

ОТЗЫВ на автореферат
диссертации Краава Кирилла Юрьевича
«Свойства релятивистских g -мод и влияние
диффузии на динамику нейтронных звезд»,
представленной на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 1.3.1. — «Физика космоса, астрономия»

Диссертационная работа представляет собой вклад в развитие теории колебаний нейтронных звезд (НЗ). Всестороннее развитие этой теории необходимо для надежной интерпретации все возрастающего массива наблюдений НЗ с точки зрения фундаментальной физики сверхплотного вырожденного вещества. Основные усилия автор сосредоточил на приближенном методе моделирования важного класса колебаний медленно вращающихся НЗ - так называемых g -мод, являющихся аналогами волн Россби в атмосферах вращающихся планет. Важность быстрого и корректного моделирования таких мод колебаний НЗ, обладающих в бездиссипативной среде отрицательной энергией, диктуется их выраженной излучательной неустойчивостью - иначе говоря, способностью быстро расти за счет излучения гравитационных волн. При этом, с момента обнаружения этого замечательного свойства релятивистских g -мод Андерссоном (1998) возникло рассогласование между теоретическим предсказанием соответствующего быстрого торможения НЗ и наблюдениями быстро-вращающихся НЗ в составе долгоживущих маломассивных тесных двойных систем. Актуальность темы диссертационной работы связана с необходимостью разрешения указанной весомой проблемы. Наконец, разработанный и примененный автором асимптотический метод моделирования g -мод НЗ с учетом эффектов ОТО сам по себе является достижением, поскольку облегчает расчет спектра и профилей g -мод в приложении к моделям НЗ любой степени детализации. Он позволил автору разрешить давнюю проблему непрерывного спектра релятивистских g -мод, а также провести корректный перерасчет их диссипации за счет объемной вязкости и диффузии частиц разного сорта в химически неоднородной среде, используя при этом реалистичную модель вещества с протонной сверхпроводимостью и нейтронной сверхтекучестью. Нет сомнений, что этот метод в перспективе дополнит численные модели колебаний НЗ, а главное, повысит надежность анализа динамики вращающихся релятивистских НЗ.

Автореферат написан в хорошем стиле, четкость изложения позволяет легко ухватить общий смысл работы, а при необходимости разобраться в ее деталях. Ссылки на другие исследования, результаты которых используются в работе, сделаны по месту. По месту даны и самые необходимые математические выражения. В тексте отражена актуальность темы исследования, сформулированы ее цели и задачи, подробно обсуждается ее научная новизна.

Сформулированы 4 положения, выносимые на защиту. Затем дано адекватное и последовательное описание содержания диссертационной работы, состоящей из Введения, 4 глав и Заключения. Результаты моделирования проиллюстрированы 4 полезными рисунками, которые проанализированы в тексте автореферата. Проведена серьезная апробация работы: ее результаты опубликованы в 6 статьях, 4 из которых вышли в астрофизических журналах категории Q1. Автор сделал 15 докладов на ряде российских и зарубежных конференций и семинаров. Работа производит хорошее впечатление, тем не менее, стоит отметить и несколько замечаний.

1) В описании Главы 3 автор ссылается на примеры численных расчетов γ -мод, выполненных без предположения о медленном вращении НЗ. Проверилось ли соответствие оригинальных полуаналитических решений, полученных автором, этим, либо аналогичным численным расчетам?

2) Возможен ли расчет методом автора более общих низкочастотных мод колебаний вращающихся НЗ, которые во вращающихся звездах обычно именуется инерционными модами? Можно ли оценить актуальность такого расчета для физики НЗ?

3) Автор ограничивается решением линейной задачи о колебаниях НЗ. В то же время, существуют работы, где анализируется резонансное взаимодействие γ -мод, например, с (другими) инерционными модами (Phil Arras et al. 2003) с учетом их конечных амплитуд, в результате чего энергия передается последним. Амплитуда насыщения γ -мод при этом достаточно мала. Было бы полезно проанализировать, как это может сочетаться с линейными механизмами диссипации γ -мод, рассмотренными в диссертационной работе.

4) В заглавии диссертационной работы стоило указать, какая именно диффузия в ней исследуется.

5) В конце раздела об актуальности темы диссертации последние три предложения относятся скорее уже к обоснованию новизны работы и описанию ее результатов.

6) Там же можно прочесть: "существенная часть работы сосредоточена на изучении γ -мод... для которых основной возвращающей силой служит сила Кориолиса". Означает ли это, что есть некие второстепенные возвращающие силы, без которых γ -моды не существуют?

7) В описании раздела 2.1 утверждается, что "электроны сцеплены с нейтронами и протонами электромагнитным взаимодействием". Не вполне понятно, каким именно образом электроны взаимодействуют с электро нейтральными частицами.

Перечисленные замечания никак не умаляют ценности проделанной автором внушительной работы. Выносимые на защиту результаты представляются новыми и достоверными. Полагаю, что диссертационная работа «Свойства релятивистских γ -мод и влияние диффузии на динамику нейтронных звезд» отвечает всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, а соискатель Краав Кирилл Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1. — «Физика космоса, астрономия».

Старший научный сотрудник
Государственного астрономического института им. П.К. Штернберга
Московского Государственного университета им. М.В. Ломоносова
к.ф.-м.н. Журавлев Вячеслав Вячеславович
e-mail: zhuravlev@sai.msu.ru

В.И. Краав

22 мая 2026 г.

Директор ГАИШ



В.И. Краав