

Отзыв

Научного руководителя д.ф.-м.н. Е.М. Чуразова на диссертационную работу Сергея Вячеславовича Комарова «Теплопроводность в горячем газе скоплений галактик», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 «астрофизика и звёздная астрономия».

Работа Сергея Вячеславовича Комарова посвящена важной и до сих пор не решенной проблеме теплопроводности горячей и разреженной плазмы, заполняющей скопления галактик. Плотность и температура этой плазмы измеряются с помощью современных рентгеновских телескопов по интенсивности и спектру тормозного излучения тепловых электронов. Есть оценки и характерных скоростей газа и магнитных полей (по Фарадеевскому вращению). Ларморовский радиус электронов в плазме скоплений на много порядков меньше длины свободного пробега по Кулоновским соударениям, в то время как отношение тепловой энергии к магнитной порядка 10^2 . Именно сочетание этих двух параметров делает задачу сложной. С другой стороны, неопределенность в значениях эффективной теплопроводности и вязкости является сегодня серьезным препятствием на пути прямого численного моделирования роли барионов при формировании скоплений в космологических расчетах.

В диссертации рассматриваются три аспекта, связанные с теплопроводностью.

Первый аспект – это корреляция градиента температуры и направления магнитного поля в турбулентной плазме скоплений. Сергеем Комаровым было показано, что в рамках модели Казанцева-Крайчнана движения газа приводят к тому, что в среднем градиент температуры оказывается перпендикулярен магнитному полю. Таким образом, поток тепла в направлении максимального градиента подавляется топологией силовых линий поля. Предсказанный эффект был подтвержден прямыми численными МГД расчетами.

Второй аспект связан с подавлением теплопроводности вдоль поля за счет магнитных зеркал. Специфика задачи, рассмотренной Сергеем Комаровым, связана с особенностью статистических свойств магнитных зеркал, возникающих в плазме скоплений. В работе показано, что подавление параллельной теплопроводности составляет фактор ~ 5 . Умеренное значение подавления связано с умеренной амплитудой флуктуаций поля, возникающих в результате зеркальной неустойчивости.

Наконец, третий аспект – это предложение новых методов диагностики плазмы в скоплениях галактик. В частности, диагностики анизотропии функции распределения тепловых электронов, возникающей в плазме скоплений, по

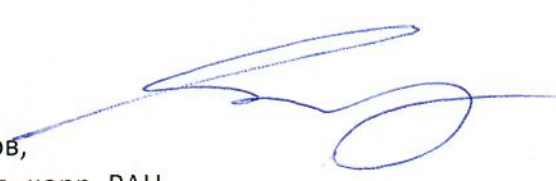
поляризации тормозного излучения в рентгеновском диапазоне. Это один из немногих способов измерить анизотропию, возникающую на масштабах, на 10 порядков меньше, чем могут разрешить любые телескопы. В связи с тем, что интерес к рентгеновской поляриметрии растет во всем мире, эта задача может войти в программы планирующихся проектов.

В диссертации были использованы различные теоретические модели из физики плазмы, а также разнообразные численные методы, начиная от метода Монте-Карло для расчета диффузии электронов, и заканчивая магнитной гидродинамикой и методами «частиц в ячейках». Сергей Комаров продемонстрировал отличное владение этими методами.

В диссертацию вошли только три работы из общего цикла из пяти работ по этой теме. В двух работах, продолжающих тему теплопроводности и неустойчивостей в слабо-столкновительной плазме, рассматривается роль свистов в ограничении максимального теплового потока (Plasma Physics, 2018) и влияние анизотропии функции распределения электронов на поляризацию излучения микроволнового фона в направлении на скопления галактик (MNRAS, 2018). Несомненно, что эта тема еще далеко не исчерпана, и Сергей Комаров продолжит активную работу в этом направлении, как в области теоретического анализа, так и в численном моделировании.

Работы, вошедшие в диссертацию, неоднократно докладывались на российских и международных конференциях и семинарах. Результаты, изложенные в диссертации, уже активно используются при анализе роли переноса тепла в газе скоплений галактик.

Считаю, что диссертационная работа Сергея Вячеславовича Комарова отвечает всем требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а диссертант заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 «астрофизика и звёздная астрономия».



Е.М. Чуразов,
д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН

20 марта 2018