

Конкурс научных работ ИКИ РАН 2025

1. Авторы

Корольков С.Д., младший научный сотрудник
Измоденов В.В.

2. Название цикла работ

Self-oscillations of the two-jet collimated astrosphere: new type of instability

Автоколебания двухструйной коллимированной астросферы: новый тип неустойчивости

3. Ссылки на публикацию

- 1) 2025//S. D. Korolkov, V V Izmodenov//Self-oscillations of the two-jet collimated astrosphere: new type of instability//Publications of the Astronomical Society of Australia (Q1)//DOI: <http://dx.doi.org/10.1017/pasa.2025.10073>
- 2) 2024// S. D. Korolkov, V V Izmodenov// Unstable gas flow in a flat channel under the influence of a transverse force field: self-oscillations of the jet// *Fluid Dynamics* (Q3)//DOI: <http://dx.doi.org/10.1134/S0015462824605199>

4. Общая формулировка научной проблемы и её актуальность

Астросфера — область пространства, заполненная звёздным ветром и ограниченная астропаузой — тангенциальным разрывом, отделяющим плазму звёздного ветра от межзвёздной среды. Классические модели астросфер (Baranov et al. 1970, [Baranov & Malama 1993](#); [Malama et al. 2006](#); [Izmodenov & Alexashov 2015](#); [Izmodenov & Alexashov 2020](#)), изначально разработанные для солнечного ветра предсказывали параболоидную форму астропаузы. Однако последние исследования ([Opher et al. 2015](#); [Golikov et al. 2017](#); [Korolkov & Izmodenov 2021](#)) показывают, что у звёзд с сильными магнитными полями, астропауза может иметь коллимированную двухструйную, трубкообразную форму. Причиной этого является азимутальное магнитное поле, которое удерживает плазму, формируя протяжённые джеты вдоль оси вращения звезды. Вопрос устойчивости таких двухструйных астросфер остаётся открытым и крайне актуальным. Более того, этот вопрос относится и к солнечному ветру, так как форма гелиопаузы (астропаузы солнечного ветра) является до сих пор неизвестной. Предыдущие исследования ([Opher et al. 2021](#); [Ma et al. 2024](#)) связывали возможную неустойчивость в астросферных джетах с влиянием атомов нейтрального водорода, вызывающих, например, неустойчивость Рэля — Тейлора или Кельвина — Гельмгольца. Однако оставалось неясным, является ли сама магнитогидродинамическая (МГД) структура джета устойчивой в принципе. Этот вопрос и изучался в данных работах. Исследование этой проблемы критически важно для понимания эволюции астросфер, смешивания звёздного ветра с межзвёздной средой, генерации турбулентности и корректной интерпретации астрономических наблюдений.

5. Конкретная решаемая в работе задача и её значение

Основная задача данной работы — исследовать устойчивость двухструйной коллимированной астросферы, создаваемой азимутальным магнитным полем звезды, в отсутствие каких-либо дополнительных факторов, таких как нейтральные атомы водорода. Работа ставит перед собой цель (1) проверить гипотезу о том, что даже в рамках «чистой» идеальной МГД такая система может быть подвержена глобальной неустойчивости, и (2) изучить природу этой неустойчивости.

Конкретные цели включали:

Выяснить, при каких параметрах (величина магнитного поля, скорость звёздного ветра) возникает неустойчивость; идентифицировать тип неустойчивости и описать механизм её возникновения, включая механизм обратной связи, приводящий к незатухающим автоколебаниям астросферного джета; определить период автоколебаний и его зависимость от параметров системы; исследовать, сохраняется ли неустойчивость при учёте движения звезды относительно межзвёздной среды.

Решение этих задач имеет большое значение, так как оно выявляет ранее неизвестный фундаментальный тип неустойчивости плазменных струй в астроферах, который может играть ключевую роль в их динамике, продуцируя крупномасштабную турбулентность.

6. Используемый подход, его новизна и оригинальность

Для решения поставленной задачи был применён комплексный подход, сочетающий полномасштабное трёхмерное МГД-моделирование (*статья 1*) и построение упрощённой двумерной газодинамической “игрушечной” модели (*статья 2*) для верификации основного физического механизма образования неустойчивости и отсекающих МГД-эффектов. Все модели были специально разработаны для данной задачи.

Оригинальность работы заключается в том, что была предложена и успешно применена простая газодинамическая аналогия для объяснения сложного астрофизического явления.

7. Полученные результаты и их значимость

Обнаружен новый тип неустойчивости: Показано, что астросферные джеты звёзд с сильным магнитным полем (с альфвеновским числом Маха звёздного ветра ≤ 4 , что примерно соответствует полю в 3-4 раза сильнее солнечного) являются глобально неустойчивыми даже в рамках идеальной МГД.

Выявлен механизм автоколебаний: Неустойчивость приводит к поперечным отклонениям джета от своей оси (оси вращений звезды). Магнитное поле (в первую очередь, магнитное натяжение) действует как возвращающая сила, создавая механизм обратной связи. Это приводит к возникновению незатухающих поперечных колебаний всего джета — автоколебаний.

Определены характеристики неустойчивости: Для условий, близких к гелиосферным, период автоколебаний составляет порядка 26 лет. Установлено, что период обратно пропорционален отношению скорости звёздного ветра к скорости звука в межзвёздной среде и уменьшается с ростом магнитного поля звезды.

Установлена область существования неустойчивости: Неустойчивость и автоколебания существуют до тех пор, пока астропауза сохраняет трубкообразную форму. При достаточной скорости движения межзвёздной среды, когда астропауза коллапсирует в классическую параболоидальную форму, автоколебания прекращаются.

Верификация механизма на упрощённой модели: С помощью газодинамической модели подтверждено, что ключевым фактором неустойчивости является образование области повышенного давления на оси джета, что создаёт градиент давления, препятствующий течению и приводящий к его неустойчивости (аналогичную работу выполняет сила тяжести в эксперименте об автоколебаниях затопленной струи фонтана).

Значимость результатов состоит в открытии нового типа неустойчивости астрофизических джетов, который необходимо учитывать при построении моделей астросфер\гелиосферы и интерпретации наблюдательных данных. Результаты представляют интерес не только для астрофизики, но и для физики плазмы.