

ОТЗЫВ

официального оппонента д.ф.м.н. Шематовича В.И.

на диссертацию Глушихиной Марии Владимировны

«Вычисление кинетических коэффициентов произвольно вырожденных электронов в замагниченном плотном веществе», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 «Теоретическая физика».

В диссертационной работе Глушихиной М.В. рассчитаны коэффициенты переноса в произвольно вырожденном, замагниченном, плотном веществе, которое входит в состав внешней и внутренней коры нейтронной звезды, а так же центральных слоёв белых карликов. Внутреннее строение нейтронных звёзд и белых карликов плохо изучено, так как вещество в них находится в экстремальных условиях, недостижимых в лабораторных исследованиях. Рентгеновские одиночные нейтронные звёзды, среди всех нейтронных звёзд с тепловым излучением, обладают чистым чёрнотельным спектром, без излучения от аккреционного диска или окружающей туманности. Таких объектов известно немного, до 2019 года было открыто лишь семь радиотихих звёзд, излучающих в мягком рентгеновском диапазоне спектра из-за остывания поверхности. В 2019 году был открыт еще один объект, который оказался не только рентгеновской одиночной нейтронной звездой, но и обладает радиоизлучением. Наблюдения теплового излучения от поверхности одиночной замагниченной нейтронной звезды важны, так как они могут предоставить информацию о массе и радиусе звезды, что необходимо для определения уравнения состояния её материи - одной из самых главных загадок нейтронных звёзд. Для описания теплового излучения необходимо знать свойства процессов переноса в веществе звезды. Недавнее открытие нового объекта и возможность обнаружения большего количества подобных звёзд, а так же важность анализа теплового излучения от их по-

верхности делает расчёты точных значений кинетических коэффициентов в замагниченном плотном веществе актуальными и востребованными. Рассчитанные в диссертационной работе коэффициенты переноса могут быть использованы в таких практических приложениях, как моделирование распределения тепла и заряда в белых карликах, в оболочке замагниченных нейтронных звёзд, а также при описании лабораторной плазмы. Результаты диссертационной работы достоверны, получены с использованием хорошо обоснованных классических методов кинетической теории газов.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и заключения. Полный объем диссертационной работы составляет 115 страниц и 13 рисунков. Список литературы состоит из 81 наименования.

Во Введении изложены цели и задачи работы, обоснована их актуальность, сделан обзор литературы по исследуемой тематике, сформулирована цель и показаны научная новизна исследований и практическая значимость полученных результатов, а также представлены выносимые на защиту научные положения.

В первой главе из уравнения Больцмана для произвольно вырожденных, нерелятивистских электронов в магнитном поле получены уравнения переноса для концентрации, полного импульса и энергии электронов в смеси из электронов и ядер. Выписаны выражения для интегралов столкновений электрон-ядро и электрон-электрон. Описан метод последовательных приближений Чепмена-Энскога. Выписаны первые три полинома, обобщающие полиномы Сонина, и с их помощью получены системы уравнений для нахождения компонент тензоров кинетических коэффициентов при произвольном вырождении.

Во второй главе рассчитаны матричные элементы для интегралов столкновений электрон-электрон и электрон-ядро для случая невырожденных и сильно вы-

рожденных электронов. Для частично вырожденных электронов рассчитаны матричные элементы для интеграла столкновений электрон-ядро.

В третьей главе приведены результаты расчетов коэффициентов теплопроводности, термодиффузии, диффузии и диффузионного термоэффекта в явном виде для невырожденных электронов в магнитном поле, полученные при помощи метода последовательных приближений Чепмена-Энскога. Получено аналитическое решение с использованием первых трёх полиномов в разложении. Выполнено сравнение с коэффициентами, полученными в приближении Лоренца. В этом приближении линеаризованное уравнение Больцмана имеет точное решение. Приближение Лоренца дает возможность проследить за сходимостью приближенного решения к точному с увеличением степени полиномов.

В четвертой главе для оценки влияния вырождения на сходимость полиномиального приближения к точному значению и вклада электрон-электронных столкновений получены значения кинетических коэффициентов из решения уравнения Больцмана методом последовательных приближений для случая частично вырождения при отсутствии магнитного поля. Были учтены только столкновения электрон-ядро. При сравнении полученных коэффициентов, с коэффициентами, рассчитанными как точное решение в приближении Лоренца, показано, что точность приближения рядом ортогональных функций, обобщающих полиномы Сонина, уменьшается с увеличением степени вырождения.

В пятой главе рассмотрен случай сильно вырожденной плазмы, когда для решения уравнения Больцмана используется приближение Лоренца. Для сильно вырожденных электронов приближение Лоренца с учетом столкновений между легкими и тяжелыми частицами асимптотически точно. На основе решения получены аналитические выражения для кинетических коэффициентов сильно вырожденных электронов в магнитном поле. Проведено сравнение с результа-

тами из предшествующих работ и показано, что полученные коэффициенты, имеют значительно более сложную зависимость от магнитного поля.

В Заключении изложены основные выводы диссертационной работы.

Таким образом, диссертантом получены новые и важные результаты, а именно:

- получены асимптотически точные аналитические выражения для компонент четырёх тензоров коэффициентов переноса в приближении Лоренца для сильно вырожденных электронов в магнитном поле;
- впервые получены аналитические выражения для кинетических коэффициентов из решения уравнения Больцмана без учёта магнитного поля методом Чепмена-Энскога в 3-х полиномиальном приближении для случая частичного вырождения. Показано, что точность полиномиального приближения уменьшается при увеличении степени вырождения.

Имеется несколько замечаний по диссертационной работе. Полученные аналитические оценки кинетических коэффициентов сравнены преимущественно с асимптотически точными решениями в приближении Лоренца, но не представлены сравнения с численными расчетами других авторов, если таковые имеются. Это следовало бы более четко подчеркнуть в тексте диссертации. В целом выполнена одна из основных задач диссертационной работы - провести расчеты коэффициентов переноса, которые определяют тепловой поток, вызываемый электронами в случае нулевого вектора диффузии. Однако, не был рассмотрен более общий случай теплопроводности и электропроводности вырожденных электронов с учетом ненулевого вектора диффузии. Данное замечание можно рассматривать и как рекомендацию диссертанту о возможном пути усовершенствования расчетов кинетических коэффициентов в дальнейших исследованиях. Указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования.

В целом, диссертационная работа Глушихиной М.В. представляет собой законченное исследование в области теоретической физики. Результаты диссертационного исследования опубликованы в российских и зарубежных журналах, индексируемых в международных системах цитирования, а так же представлены на российских и международных конференциях. Автореферат диссертации полностью отражает её содержание.

Диссертационная работа Глушихиной М. В. отвечает всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям по специальности 01.04.02 - Теоретическая физика, а её автор - Глушихина М. В. - заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук, заведующий отделом
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт астрономии Российской академии наук

Шематович Валерий Иванович

Подпись В.И. Шематовича заверяю:

Ученый секретарь ИНАСАН

11 ноября 2020 г.



А.М. Фатеева