

## О Т З Ы В

официального оппонента, д.ф.-м.н., в.н.с. Лаборатории Теоретической Физики им. Боголюбова Объединенного Института Ядерных Исследований  
Баушева Антона Николаевича  
на диссертацию Ткачева Максима Вячеславовича «Моделирование наблюдательных проявлений темной материи», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 — астрофизика и звездная астрономия

В диссертационной работе М.В. Ткачева рассмотрены три важные вопроса, связанные с наблюдательными проявлениями темной материи.

**Первая глава** посвящена численной проверке так называемого "энтропийного" подхода к формированию структур темной материи, предложенного теоретиками - коллегами диссертанта по АКЦ ФИАН. Соискатель (с соавторами) предложили весьма остроумный метод сравнения результатов численного счета с теоретическими предсказаниями "энтропийной модели". Задача о формировании структур темной материи сильно нелинейна, а ее решение имеет большое практическое значение, поэтому данная часть работы весьма актуальна.

**Вторая глава** диссертации посвящена созданию реалистичного модельного каталога инфракрасного (ИК) излучения галактик. Эти результаты диссертации М.В. Ткачева имеют большую практическую ценность, так как могут быть использованы при планировании наблюдений на будущих космических телескопах дальнего ИК диапазона. Будущие обсерватории (например "Миллиметрон") будут способны различить гораздо больше деталей на ИК картах неба, поэтому для предсказания свойств ИК-фона с нужной для Миллиметрона точностью необходимо создание модели, способной экстраполировать текущие представления об ИК фоне в область более высокого разрешения и чувствительности.

**Третья глава** посвящена исследованию гипотезы о том, что *некоторая* часть темной материи состоит из первичных черных дыр (ПЧД) звездных масс, и, по крайней мере, часть событий, наблюдаемых гравитационно-волновой обсерваторией LIGO, порождаются слияниями этих дыр. В диссертации представлены результаты численного моделирования вероятности подобных слияний в единице объема Вселенной и сравнение полученных результатов с наблюдениями.

Диссертация объемом 114 страниц представляет собой **законченное научное исследование**, посвященное моделированию различных наблюдательных проявлений темной материи. Хочу отметить тщательную подготовку соискателем текста диссертации, что встречается сравнительно редко. Диссертация состоит из введения, 3 глав и заключения. Научные положения и выводы диссертационной работы обоснованы и достоверны.

Основные результаты диссертационной работы М.В. Ткачева опубликованы в 3 научных работах в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК, а также докладывались на различных российских и зарубежных конференциях. Хотелось бы

отдельно отметить, что соискатель не гнался за количеством публикаций, а опубликовал всего три, но хорошие. Выносимые на защиту результаты являются оригинальными и новыми.

Замечания:

1) Во введении соискатель делает несколько явно некорректных утверждений. Например, он пишет, что аксионы "являются маломассивными аналогами WIMP". Не вполне понятно, в каком смысле очень легкая частица (с массой  $10^{-5}$  эВ и даже меньше), причем бозон, является аналогом очень тяжелой (с массой  $10^8$  эВ и более) и фермиона.

2) Главное замечание. Целью первой главы диссертант заявил численную проверку "энтропийного подхода" к формированию темных гало. Применение, в сущности, термодинамической логики к бесстолкновительным системам, строго говоря, некорректно, а на практике сталкивается с серьезными проблемами и ограничениями. "Энтропия", рассматриваемая в работе, представляется крайне сомнительной, т.к. ни одним существенным свойством настоящей энтропии она не обладает. Например, на линейной стадии развития возмущений она падает (!), а сформировавшееся стационарное гало не соответствует ее максимуму. Подробное обсуждение данного вопроса здесь неуместно, однако соискатель, взявшись проверять применимость "энтропийного подхода", даже не рассматривает версию, что этот подход попросту неприменим.

Не бойтесь критиковать теоретиков! Даже самый зрелый из авторов той теоретической статьи, Дорошкевич, - довольно молодой человек, и поэтому еще способен адекватно воспринимать логические аргументы и вообще окружающую реальность. К сожалению, недостаточный опыт работы с космологическими возмущениями не позволил ему увидеть, что применимость термодинамических аналогий здесь весьма сомнительна, и критический взгляд со стороны очень помог бы ему это осознать и исправить свои поспешные построения. Соискатель рассмотрел два вполне разумных способа посчитать "энтропию" и обнаружил, что полученные значения отличаются в 140 раз! (Таблица 1) Получается, эту "энтропию" даже и определить-то нормально невозможно, как посчитал - столько и получилось. Но вместо того, чтобы хотя бы рассмотреть возможность того, что "энтропийный подход" просто не работает, соискатель объяснил расхождение неидеальной сферической симметрией системы. Хороша несферичность, "энтропия" в 140 раз уменьшилась! Применимость подхода так не проверяют.

3) Во второй главе соискатель считает, что между массой гало и светимостью галактики, расположенной в этом гало, есть взаимно однозначное соответствие (используется формула (2.6)). Это, мягко говоря, не так, достаточно посмотреть на галактики с низкой поверхностной яркостью или Segue 1.

4) Наконец, в третьей главе соискатель с помощью компьютерных симуляций оценивает вероятность образования тесных пар из первичных черных дыр в ранней Вселенной. Остается, однако, открытым вопрос о физическом механизме образования таких пар. Соискатель рассматривает только излучение грав. волн и обнаруживает, что оно крайне неэффективно (что, честно говоря, очевидно и без расчетов). Понимание этого механизма

не только только важно само по себе, но и позволило бы выполнить аналитические оценки и сравнить их с численным счетом.


Несмотря на указанные замечания, я высоко оцениваю диссертационную работу: избранная автором тема диссертации актуальна, научные положения, сформулированные в работе, и ее выводы - обоснованы, достоверны и новы. Работа является завершенной в плане проверки применимости энтропийного подхода к формированию гало из темной материи, разработки методов построения тестовых карт неба в ИК-диапазоне, рассмотрения гипотезы о том, что часть событий, наблюдаемых гравитационно-волновой обсерваторией LIGO, порождаются слияниями первичных черных дыр звездных масс и т.д. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Считаю, что диссертационная работа «Моделирование наблюдательных проявлений темной материи» и ее автореферат отвечают всем требованиям Положения ВАК РФ о присуждении ученых степеней, предъявляемых к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а ее автор, Ткачев Максим Вячеславович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 "астрофизика и звездная астрономия".

Официальный оппонент

Баушев Антон Николаевич

доктор физико-математических наук, в.н.с. Лаборатории Теоретической Физики им. Боголюбова Объединенного Института Ядерных Исследований

  
(подпись)


19.04.2022

Адрес: 141980, Московская область, Дубна, ул. Жолио-Кюри, 6, Объединенного Института Ядерных Исследований, Лаборатория Теоретической Физики им. Боголюбова.

Подпись Баушева Антона Николаевича заверяю.

Ученый секретарь Лаборатории Теоретической Физики им. Боголюбова  
Объединенного Института Ядерных Исследований

А.В. Андреев

  
(подпись)

