

ОТЗЫВ

председателя диссертационного совета Нагирнера Дмитрия Исидоровича

о диссертации в виде научного доклада Михаила Евгеньевича Гусакова

"Динамические процессы в нейтронных звездах",

представленном на соискание ученой степени доктора физико-математических наук

по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия

Всем известно, как бурный технологический прогресс, происходящий в последние десятилетия, влияет на все стороны жизни человечества, в частности, на науку. Стали возможны высокоточные по энергетическому и пространственному разрешению наблюдения излучения, в том числе поляризационные, во всем диапазоне спектра. Успешно наблюдаются нейтрино. Удалось зарегистрировать гравитационные волны. Все это требует построения соответствующей теории, то есть составления наиболее общих уравнений с коэффициентами, учитывающими все важные процессы. А развитие вычислительной техники дает возможность эти уравнения решать.

Среди астрофизических объектов особое место занимают нейтронные звезды (НЗ), характеризующиеся недоступными в лабораторных условиях составом и состоянием вещества и излучения, их плотности, величине магнитного поля. Эти условия вызвали создание новых разделов физики, в частности, в статистической теории, в квантовой электродинамике, кинетике и гидродинамике. Развитию последней с использованием остальных разделов, в основном, посвящена рассматриваемая диссертация.

Во Введении приведены краткая постановка задач, положение науки о НЗ и обычные характеристики работы.

Основным содержанием диссертации является последовательный вывод релятивистских гидродинамических уравнений, которые должны описывать течение вещества в разных областях НЗ, и их применение к исследованию динамических процессов в этих областях. Вещество предполагается состоящим из протонов, нейтронов и электронов с примесью мюонов. В некоторых частях учитывается также наличие гиперонов (см. ниже). Нуклоны могут быть сверхтекучими, протоны сверхпроводящими. Изучены разнообразные эффекты, появляющиеся или модифицирующиеся в связи с уточнением уравнений.

Во втором разделе доклада записываются выражения для плотностей потоков массы протонной и нейтронной компонент линейные по их скоростям. Коэффициентами являются плотности, причем скорости сверхтекучих компонент входят с четырьмя элементами матрицы плотностей. Выполняются законы сохранения числа частиц и энергии-импульса, а также обычные законы термодинамики, условие квазинейтральности вещества и релятивистские соотношения. В выражение тензора энергии-импульса помимо обычных величин входят скорости сверхтекучих компонент с коэффициентами, образующими релятивистскую матрицу их плотностей. Компоненты указанной матрицы вычислялись сначала для нулевой, затем для произвольной температуры, отмечаются их свойства. Выясняется роль механизмов диссипации: объемной вязкости и диффузии. Теория обобщена на случай возможного образования гиперонов, в частности, исследовано их влияние на затухание звуковых волн.

В третьем разделе изучаются колебания НЗ как целого в той же постановке, определены спектр и декременты затухания различных мод колебаний, оценены роли температуры и диффузии.

Следующее обобщение уравнений принимает во внимание вращение НЗ и наличие в них сильных магнитных полей. В нескольких работах последовательно учитываются все возможные эффекты, так что, как сказано, "составлены уравнения релятивистской МГД сверхтекучих и

сверхпроводящих смесей, учитывающие наличие вихрей при конечных температурах, а также эффекты диффузии частиц различных сортов относительно друг друга".

В пятом разделе обсуждается проблема подавления неустойчивости r -мод колебаний НЗ и оценивается роль различных механизмов воздействия на нее. Предложен новый сценарий такого подавления. Его применение позволило предсказать существование нового типа НЗ. В шестом разделе показано, что в ядрах НЗ возможна ускоренная эволюция магнитного поля, на которую воздействует движение вещества как целого со скоростями, превосходящими относительные скорости компонент.

Особое внимание обращается на физику коры НЗ. Обсуждаются проблемы вывода уравнения состояния вещества. Исследуется влияние на его вид диффузии нейтронов относительно ядер. Обсуждается также энерговыделение в коре.

Наконец, в последнем разделе текста производится уточнение различных эффектов и процессов в НЗ в общей постановке, например, динамики НЗ, колебаний и кинетики их компонент. Предлагается новый механизм нагрева миллисекундных пульсаров.

Подводя итог, отметим, что в докладе описано содержание 50 статей, опубликованных в период 2004–2021 годов, почти все в Physical Review и Monthly Notices, из которых в половине М.Е. Гусаков является первым автором. Только в пяти число авторов равно четырем, в 19 - трем, в 22 - двум и в 4 автор один М.Е. Гусаков. Ясно, что такое число статей не могло поместиться в объем обычной диссертации, можно было бы написать книгу, поэтому форма доклада оправдана. Разнообразие тематики теории НЗ и общность подхода к формулировке ее утверждений производят большое впечатление. Перечисленные 10 выносимых на защиту положений являются конкретными достижениями диссертанта. Несомненно работы М.Е. Гусакова вносят существенный вклад вообще в теорию НЗ и интерпретацию их наблюдений. Кажется очевидным, что диссертация могла быть защищена лет 10 тому назад.

Отметим некоторые редакционные недочеты текста. Из-за представления диссертации в виде доклада не приведены сами уравнения, не говорится, как вычислялись величины, в частности, приведенные на рисунках. Не всем используемым величинам даны определения, например, не определена "универсальная функция температуры" $\Phi_i(T)$, появляющаяся в (11). В четвертом абзаце Введения к нуклонам отнесены электроны и мюоны. В пятом использовано выражение "микроскопические расчеты". В ii) пропущена запятая после "уравнения", да и уравнения не "зависят от коэффициентов", а содержат их (или они входят в уравнения). В последнем абзаце упомянут "эффект перераспределения свободных нейтронов" — не сказано, по какому параметру или свойству. В первой строчке абзаца перед (22) пропущена запятая перед "если". Во фразе после рис. 4. применено странное выражение "слабая связь уравнений". Эти замечания не являются существенными и не изменяют высокой оценки всей работы и представленного текста.

Диссертация Гусакова Михаила Евгеньевича на тему: «Динамические процессы в нейтронных звездах» 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.

Председатель диссертационного совета

доктор физико-математических наук, профессор по кафедре астрофизики,

профессор кафедры астрофизики СПбГУ

28 марта 2024 года

Д.И. Нагирнер

Д.И. Нагирнер



2



28.03.2024