

УТВЕРЖДАЮ:

Первый проректор

Южного федерального
университета

д.э.н., профессор



М.В. Сероштан

2015 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

федерального государственного автономного
образовательного учреждения высшего образования
«Южный федеральный университет»

Диссертация «Процессы энерго- и массообмена между галактиками и окологалактической средой» выполнена в отделе радиофизики и космических исследований Научно-исследовательского института физики и на кафедре физики космоса факультета физики. В период подготовки диссертации соискатель Васильев Евгений Олегович работал в государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Ростовский государственный университет» в должностях младшего научного, научного сотрудника и федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Южный федеральный университет» в должностях научного, старшего и ведущего научного сотрудника.

В 2000 г. окончил Ростовский государственный университет с присуждением степени магистра физики по направлению «Физика».

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук защитил 15 апреля 2004 г. в совете Д002.203.01, созданном при Специальной Астрофизической обсерватории Российской Академии Наук.

Научный консультант - Щекинов Юрий Андреевич, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет», физический факультет, кафедра физики космоса, д.ф.-м., профессор, заведующий кафедрой.

По итогам обсуждения принято следующее заключение: диссертационная работа выполнена соискателем на высоком научном уровне и представляет законченное, самостоятельное, научное исследование актуальной проблемы – процессов энерго- и массообмена между галактиками и окружающей средой. Новизна и достоверность полученных результатов не вызывает сомнений и подтверждена публикациями в ведущих российских и зарубежных журналах, в том числе: Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Astrophysical Journal, Astronomy and Astrophysics, Astrophysics and Space Science, Astronomische Nachrichten, Astrophysics, *Астрономический журнал*, *Астрофизический бюллетень*. Результаты диссертации были представлены соискателем в виде докладов на 25 российских и 18 международных конференциях, в том числе на Генеральной ассамблее МАС в 2006 г., Всероссийской астрономической конференции в 2004-2013 гг., совещаниях рабочей группы «Межзвездная среда» при Научном совете по астрономии Российской академии наук. Материал диссертации полностью отражен в 43 публикациях в открытой печати, в том числе 24 работах, входящих в список ВАК. Работа соответствует заявленной специальности 01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия.

Диссертация содержит всестороннее исследование процессов энерго- и массообмена между галактиками и окологалактической средой от начала формирования первых звезд во Вселенной до современной эпохи.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, формулируются цели исследования, кратко излагается содержание глав.

В первой главе рассмотрена термохимическая эволюция газа в первых протогалактиках. Исследовано образование молекул HD и их роль в охлаждении первичного газа за фронтами ударных волн, возникающих в эпоху формирования галактик. Показано, что при близких к лобовым столкновениях протогалактик с массой $M > 10^7 [(1+z)/20]^2 M_{\odot}$ газ за фронтом ударной волны становится гравитационно неустойчивым, что связано с

эффективным охлаждением молекулами HD. Найдено, что потери в линиях HD оказываются достаточными, чтобы газ охлаждался вплоть до температуры реликтового излучения $\sim 2.7(1+z)$ К. Получены оценки доли протогалактик, в которых молекулы HD оказываются важными в охлаждении газа. Найдено, что вклад в скорость звездообразования, ассоциированную с охлаждением в линиях HD, возрастает с 0.5% на красных смещениях $z=18-20$ до 10-30% на $z\sim 10$.

Во второй главе изучено влияние возможных нестандартных источников ионизации и нагрева на тепловую эволюцию барионов в эпоху до вторичной ионизации водорода и наблюдательные проявления этого влияния в свойствах линии 21 см нейтрального водорода, смещенной в метровую область. Показано, что (а) сверхтяжелые частицы темной материи через распад на космические лучи сверхвысоких энергий и электромагнитные каскады способствуют понижению предела массы гало, в которых барионы эффективно охлаждаются, на порядок по сравнению со стандартной рекомбинацией, (б) нагрев газа, обусловленный нестабильной темной материей и первичными магнитными полями, приводит к уменьшению эффективности охлаждения газа и, следовательно, подавлению звездообразования. В зависимости от типа источника ионизации изменения в эволюции проявляются в абсорбционных и эмиссионных свойствах линии 21 см нейтрального водорода, которые могут быть исследованы с помощью радиоинтерферометров в метровом диапазоне, например, Murchison Widefield Array (MWA), Low-Frequency Array (LOFAR) и Square Kilometre Array (SKA).

В третьей главе исследована динамическая, тепловая и химическая эволюция газа после рождения первых звезд в интервале масс $M_*\sim 25-200 M_\odot$ и последующих взрывов сверхновых в протогалактиках $M\sim 10^7 M_\odot$ на красных смещениях $z\sim 12$. Исследованы свойства распределения тяжелых элементов (металлов), произведенных в родительской звезде, и эффективность их перемешивания с первичным газом в оболочке сверхновой. Найдено, что эффективность перемешивания металлов зависит от энергии взрыва сверхновой и для менее энергетичных ($E < 3 \times 10^{52}$ эрг) сверхновых она оказывается заметно выше из-за быстрого охлаждения оболочки и ее схлопывания. Найдено, что при схлопывании оболочки

сверхновой в центральной области возможно рождение звезд с металличностью, близкой характерным значениям для современных звезд Галактики.

В четвертой главе изучен неравновесный ионный состав и функции охлаждения газа, обогащенного тяжелыми элементами и находящегося в поле внешнего ионизирующего (ультрафиолетового и рентгеновского) излучения. Найден диапазон применимости равновесных фотоионизационных моделей для межзвездной и межгалактической сред. Показано, что функции охлаждения в равновесных условиях близки к неравновесным только при низкой металличности и высоком потоке ионизирующего излучения. В остальных условиях отличия между равновесными и неравновесными величинами оказываются значительными и могут достигать нескольких раз. Показано, что за фронтами ударных волн в столкновительном газе темп охлаждения газа и диапазон физических условий, благоприятных для развития тепловой неустойчивости, зависят от металличности газа и скорости ударной волны.

В пятой главе рассмотрены процессы перемешивания тяжелых элементов при обдирании обогащенных гало галактик, ионизационная и тепловая эволюция газа в окрестности галактик в эпоху вторичной ионизации гелия и в окологалактическом пространстве галактик с активным звездообразованием на малых красных смещениях. Особое внимание обращено на роль нестационарных процессов ионизации и охлаждения газа. Найдено, что насыщение неустойчивостей, обусловленное затуханием относительных движений газовых потоков, приводит к неполному перемешиванию. Найдено, что отношение $OIII/OIV$ оказывается наиболее многообещающим индикатором поглощения $HeII$ в континууме, $\sim 54-150$ эВ в эпоху реионизации гелия. Определены условия для появления высокой концентрации иона кислорода OVI в газе под действием галактического и внегалактического ионизирующего излучения.

В шестой главе рассмотрены условия, необходимые для возникновения галактических ветров. В рамках трехмерной газодинамической модели исследована динамика множественных вспышек сверхновых, перекрывающихся между собой. Найдено масштабное соотношение между эффективностью нагрева газа сверхновыми до

рентгеновских температур, темпом вспышек сверхновых и плотностью окружающего газа. Предсказано существование временной задержки между началом звездообразования и активацией галактического ветра, необходимой для достижения состояния перколяции горячего газа в области звездообразования.

Личный вклад состоит в участии в постановке задач, создании пакетов программ, проведении численных расчетов, интерпретации результатов и написании текста статей.

Степень достоверности результатов проведенного исследования, научных положений и выводов следует из использования современных методов теоретической астрофизики и численных методов, адекватности используемых моделей реальным физическим объектам, проверки выполнения предельных переходов к известным ранее результатам.

Научная новизна диссертационного исследования определяется поставленными задачами, разработанными методами их решения и впервые полученными результатами.

Практическая значимость диссертационного исследования выражается в том, что полученные в диссертации результаты представляют интерес для широкого круга специалистов в области внегалактической астрофизики, физики межзвездной среды, эволюции структуры во Вселенной и космологии. Созданные комплексы компьютерных программ для расчета неравновесного ионного состава обогащенного фотоионизованного газа могут быть использованы при анализе наблюдений абсорбционных систем линий металлов в спектрах квазаров, функций охлаждения и нагрева в численном моделировании динамики газа за фронтами ударных волн.

Участники семинара считают, что по своей актуальности, новизне и практической значимости диссертационная работа Васильева Е.О. полностью удовлетворяет всем требованиям пункта 9 «О присуждении ученых степеней» и является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальных задач физики взаимодействия галактик с окружающим газом, термодинамической истории Вселенной.

Диссертация «Процессы энерго- и массообмена между галактиками и околосредой» Васильева Евгения Олеговича рекомендуется

к защите на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия.

Заключение принято на заседании объединенного семинара отдела радиофизики и космических исследований Научно-исследовательского института физики и кафедры физики космоса физического факультета федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Южный федеральный университет».

Присутствовало на заседании 14 чел. Результаты голосования: "за" - 14 чел., "против" - 0 чел., "воздержалось" - 0 чел., протокол N 28 от "4" июня 2015 г.



Мишуров Юрий Николаевич,
доктор физико-математических наук,
профессор, Южный федеральный
университет, физический факультет,
кафедра физики космоса, профессор,
председатель объединенного семинара

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования
«Южный федеральный университет»
личную подпись Мишуров Ю.Н.
ЗАВЕРЯЮ:
Специалист по кадрам
« 10 » 06 20 15

