диссертации универсальности MOND служит подход, при котором теории гравитации на разных масштабах (в частности, общая теория относительности на масштабе Солнечной системы) являются асимптотиками какой-то общей, неизвестной в данный момент теории гравитации.
2. Пассаж про роль первичных черных дыр как части темной материи требует уточнения. Модели инфляции допускают рождение первичных черных дыр малых масс (а во многих расширенных моделях гравитации показана возможность существования реликтовых остатков первичных черных дыр, см, например, Phys.Rev. D55 (1997) 2110), но слишком большое их количество вызовет противоречия с первичным нуклеосинтезом (Class.Quant.Grav. 19 (2002) 4431).
3. В формулах (1.2), (1.6) не объяснено, что автор понимает под входящими в нее обозначениями. Эта же проблема проявляется и далее (например, стр. 24, формулы в тексте), видимо, будучи следствием перевода с английского и компоновки различных статей в единый текст?
4. Не очень удачно выражена основная цель диссертации на стр. 18. Стоило бы, наверное, начинать с главной объединяющей мысли, а не механически перечислять частные задачи, только в конце написав, что автор, собственно, считает новым направлением.
5. Перед формулой (2.2) автор декларирует использование профиля Буккерта. Не совсем

- ясно, а почему именно его? Чем он лучше других в данной ситуации?
6. На стр.31 необходимо было бы четче выделить предпосылки использования предположения об умеренной релаксации. Может быть, это стоило бы сформулировать в виде теоремы? И более четко разделить предшествующие результаты и вклад диссертанта?
 7. На стр. 36: «как мы можем видеть из графика ... величина отличается не более, чем на 25%». Наверное, стоило бы провести более точную оценку, а не делать выводы из графиков.
 8. Стр. 38 содержит обсуждение точности приближений, при этом диссертант не приводит ни одной цифры, ограничившись общими словами. Все-таки, лучше приводить численные оценки.
 9. В начале главы 2.1.4 декларируется сравнение с наблюдениями. При этом, совершенно неясно, с какими именно наблюдениями автор диссертации работает? Какой инструмент, год получения данных, анализ ошибок? Лишь на стр. 44 бегло сказано про ссылку [54].
 10. На стр. 44 содержится утверждение о том, что величина $\rho_{\text{сГВ}}$ постоянна во всем диапазоне масс галактик и меняется «всего лишь» на три порядка. Да, эти изменения укладывается в 3σ , но называть постоянной величину, меняющуюся на несколько порядков, наверное, не очень удачно.
 11. В выводах идут постоянные предположения. То есть, все сложнейшие выкладки и расчеты автора диссертации позволяют лишь сделать предположение? Даже не утверждение, а предположение?
 12. На стр. 48 при исследовании «нефизического» способа релаксации не совсем понятно, почему автор к нему прибегает. Это какая-то аналогия с реальным физическим процессом или некий трюк, позволяющий обойти математические ограничения?
 13. На стр. 50 необходимо уточнить, как именно быстро растет τ_c с ростом радиуса. Автор диссертации ограничивается качественными рассуждениями там, где можно просто привести зависимость.
 14. На стр.54 содержатся сплошные предположения. При этом, надо понимать, что с каждым шагом с новыми допущениями вероятность реализации предложенного в диссертации сценария становится все меньше и меньше. Хотелось бы услышать комментарий Антона Николаевича по этому поводу.
 15. На стр.65 необходимо пояснить, что имеется в виду под «мерами предосторожности» для избегания противоречий с результатами Большого адронного коллайдера.
 16. На стр.66 вводится новое понятие: «*виртуализация клампов*» без разъяснений, что это такое.
 17. На стр.74 содержится утверждение, что «*Segue 1 должен содержать порядка тысячи звезд*». Речь о какой-то модели? Или, если автор диссертации пишет о реальном скоплении, они там есть или их там нет?
 18. На стр. 84 не совсем ясно, каковы предсказания обсуждаемого в диссертации аннигиляционного сигнала.
 19. На стр. 87 необходимо указать не только значения величин, но и их ошибки.
 20. На стр.88 утверждается, что у основной части частиц удельный вес мал. Мне кажется, в таких случаях необходимо приводить цифры.
 21. На стр.114 необходимо разъяснить, какие именно ограничения налагают эксперименты по детектированию темной материи.
 22. На стр.118 необходимо (это, кстати, постоянное замечание) пояснить, как именно «*выражение (3.56) быстро растет при стремлении $v_{\infty} \rightarrow 0$* ». Аналогично, на стр.119 утверждается, что «*(1-cos θ) – не малое число*»...
 23. На стр.120 содержится утверждение: «*чтобы оценить w_2 , предположим, что ударная волна сильная*». Почему это предположение допустимо (не только потому, что так

- нужно для решения задачи)? Здесь необходимо обоснование.
24. В главе 4.1 весь процесс аннигиляции обсуждается только для метрики Шварцшильда. Да, математически это проще. Но насколько корректны будут эти результаты в применении к реальным черным дырам? Как изменится результат при учете вращения (метрика Керра)? И насколько корректно находить ставить астрономические ограничения на основании простейшей модели (стр.139)?
 25. На стр. 216 содержится утверждение: «гармоника абсурдно глубока». Хотелось бы понять, что автор диссертации хотел сказать этим красивым оборотом.
 26. В положениях, выносимых на защиту (стр.219), в п.4 первая фраза: «Изучены физические явления, влияющие на распределение частиц темной материи по скоростям». Далее, конечно, разъяснен вклад автора диссертации, но «изучены явления» как результат докторской диссертации?

Несмотря на сделанные замечания, считаю, что работа А.Н.Баушева отвечает всем требованиям, предъявляемым ВАК к докторским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения ему учёной степени «доктор физико-математических наук» по специальности «01.04.02 – теоретическая физика».

Автореферат правильно отражает содержание диссертации. Результаты могут быть использованы как в группах, занимающихся астрономическими наблюдениями и их интерпретацией (например, в ГАИШ МГУ, ИКИ РАН, ИТЭФ, ИНАСАН, СПбГУ, ...), так и в теоретических группах, развивающих новые подходы к пониманию проблем темной материи (например, в ЛТФ ОИЯИ, ИТФ им.Л.Д.Ландау, ФИАН, ...)

Отзыв составил ведущий научный сотрудник отдела релятивистской астрофизики ГАИШ МГУ, доктор физико-математических наук **Алексеев Станислав Олегович**, Государственный астрономический институт имени П. К. Штернберга, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова (ГАИШ МГУ), 119991, Москва, Университетский проспект, дом 13
Эл. Адрес: alexeyev@sai.msu.ru,

30 мая 2017 года.

/С.О.Алексеев/

Подпись вед. н.с. ГАИШ МГУ, доктора физ.-мат. наук С.О.Алексеева заверяю.

Директор ГАИШ МГУ
Академик РАН, профессор



А.М.Черепашук