

# Конкурс научных работ ИКИ РАН 2023

## Аннотация

- 1. Авторы:** Измоденов В.В., Alexashov, D.B.
- 2. Название:** The strong effect of electron thermal conduction on the global structure of the heliosphere
- 3. Ссылки на публикацию:** Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 521, Issue 3, pp.4085-4090 (May 2023)  
DOI: [10.1093/mnras/stad741](https://doi.org/10.1093/mnras/stad741)
- 4. Общая формулировка научной проблемы и её актуальность:**

Более 10 лет (начиная с 2012 года, когда Вояджер -1 пересек гелиопаузу) одной из основных нерешенных задач физики внешней гелиосферы является проблема толщины гелиосферного ударного слоя – области между гелиосферной ударной волной и гелиопаузой. Толщина ударного слоя в направлении Вояджера-1 составила порядка ~30 а.е., когда во всех основных моделях глобальной структуры гелиосферы эта толщина получалась порядка 50-70 а.е. Первые объяснения разницы между теорией и экспериментом были связаны с нестационарными процессами (солнечным циклом, неустойчивостями). Однако нестационарное моделирование, а также и новые данные, полученные на Вояджерах, показали, что нестационарные эффекты не могут объяснить столь значительные расхождения в толщине ударного слоя. Стало понятно, что нужно искать физический процесс, который привел бы к уменьшению толщины ударного слоя. В работе Izmodenov et al. (2014) было предложено, что уменьшение толщины ударного слоя связано с эффектом электронной теплопроводности, которая позволяет уносить тепловую энергию из лобовой части в хвостовую область гелиосферы вдоль магнитных силовых линий. В работе 2014 года эффект был продемонстрирован в рамках простой «игрушечной» модели изотермического газа. Важность учета электронной теплопроводности была принята гелиосферным сообществом, но задача ждала своего решения чуть менее 10 лет. Сложность задачи связана с различием (на много порядков величины) характерного времени теплопроводности и других характерных времен задач.

- 5. Конкретная решаемая в работе задача и её значение:**

В работе представлены первые результаты, полученные в рамках трехмерной кинетико-магнитогидродинамической модели глобальной гелиосферы с учетом эффектов теплопроводности. В работе рассматривалась анизотропная теплопроводность в которой преобладают тепловые потоки вдоль силовых линий магнитного поля. Так как параметры плазмы (солнечного ветра и межзвездной среды) значительно меняются в различных областях гелиосферы, то модель позволяет использовать как классические и насыщенные тепловые потоки.

- 6. Используемый подход, его новизна и оригинальность:**

Представленная численная модель является уникальной, так как включает в себя самосогласованное решение уравнений магнитной гидродинамики с кинетическим уравнением для атомов водорода и уравнением притока тепла с учетом анизотропной теплопроводности. Новизна используемых численных методов состоит с использованием метода Яненко расщепления по физическим процессам, а также неявного метода решения уравнения теплопроводности, записанного вдоль силовых линий магнитного поля.

## **7. Полученные результаты и их значимость:**

Представленные результаты подтверждают предварительные оценки о влиянии теплопроводности на течение плазмы во внутреннем гелиосферном слое. Показано, что теплопроводность существенно изменяет формы гелиопаузы и гелиосферной ударной волны. Толщина гелиосферного ударного слоя значительно (в два раза на полюсах) уменьшается. Это желаемый эффект (и главный результат работы!), поскольку он помогает согласовать толщину, полученную в модели, с данными Вояджеров.

В рамках модели получены также два дополнительных (и не ожидаемых заранее) результата: 1) сильное понижение температуры плазмы гелиослоя в направлении гелиопаузы. Понижение настолько сильно, что температура солнечного ветра в окрестности гелиопаузы становится ниже межзвездной. Мы объясняем это уменьшение комбинированным воздействием теплопроводности и магнитного поля; 2) повышение температуры электронов в сверхзвуковом солнечном ветре перед гелиосферной ударной волной. Это повышение связано с теплопередачей из внутреннего ударного слоя. Последний результат является «предсказанием на будущее», так как экспериментальных данных по измерениям температуры электронов во внешней гелиосфере нет. Вместе с тем этот результат позволяет четко определить дальнейший путь развития глобальной модели гелиосферы – учет многокомпонентности солнечного ветра, а также процессов, связанных с диссипацией магнитного поля в окрестности гелиопаузы.