

## Заявка на участие в конкурсе научных работ ИКИ РАН

**1. Автор:** Годенко Егор Алексеевич, м.н.с. лаборатории 534 отдела 53

**2. Название:** Цикл работ “Особенности распределения межзвездной пыли в гелиосфере”

**3. Ссылки на публикации:**

- 1) **Godenko E.A.**, Izmodenov V.V., “The unexpected role of heliospheric boundaries in facilitating interstellar dust penetration at 1-5 AU”, *Astronomy & Astrophysics Letters*, vol. 687, L4 , 2024, doi: 10.1051/0004-6361/202450257
- 2) **Godenko E.A.**, Izmodenov V.V., “Peculiarities of the interstellar dust distribution in the heliosphere induced by the time-dependent magnetic field”, *Fluid Dynamics*, vol. 59, p. 521-532, 2024, doi: 10.1134/S0015462824602298
- 3) **Godenko E.A.**, Izmodenov V.V., “Dynamical charging of interstellar dust particles in the heliosphere”, *Advances in Space Research*, vol. 72, p. 5142-5158, 2023, doi: 10.1016/j.asr.2023.09.016
- 4) **Годенко Е.А.**, Измоденов В.В., “Сравнение Эйлера и Лагранжева подходов для нахождения особенностей распределения межзвездной пыли в гелиосфере в рамках модели холодного газа”, *Известия РАН. Механика жидкости и газа*, №2, с. 1-13, 2023, doi: 10.31857/S0568528122600783

**4. Общая формулировка научной проблемы и ее актуальность:**

Из-за относительного движения Солнца и Локальной межзвездной среды (ЛМС) межзвездные пылевые частицы проникают в гелиосферу. В гелиосфере на пылинки действуют три основные силы: гравитационное притяжение к Солнцу, радиационное давление солнечных фотонов и электромагнитная сила. В результате действия этих сил распределение пыли внутри гелиосферы (в том числе и на расстояниях 1-5 а.е.) становится существенно неоднородным и, в частности, возникают особенности (сингулярности). Основная цель данного цикла работ – определение положения и временной эволюции этих особенностей. Для этого строится детальная модель проникновения пылевых частиц внутрь гелиосферы через область взаимодействия солнечного ветра с межзвездной средой. Построение такой модели необходимо для корректного анализа имеющихся прямых измерений межзвездной пыли (космические аппараты (КА) Ulysses, Cassini), а также для составления научных программ исследований будущих миссий (КА Interstellar Probe, Interstellar Express). Информация, полученная на основе прямых измерений пыли (величины потоков, распределение пылинок по размерам, химический состав), представляет собой большую ценность, поскольку космическая пыль играет существенную роль во множестве физических процессов, происходящих в межзвездном пространстве, таких как: 1) перенос вещества в межзвездной среде, 2) образование сложных (в том числе органических) молекул, 3) формирование протопланетных дисков, 4) рассеивание и поглощение электромагнитного излучения.

## 5. Конкретная решаемая в работе задача и ее значение

В цикле работ проводится исследование влияния различных эффектов на особенности распределения межзвездной пыли в гелиосфере. В частности, с помощью специально разработанной кинетической модели было впервые проведено исследование влияния границ гелиосферы на распределение пылевых частиц в окрестности Солнца (на расстояниях 1-5 а.е.). Данное исследование представляет собой большую ценность, поскольку в работе Sterken et al. (2015), посвященной анализу данных по межзвездной пыли на КА Ulysses, было высказано предположение о том, что именно учет в моделях эффектов границ гелиосферы поможет ответить на вопросы, оставшиеся открытыми после их анализа. Помимо этого, также были впервые проведены исследования чувствительности потоков пыли в окрестности Солнца к изменению параметров локальной межзвездной среды.

В цикле также были рассмотрены эффекты, возникающие во внутренней гелиосфере, и исследованы особенности распределения пыли, которые появляются на каустиках – огибающих траекторий пылевых частиц. Положение и временная эволюция каустик в дальнейшем могут быть использованы в качестве ориентиров при планировании будущих миссий по исследованию межзвездной пыли.

## 6. Используемый подход, его новизна и оригинальность

Разработанная в цикле работ кинетическая модель распределения пыли, в которой впервые *одновременно* учитываются эффекты гелиосферного ударного слоя и нестационарность гелиосферного магнитного поля, является уникальной. Только с помощью такого типа моделей можно проводить корректный анализ экспериментальных данных. Лагранжева модель распределения пыли также не имеет аналогов в гелиосферном научном сообществе. Совместное использование кинетической и лагранжевой моделей распределения пыли позволяет достаточно эффективно разрешать особенности.

## 7. Полученные результаты и их значимость

Результаты, полученные в данном цикле работ, можно резюмировать следующим образом:

- 1) Обнаружен неожиданный эффект: гелиосферный ударный слой способствует проникновению мелких пылинок (радиус 150-250 нм) в определенные области на малые гелиоцентрические расстояния (ранее всегда интуитивно полагалось, что гелиосферный ударный слой препятствует проникновению мелкой пыли, являясь своеобразным фильтром для нее). Проникновение частиц возникает за счет отклонения их скорости от первоначального направления под действием магнитного поля во внешнем гелиосферном ударном слое. При этом на крупные пылинки (радиус > 500 нм) влияние гелиосферного ударного слоя минимально. Они проходят через границы гелиосферы практически беспрепятственно.
- 2) Доказано, что потоки пыли вдоль траектории КА Ulysses чувствительны к

параметрам плазмы в ЛМС и, в частности, к направлению межзвездного магнитного поля, что открывает новый путь для удаленной диагностики физических процессов, происходящих на границе гелиосферы.

- 3) Впервые обнаружены каустики (оггибающие) траекторий межзвездных пылевых частиц в окрестности плоскости солнечного экватора. С помощью лагранжевой модели показано, что концентрация пыли при приближении к каустикам стремится к бесконечности. Показано, что каустики формируются в различные моменты времени в зависимости от того, насколько далеко от Солнца пылинки проходят через фазы фокусировки и дефокусировки гелиосферного магнитного поля.
- 4) Получены оценки на время релаксации заряда пылевых частиц разных размеров при пересечении гелиопаузы. Доказано, что для достаточно крупных пылинок (радиус  $> 100$  нм) предположение о равновесности заряда пыли работает корректно. При этом для моделирования траекторий мелких частиц (радиус  $< 10$  нм) следует использовать более точное динамическое вычисление заряда.