

Конкурс научных работ ИКИ РАН 2023

Аннотация

- 1. Авторы:** Корольков С.Д., Измоденов В.В.
- 2. Название:** Shock-wave heating mechanism of the distant solar wind: Explanation of Voyager-2 data
- 3. Ссылки на публикацию:** Astronomy and Astrophysics (letters), 667, 2022 (ноябрь)
DOI: [10.1051/0004-6361/202244523](https://doi.org/10.1051/0004-6361/202244523)
- 4. Общая формулировка научной проблемы и её актуальность:**

Измерения параметров плазмы на космическом аппарате Вояджер-2 показывают аномально высокие значения температуры на больших гелиоцентрических расстояниях. Вместо того, чтобы уменьшаться с увеличением гелиоцентрического расстояния по адиабатическому закону, температура плазмы медленно убывает до 25 а.е., а затем начинает возрастать.

Современные объяснения такого поведения температуры основаны на моделях с учетом диссипации турбулентной энергии. Турбулентная энергия изначально присутствует в солнечном ветре, но начальная энергия по различным оценкам быстро диссипирует, что приводит к необходимости учитывать возможные физические процессы генерации турбулентной энергии как в ближнем, так и дальнем ветре. Все такие процессы связаны с различного рода неустойчивостями. В настоящее время полагается, что во внешней гелиосфере существенными являются три источника турбулентных флуктуаций: сдвиговые течения, течения сжатия, а также источники, связанные захваченными протонами.
- 5. Конкретная решаемая в работе задача и её значение:**

В работе предложена простая газодинамическая модель гиперзвукового солнечного ветра (на основе данных OMNI на 1 а.е.) качественно воспроизводящая температуру протонов до 80 а.е. Основным механизмом нагрева солнечного ветра заключается в эффективном нагреве протонов на ударных волнах/ударных слоях (слои, ограниченные двумя ударными волнами с двух сторон), постоянно возникающих в солнечной короне или в ближнем ветре. Простая газодинамическая модель также была расширена до двух-жидкостной для учёта резонансной перезарядки (и магнитных полей), чтобы воспроизвести не только нагрев, но и торможение протонов в дальнем ветре.
- 6. Используемый подход, его новизна и оригинальность:**

Для объяснения данных Вояджера-2 мы предлагаем новый подход. В отличие от предыдущих моделей мы основываемся не на осредненных по времени уравнениях газовой динамики с источниками энергии из-за диссипации турбулентных флуктуаций, а напрямую моделируем нестационарное течение солнечного ветра с максимально возможным временным и пространственным разрешением. Такой подход, в отличие от предыдущих моделей, не содержит никаких свободных параметров, что является неоспоримым преимуществом, так как в других моделях большинство параметров не вычисляются согласно какой-либо теории, а подбирается эмпирически (например, для воспроизведения необходимого нагрева солнечного ветра в модели).
- 7. Полученные результаты и их значимость:**

В работе показано, что нагрев ударными волнами является основным и **достаточным** источником нагрева для объяснения неадиабатического профиля температуры вплоть до 50 а.е. Используя терминологию западных моделей, этот нагрев является источником, возникающим от «сжатия» потока; при этом этот источник ранее не считался доминирующим и носил второстепенный характер. На больших гелиоцентрических расстояниях (более 50 а.е.) необходимо учитывать также нагрев протонов в результате резонансной перезарядки на нейтральных атомах водорода, но, в работе отмечено, что влияние этого источника в 5 раз меньше, чем предполагалось ранее.