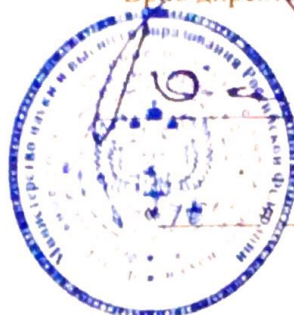


“УТВЕРЖДАЮ”

Врио директора Физического института  
им. П.Н.Лебедева РАН



Н.Н.Колачевский

Ноября 2020 г.

### ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу 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».

Диссертация М.В.Глушихиной «Вычисление кинетических коэффициентов произвольно вырожденных электронов в замагниченном плотном веществе» посвящена вычислению полного набора кинетических коэффициентов нерелятивистской произвольно вырожденной замагниченной плазмы. Такие коэффициенты получены путем решения кинетического уравнения Больцмана для полностью ионизованной плазмы в магнитном поле, когда электроны вырождены, а ядра невырождены. Если состояние плазмы близко к состоянию локального термодинамического равновесия, то функции распределения частиц можно представить в виде суммы функций распределения нулевого порядка и малых возмущений. Подставляя такие разложения в уравнение Больцмана и решая его относительно малых возмущений, можно получить диссипативные потоки. Для произвольно вырожденных электронов уравнение решено методом последовательных приближений Чепмена-Энскога с использованием первых трёх полиномов в разложении. Исследована сходимость полиномиального решения к точному в зависимости от различной степени вырождения. Для плазмы с сильно вырожденными электронами уравнение Больцмана решено в приближении Лоренца, которое является асимптотически точным. В результате решения были получены аналитические выражения для тензоров теплопроводности, диффузии, термодиффузии и диффузионного термоэффекта электронов в магнитном поле для предельных случаев невырожденных и сильно вырожденных электронов. Для случая частичного вырождения получены

коэффициенты переноса без учёта магнитного поля. Полученные выражения могут существенно уточнить процессы переноса, происходящие в коре нейтронных звёзд и других объектах с сильным магнитным полем и вырожденными электронами.

### **Научная новизна представлена следующими результатами:**

Для сильно вырожденных электронов в магнитном поле получены асимптотически точные аналитические выражения для компонент четырёх тензоров коэффициентов переноса в приближении Лоренца.

Так же, для случая частичного вырождения впервые получены аналитические выражения для кинетических коэффициентов из решения уравнения Больцмана без учёта магнитного поля методом Чепмена-Энскога в 3-х полиномиальном приближении. Показано, что точность полиномиального приближения уменьшается при увеличении степени вырождения.

**Практическая значимость** работы связана с тем, что результаты расчётов могут быть использованы для трёхмерного моделирования распределения температуры по поверхности замагниченной нейтронной звезды и анализа наблюдательных данных.

### **Структура работы**

Диссертация объёмом 115 страниц состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы, состоящего из 81 наименования; включает 13 рисунков.

Введение содержит обзор литературы по тематике исследования, изложены цели, задачи, новизна работы, сформулированы положения выносимые на защиту.

В первой Главе подробно описан метод последовательных приближений для решения уравнения Больцмана.

Вторая Глава посвящена расчёту значений матричных элементов для интегралов электрон-электронных и электрон-ядерных столкновений для случаев невырожденных, частично вырожденных и сильно вырожденных электронов.

В третьей Главе рассматривается приближение невырожденных электронов. Получены аналитические выражения для четырёх тензоров кинетических коэффициентов в 3-х полиномиальном приближении в магнитном поле. Проанализирована точность метода последовательных приближений для двух и

трёх полиномов в разложении. Исследована сходимость полиномиального решения к точному.

В четвертой Главе рассматривается случай частичного вырождения. Исследовано влияние вырождения на сходимость полиномиального решения к точному. Наконец, пятая Глава посвящена случаю сильно вырожденных электронов. Уравнение Больцмана решено в приближении Лоренца, для которого возможно получить асимптотически точное решение. Получены выражения для компонент четырёх тензоров кинетических коэффициентов в явном виде.

Основные результаты и выводы работы приведены в Заключение.

**Обоснованность и достоверность** защищаемых положений определяется применением классических методов кинетической теории газов, сравнением полученных результатов с результатами предшествующих работ по данной тематике.

К диссертации можно сделать следующие замечания.

- В диссертационной работе практически ничего не говорится об астрофизической (наблюдательной) части. Она сильно выиграла бы, если бы содержала астрофизические приложения. Например, совсем не упомянут эксперимент NICER, для обработки данных которого полученные результаты были бы очень полезны. Работа заканчивается громоздкими формулами (5.82)-(5.84), и никаких приложений, кроме краткого указания на то, что полученные формулы могут быть полезны для белых карликов и нейтронных звезд, не приводится.
- Вызывает вопрос полученный результат об отрицательном значении некоторых коэффициентов переноса при  $\omega t \sim 1$  (см, например, Рис. 3.1). По-видимому, при этом нарушается само приближение, которое использовалось при расчете. Однако этот момент в работе никак не прокомментирован.
- Деление на Главы достаточно искусственно. Они имеют совершенно разный размер, вторая Глава начинается без предисловия (первые слова: «Матричные элементы  $b_{jk}$ , связанные с электрон-ядерными столкновениями, определяются следующим образом:»), подобным же образом начитается и Глава 3, система (1.4)-(1.6) является магнитогидродинамической, а не гидродинамической. Неточно выражение «отклонения являются линейными» (стр. 20). Лучше было бы сказать «отклонения считаются малыми, так что задача может быть линеаризована».

- Кроме того, в тексте диссертации много опечаток. Например, в формуле (1.5) отсутствует электрическое поле, в формуле (1.12) – концентрация ядер, в формуле (1.16) пропущен фактор  $R$ . В тексте не раз упоминается голландский физик Хендрик Антон Лорентц, но в некоторых случаях он упомянут как Лорентц, тогда как в большинстве – как Лоренц.

Сделанные замечания не умаляют значимости результатов диссертации. Полученные результаты являются новыми, оригинальными и вносят существенный вклад в физику и астрофизику белых карликов и нейтронных звёзд. Рассматриваемая диссертация отвечает требованиям ВАК, автореферат диссертации полностью отражает её содержание. Таким образом, автор диссертации «Вычисление кинетических коэффициентов произвольно вырожденных электронов в замкнутом плотном веществе» Мария Владимировна Глушихина, безусловно, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.02 – Теоретическая физика.

Отзыв подготовлен ведущим научным сотрудником Отделения теоретической физики, Федерального государственного бюджетного учреждения науки Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук доктором физико-математических наук, профессором В.С. Бескиным.

Отзыв обсужден на заседании семинара Отделения теоретической физики ФИАН 30 сентября 2020 г.

Ведущий научный сотрудник  
Отделения теоретической физики  
доктор физико-математических наук  
профессор

Василий Семенович Бескин

Сведения о ведущей организации:  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Физический институт им. П.Н.Лебедева Российской академии наук  
Москва 119991, Ленинский просп., 53  
Тел. +7 (499) 132-65-54  
e-mail: office@lebedev.ru  
Сайт: <https://www.lebedev.ru/>

Помощник  
директора

Савинов С.Ю.