

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Быкова Андрея Михайловича на диссертацию Гусакова Михаила Евгеньевича «Динамические процессы в нейтронных звёздах», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности

1.3.1. Физика космоса, астрономия.

Более пятидесяти лет наблюдений нейтронных звезд и связанных с ними объектов позволили обнаружить целый ряд их интересных особенностей как макроскопических систем с квантовыми свойствами ядерной материи и магнитными полями, превышающими в магнитарах критические швингеровские значения напряженности поля. Исследования нейтронных звезд позволяют проверять фундаментальные законы физики посредством сравнения моделей с данными наблюдений в различных диапазонах спектра. В диссертации М.Е. Гусакова выполнен цикл актуальных исследований динамических процессов в нейтронных звездах как одиночных, так и в маломассивных рентгеновских двойных системах, с анализом их наблюдательных проявлений.

Кинетические процессы в сверхтекучих заряженных смесях внешней коры нейтронной звезды при конечных температурах, рассмотрены автором во второй главе. Получены коэффициенты объемной вязкости системы с учетом неравновесных процессов взаимопревращения частиц, определяющие затухание гидродинамических мод в нуклон-гиперонном веществе.

Влияние диссипативных процессов, включая диффузионные, на спектры глобальных колебаний сверхтекучего вещества в невращающихся нейтронных звездах подробно обсуждается в главе 3. В частности, можно отметить исследование особенностей тепловых и композиционных g -мод во внутренних частях нейтронных звезд.

Более общий анализ диссипативных течений сверхтекучих и сверхпроводящих смесей во вращающихся замагниченных звездах при конечных температурах, выполнен в четвертой главе диссертации. Получены и проанализированы уравнения диссипативной релятивистской магнитной гидродинамики с кинетическими коэффициентами, учитывающими взаимодействие лептонов (электронов и мюонов) в сверхтекучей и сверхпроводящей компонентах с вихрями Абрикосова, что составляет одно из положений выносимых на защиту.

В пятой главе, на основе полученных уравнений релятивистской магнитной гидродинамики сверхтекучих систем, рассмотрены тороидальные колебания вращающихся звезд, так называемые g -моды. Предложен новый вариант теории возмущений для расчетов нормальных и сверхтекучих g -мод, позволивший исследовать их спектры с окнами неустойчивости. Расчеты выполнены для различных уравнений состояния и заданных профилей критических температур.

Модели эволюции магнитного поля в ядре нейтронной звезды очень востребованы при интерпретации наблюдений нейтронных звезд и пульсаров. В главе 6 диссертации получены кинетические коэффициенты учитывающие взаимодействие вихрей и частиц в ядре звезды. Важным результатом автора явилось доказательство наличия крупномасштабных движений вещества в ядре нейтронной звезды при заданной

конфигурации магнитного поля. Средняя скорость движения барионного вещества может существенно превышать диффузионные скорости протонов и нейтронов и является существенным фактором, определяющим ускоренную эволюцию магнитного поля в ядре нейтронной звезды. В частности, в случае магнитара с разрушенной магнитным полем сверхпроводимостью, характерное время эволюции поля будет порядка нескольких тысяч лет. В случае нейтронных звезд с меньшими полями и неразрушенной сверхпроводимостью эволюция поля определяется скоростями вихрей Абрикосова и их взаимодействием с веществом. Характерное время эволюции в этом случае порядка нескольких десятков миллионов лет.

Интересные результаты получены автором диссертации в исследовании процессов в коре нейтронной звезды полностью сформированной аккрецией вещества. Выполнены расчеты уравнения состояния аккрецированной коры со сложным составом в моделях сжимаемой жидкой капли. Расчеты энерговыделения плоскопараллельном слое аккрецированной коры, и механизм нагрева миллисекундных пульсаров с аккрецированной корой в двойных системах.

Результаты диссертации М.Е. Гусакова являются актуальными. Создана надежная теоретическая основа для корректного описания широкого круга явлений и процессов, протекающих в ядре и коре нейтронных звезд, и определяющих разнообразные наблюдательные проявления этих звезд. В частности, к ним относятся: тепловая, магнито-вращательная и композиционная эволюция одиночных и аккрецирующих нейтронных звезд, неустойчивости и собственные колебания звезд, генерация гравитационных волн при слиянии нейтронных звезд в двойных системах. Построенные теоретические схемы включают эффекты общей теории относительности, сверхтекучести и сверхпроводимости, и богатую кинетику вещества звезд; проведены оригинальные расчеты многих кинетических коэффициентов. Теоретические схемы использованы в оригинальных расчетах для получения целого набора конкретных результатов, а также важны для других астрофизиков.

Достоверность и надёжность результатов диссертационной работы подтверждаются использованием адекватных методов теоретической физики, а также согласованностью полученных данных с результатами других научных групп. Результаты диссертации прошли проверку на многочисленных международных и всероссийских конференциях и были опубликованы в 50 статьях в авторитетных международных журналах.

В качестве замечаний и пожеланий можно выделить следующие:

(1) В главе 6 рассмотрен новый самосогласованный подход к эволюции магнитного поля в ядре нейтронной звезды и получен неожиданный результат: в ядре звезды должны существовать гидродинамические течения вещества. Это представляется важным для теории магнитных полей нейтронных звезд, но общая проблема магнитных полей в звезде и их наблюдательных проявлений остается открытой, поскольку в главе 6 не затрагивается магнитное поле в коре звезды. Было бы важно продолжить исследование и решить задачу в целом. Иначе некоторые исследователи могут считать самосогласованный подход лишь гипотезой (см. например, D. Skiathas, K. Gourgouliatos, MNRAS, 2024, 528, 5178), хотя с этим трудно согласиться.

(2) Отличительная особенность работы соискателя – создание теоретических схем и проведение расчетов из первых принципов. Это привлекательно и повышает надежность результатов. Однако такие расчеты требуют знания большого числа величин, совсем не все из которых известны точно. В этих условиях хотелось бы порекомендовать соискателю чаще использовать упрощенные модели, которые и не столь надежны, но позволяют быстрее исследовать нужное явление. Результаты можно было бы уточнить на следующем этапе. В частности, возможно, это позволило ускорить изучение магнитного поля во всей нейтронной звезде.

(3) Одно из положений, выносимых на защиту (стр. 44), «Предсказание и обнаружение в расчетах тепловых и композиционных g -мод в спектре колебаний сверхтекучих НЗ» можно было бы сформулировать более четко: «Теоретическое предсказание и расчет тепловых и композиционных g -мод в спектре колебаний сверхтекучих нейтронных звезд».

Следует подчеркнуть, что вышеперечисленные недостатки не имеют принципиального характера и не снижают высокой общей оценки результатов автора диссертации.

Диссертация представляет собой законченное оригинальное научное исследование, вносящее существенный вклад в решение важной проблемы исследования внутренней структуры нейтронных звезд.

Результаты, полученные в диссертационной работе Гусакова М.Е., могут быть использованы в научных учреждениях, в которых ведутся работы по астрофизике высоких энергий: ИКИ РАН, ФТИ им. Иоффе РАН, ФИАН им П.Н.Лебедева, ИЗМИРАН, МГУ им. М.В.Ломоносова, АКЦ ФИАН, СПбГУ и др. Основное содержание диссертации опубликовано в ведущих отечественных и зарубежных журналах и широко цитируется в научных изданиях.

Диссертация Гусакова Михаила Евгеньевича на тему: «Динамические процессы в нейтронных звёздах» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Гусаков Михаил Евгеньевич заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не обнаружены.

Член диссертационного совета
д.ф.-м.н., профессор, член-корр. РАН,
руководитель отделения физики плазмы, атомной физики
и астрофизики ФГБУН ФТИ им. А.Ф.Иоффе

Быков А.М.

29 марта 2024

