

Отзыв официального оппонента на диссертационную работу
Васильева Евгения Олеговича
«Процессы энерго- и массообмена между галактиками и
окологалактической средой»,
представленную на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук
по специальности 01.03.02 — астрофизика и звездная астрономия

Галактики, межзвездная и межгалактическая среда, звезды разных поколений, являясь структурными элементами окружающего нас космоса, остаются до сих пор активно изучаемыми объектами, несмотря на огромное количество, полученных наблюдательных данных о них. Это связано как с богатым разнообразием физических параметров, связанных с ними, так и со сложностью процессов эволюции и взаимодействия упомянутых объектов.

В представленной диссертационной работе выполнено исследование процессов взаимодействия, обмена энергией и массой, между галактиками и окружающей средой в ходе эволюции Вселенной, от начала формирования первых звезд до современной эпохи. Определены физические условия и наблюдательные проявления, характерные для этих процессов.

Во **Введении** представленной диссертационной работы сформулированы актуальность, цели, научная новизна, степень достоверности, практическая значимость, положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** рассмотрена эволюция газа в первых протогалактиках. Исследовано образование молекул HD и их роль в охлаждении первичного газа. Рассмотрено влияние вращения в гравитационносвязанных формирующихся структурах на охлаждение межзвездного газа.

Во **второй главе** изучено влияние возможных нестандартных источников ионизации и нагрева на тепловую эволюцию барионов в эпоху, предшествующую реионизации Вселенной. Исследованы наблюдательные проявления этого влияния на свойства линии 21 см атомарного водорода, попадающей в результате космологического красного смещения в метровый диапазон радиоволн. В качестве нестандартных источников нагрева, рассматриваются космические лучи сверхвысоких энергий, возникающие в результате распада (или аннигиляции) частиц темной материи, а также влияние первичных магнитных полей на ионизационную и тепловую первых протогалактик.

В **третьей главе** исследована динамическая, тепловая и химическая эволюция газа после рождения первых звезд и последующих взрывов сверхновых на красных смещениях $z \sim 12$. Изучены свойства распределения тяжелых элементов, произведенных в родительской звезде, и эффективность их перемешивания с первичным газом в остатке сверхновой.

В **четвертой главе** изучен неравновесный, эволюционирующий со временем ионный состав и функции охлаждения газа, обогащенного тяжелыми элементами и находящегося в поле внешнего ионизирующего излучения. Найден диапазон применимости равновесных фотоионизационных моделей для межзвездной и межгалактической среды.

В **пятой главе** рассмотрены процессы перемешивания тяжелых элементов при обдирании обогащенных гало галактик. Исследованы статистические характеристики пространственного распределения тяжелых элементов в межгалактической среде на начальных этапах ее обогащения. Исследован ионный состав межгалактического газа в эпоху вторичной ионизации гелия.

В **шестой главе** рассмотрены условия, необходимые для возникновения галактических ветров. В рамках трехмерной газодинамической модели исследована динамика множественных вспышек сверхновых. Обсуждаются возможные наблюдательные особенности соотношений ионов, измеряемых в центральных областях галактик со звездообразованием.

В **заключении** сформулированы основные результаты и выводы работы.

Диссертационная работа четко структурирована, снабжена исчерпывающим списком цитированной литературы. К несомненным плюсам работы можно отнести детальный сравнительный анализ предсказываемых эффектов с потенциальной возможностью их регистрации в планирующихся наблюдательных проектах.

Основные результаты работы опубликованы в 24 статьях из списка рецензируемых журналов ВАК.

Текст автореферата полностью отражает содержание диссертации.

В качестве замечаний можно высказать следующие:

1. В первой главе рассматривая влияние молекул HD на охлаждение первичного газа, автор показывает, что для различных физических условий это влияние может оказаться довольно существенным. При

этом один из ключевых параметров, определяющих количество молекул HD и следовательно скорость охлаждения, – первичное отношение D/H – считается заданным и автор оставляет за рамками количественные изменения, которые могли бы быть связаны с различным значением первичного D/H. Конечно современное значение D/H – определено с очень хорошей точностью, однако в главе 3, рассматривая взрывы первых сверхновых и обогащение межзвездной среды металлами, связанную с этим динамику газа, и вновь образование и роль молекул H₂ и HD, автор упускает из виду, что эта среда локально обеднена дейтерием, практически полностью выгоревшем в сверхмассивной звезде, поэтому в этом случае количественные характеристики влияния молекул HD на охлаждение, могли бы быть меньшими. Также имеет академический интерес и большее первичное значение D/H (скажем на порядок величины, первые наблюдения D/H в квазарах давали на порядок большее значение), в качестве независимого верхнего предела – большее обилие HD могло бы приводить к столь радикальным изменениям функции масс первых звезд и гравитационносвязанных структур, что это входило бы в противоречие с имеющимися наблюдениями.

2. В главе два исследуя влияние возможных нестандартных источников ионизации и нагрева межзвездной и межгалактической среды автор четко показывает к каким опосредованным наблюдательным проявлениям приведут подобные процессы (абсорбция и эмиссия в линии 21 см), при этом автор никак не комментирует непосредственные наблюдательные проявления этих нестандартных источников. Так любая модель аннигиляции или распада частиц темной материи ведет к формированию фоновых спектров частиц стандартной модели (барионная и лептонные составляющие). Барионная составляющая должна проявляться добавкой к спектру космических лучей в различных энергетических диапазонах с различным хим. составом (протоны, антипротоны, антидейтерий и др.). Лептонная составляющая могла бы проявляться в виде избытков электрон-позитронной компоненты космических лучей, а также фоновым гамма-излучением. Современные наблюдательные данные задают жесткие ограничения на диапазон параметров и моделей распада частиц темной материи. В связи с этим, автору следовало бы пояснить, что используемый им диапазон параметров распада (аннигиляции) частиц темной материи не приведет к противоречию с наблюдениями фонов в современную эпоху.

Высказанные замечания не носят негативного характера, а лишь являются пояснительными и дополнительными, и не в коем случае не умаляют, научную ценность и значимость диссертационной работы. Считаю, что диссертационная работа Васильева Евгения Олеговича «Процессы энерго- и массообмена между галактиками и окологалактической средой», представленная на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.03.02 — астрофизика и звездная астрономия, соответствует требованиям, предъявляемым к работам данного уровня, а ее автор несомненно заслуживает присуждения указанной ученой степени.

Ведущий научный сотрудник
сектора теоретической астрофизики
Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе РАН,
доктор физико-математических наук,

ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН
Политехническая 26,
194021, Санкт-Петербург

E-mail: iav@astro.ioffe.ru


Иванчик А.В.

24.09.2015

Подпись Иванчик А.В. удостоверяю
зам. отдела кадров ФТИ им. А.Ф. Иоффе

Ремизкоба