

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА

Д 002.113.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космических исследований Российской академии наук, 117997, ГСП-7, Москва, Профсоюзная ул. д. 84/32, по диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, аттестационное дело № _____ решение диссертационного совета от 17 декабря 2018г. протокол № 2 о присуждении Комарову Сергею Вячеславовичу, гражданину РФ, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Теплопроводность в горячем газе скоплений галактик» в виде рукописи по специальности 01.03.02 — Астрофизика и звездная астрономия принята к защите 27 марта 2018г. (№ протокола 1) диссертационным советом Д 002.113.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космических исследований Российской академии наук, 117997, ГСП-7, Москва, Профсоюзная ул. д. 84/32, номер приказа Минобрнауки 75/нк от 15.02.2013г. Основными целями диссертационной работы являлось исследование физических механизмов, регулирующих теплообмен в турбулентной межгалактической плазме.

Соискатель Комаров Сергей Вячеславович, гражданин РФ, 1990г. рождения, в 2013г. окончил Московский физико-технический институт (государственный университет), с 2013 по 2018г. обучался в аспирантуре ИКИ РАН. Комаров С.В. работает в должности младшего научного сотрудника отдела астрофизики высоких энергий в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Института космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН).

Диссертация выполнена в отделе астрофизики высоких энергий ИКИ РАН.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН Чуразов Евгений Михайлович, ведущий научный сотрудник лаборатории 525 отдела Астрофизики высоких энергий ИКИ РАН.

Официальные оппоненты:

Быков Андрей Михайлович, гражданин РФ, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий лабораторией астрофизики высоких энергий ФГБУН Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук (ФТИ им. А.Ф. Иоффе),

Кузин Сергей Вадимович, гражданин РФ, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Физического института имени П.Н. Лебедева Российской академии наук, дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация – Государственный астрономический институт имени П.К. Штернберга Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в своём положительном заключении, подготовленном заведующим отделом релятивистской астрофизики, д.ф.-м.н., проф. Шакурой Н.И., председателем координационного совета ГАИШ МГУ по астрофизике, д.ф.-м.н. Рудницким Г.М., секретарем координационного совета ГАИШ МГУ по астрофизике, к.ф.-м.н. Волошиной И.Б., и.о. директора ГАИШ МГУ, д.ф.-м.н., проф. Постновым К.А., подписанном

проректором Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова проф. Федяниным А.А., указывает, что диссертация Комарова С.В. соответствует всем требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 Астрофизика и Звездная Астрономия, а ее автор заслуживает присуждения искомой степени.

Соискатель имеет 3 опубликованные работы в рецензируемых научных журналах, в которых является первым автором. В работах представлены все основные положения диссертации, общий объём работ 30 печатных листов:

- 1) "Suppression of local heat flux in a turbulent magnetized intracluster medium", 2014, S. Komarov, E. Churazov, A. Schekochihin and J. ZuHone, MNRAS, 440, 2, 1153-1162
- 2) "Thermal conduction in a mirror-unstable plasma", 2016, S. Komarov, E. Churazov, M. W. Kunz and A. Schekochihin, MNRAS, 460, 1, 467-477
- 3) "Polarization of thermal bremsstrahlung emission due to electron pressure anisotropy", 2016, S. Komarov, I. Khabibullin, E. Churazov and A. Schekochihin, MNRAS, 461, 2, 2162-2173

Выбор официальных оппонентов обосновывается их компетентностью в данной области науки и наличием публикаций в соответствующей сфере исследований.

Ведущая организация была выбрана на основании широкой известности ее достижений в рассматриваемой области науки, которая показывает безусловную способность определения данной организацией научной ценности диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Показано, что в турбулентном поле скоростей межгалактической плазмы на пространственных масштабах турбулентных вихрей возникает корреляция между градиентами температуры и замороженным магнитным полем за счет одновременного переноса как температуры, так и силовых линий магнитного поля турбулентными движениями газа. За характерное время оборота турбулентных вихрей ортогональная ориентация градиентов температуры и силовых линий становится наиболее вероятной, что препятствует локальному теплообмену, несмотря на одновременный рост средней величины градиентов. Продемонстрировано, что в областях с наибольшими градиентами температуры локальное подавление теплового потока также должно быть наибольшим. Получена связь между темпом роста средней плотности магнитной энергии и темпом релаксации флуктуаций температуры теплопроводностью. Основные теоретические выводы демонстрируют качественное согласие с результатами численного моделирования турбулентности в скоплениях галактик.

На основе анализа результатов гибридного кинетического численного моделирования зеркальной неустойчивости в плазме с высокой величиной бета, характерной для межгалактической

среды, показано, что неустойчивость приводит к подавлению коэффициента теплопроводности примерно в 5 раз. Подавление происходит за счет адиабатического взаимодействия тепловых электронов с продольными флуктуациями индукции магнитного поля (магнитными зеркалами), создаваемыми неустойчивостью. Полученный результат не зависит от крупномасштабных свойств межгалактической среды и, вероятно, является универсальным для любой турбулентной замагниченной плазмы с большим бета.

Показано, что упорядоченные крупномасштабные движения межгалактической плазмы могут приводить к появлению малой поляризации теплового тормозного излучения плазмы за счет возникающей в ходе движений малой анизотропии давления электронов. Подобная анизотропия давления неизбежно возникает при сохранении адиабатических инвариантов плазмы. С помощью кода, написанного автором работы, выполнено магнитогидродинамическое моделирование холодных фронтов в скоплениях галактик. По результатам моделирования произведена оценка величины анизотропии давления электронов, создаваемой обтеканием холодного плотного облака газа горячей разряженной плазмой. Затем построена карта поляризации теплового тормозного излучения. Полученная степень поляризации (около 0.1%) является независимой мерой столкновительности электронов в плазме скоплений, одного из ключевых параметров плазмы, прямые измерения которого на данный момент невозможны.

Значимость исследования состоит в том, что:

- впервые на основе аналитической модели показано, что случайное турбулентное поле скоростей в идеально проводящей плазме в среднем приводит к локально ортогональной ориентации силовых линий магнитного поля и градиентов температуры и подавлению тепловых потоков вдоль градиентов. Продемонстрировано, что подобный эффект также воспроизводится при глобальном численном моделировании скоплений галактик;
- демонстрируется важная роль кинетических эффектов физики плазмы в скоплениях на основе рассмотрения переноса электронов в присутствии магнитных флуктуаций, создаваемых зеркальной неустойчивостью. Показывается связь микрофизики плазмы с крупномасштабными параметрами скоплений, такими как глобальное распределение температуры;
- учитывая недоступность рентгеновских наблюдений пространственных масштабов, существенно меньших длины свободного пробега тепловых частиц, предложенный метод оценки частоты столкновений тепловых электронов по степени поляризации их тормозного излучения представляет собой существенную ценность.

Достоверность полученных результатов подтверждается тем, что:

Результаты работы были представлены на нескольких российских и международных конференциях, опубликованы в 3 статьях в высокорейтинговых реферируемых журналах, а также представлены в открытом доступе на сайте электронных препринтов arxiv.org.

Личный вклад соискателя состоит в следующем:

Результаты работы были представлены на нескольких российских и международных конференциях, опубликованы в 3 статьях в высокорейтинговых реферируемых журналах, а также представлены в открытом доступе на сайте электронных препринтов arXiv.org.

Личный вклад соискателя состоит в следующем:

Все результаты, представленные в диссертации, были получены лично автором диссертации при поддержке научного руководителя и других соавторов публикаций. Автор диссертации участвовал непосредственно в постановке решаемых в диссертации задач, теоретических расчетах и разработке программного обеспечения для численного моделирования исследуемых явлений. Диссертация отвечает на вопросы поставленных научных задач и проблем и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного плана, общего подхода к задачам и взаимосвязи полученных выводов.

Диссертационный совет пришёл к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения учёных степеней, утверждённым постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013г. № 842, и принял решение присудить Комарову Сергею Вячеславовичу учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 11 докторов наук по специальности диссертации 01.03.02, участвовавших в заседании, из 24 человек, входящих в состав совета, проголосовали: « за » присуждение учёной степени 18 , «против» присуждения учёной степени нет , недействительных бюллетеней нет .

Председатель диссертационного совета
академик

Сюняев Рашид Алиевич

Ученый секретарь
диссертационного совета
к.ф.-м.н.



Ткаченко Алексей Юрьевич