1. Авторы

Титова А.В., Измоденов В.В., Корольков С.Д.

2. Название

On the minimum of line width of the backscattered solar Ly-α profile measured by SOHO/SWAN (О минимуме ширины линии рассеянного солнечного Ly-α излучения, измеренной SOHO/SWAN)

3. Ссылки на публикацию

Titova A., Izmodenov V., Korolkov S. On the minimum of line width of the backscattered solar Ly-α profile measured by SOHO/SWAN // Advances in Space Research. 2026. (DOI: https://doi.org/10.1016/j.asr.2026.04.063)

4. Общая формулировка научной проблемы и её актуальность

Межзвёздные атомы водорода проникают в гелиосферу через область взаимодействия солнечного ветра с локальной межзвёздной средой. Эти атомы рассеивают солнечное Ly-α излучение, и спектр рассеянного излучения зависит от распределения атомов по скоростям. Поэтому наблюдения рассеянного Ly-α излучения позволяют судить о структуре гелиосферного ударного слоя. Прямые измерения межзвёздных атомов водорода затруднены из-за их низкой энергии, так что рассеянное Ly-α излучение остаётся одним из главных инструментов для их изучения.

По данным водородной кюветы SWAN/SOHO (Quemerais et al., 1999, 2006) были восстановлены профили линии Ly-α. Оказалось, что ширина линии (температура вдоль луча зрения) зависит от угла к направлению набегающего межзвёздного потока (upwind) и имеет минимум при 50°-60°. Этот минимум сначала считали доказательством существования вторичной популяции атомов, которая образуется при перезарядке в возмущённой межзвёздной среде за гелиопаузой. Однако двухкомпонентная кинетическая модель Katushkina and Izmodenov (2011) этот минимум не воспроизвела. Причиной назвали анизотропию кинетических температур.

Таким образом, вокруг природы наблюдаемого минимума долгое время существовало противоречие между наблюдениями и моделью. Понимание этой природы важно для корректной интерпретации данных SWAN и для использования профилей Ly-α как диагностического инструмента при исследовании гелиосферного ударного слоя.

5. Конкретная решаемая в работе задача и её значение

Задача работы - проверить гипотезу о том, что минимум ширины линии возникает из-за методики восстановления и обработки спектров SWAN, а не отражает напрямую физические свойства атомов. Для этого нужно воспроизвести процедуру обработки на модельных спектрах и сравнить результат с шириной линии, вычисленной по полному спектру.

Решение этой задачи устраняет противоречие между моделью и наблюдениями. Кроме того, оно показывает, при каких условиях теоретические расчёты можно корректно сопоставлять с ширинами линий, полученными из данных SWAN.

6. Используемый подход, его новизна и оригинальность

Расчёты функции распределения атомов водорода по скоростям выполнены в рамках стационарной кинетической модели Katushkina and Izmodenov (2011). Спектры рассеянного Ly-α вычисляются в приближении однократного рассеяния.

Новизна подхода в том, что мы моделируем саму процедуру обработки данных SWAN. Метод водородной кюветы ограничивает диапазон измеряемых лучевых скоростей величиной около ±30 км/с (это связано с орбитальной скоростью Земли). Модельные спектры обрезаются до этого диапазона и аппроксимируются функцией Гаусса. Полученная температура сравнивается с температурой, вычисленной как второй момент полного спектра. Для контроля выполнен расчёт для однокомпонентной («горячей») модели с максвелловским граничным условием.

7. Полученные результаты и их значимость

Показано, что температура, найденная гауссовой аппроксимацией обрезанных спектров, имеет минимум при 50°–60° от upwind-направления, что согласуется с данными SWAN (Quemerais et al., 2006).

Установлен механизм образования минимума. Вблизи upwind- и downwind-направлений ограничение диапазона скоростей сохраняет лишь асимметричную часть профиля, обусловленную наложением первичной и вторичной популяций. Симметричная гауссиана в этом случае завышает температуру. При углах около 60° профиль в наблюдаемом окне близок к симметричному, но гауссиана не учитывает «хвосты» спектра, создаваемые вторичной популяцией, и занижает температуру. Сочетание этих двух эффектов и формирует минимум.

Для однокомпонентной модели с максвелловским распределением на границе такая же обработка минимума не даёт. Значит, минимум возникает только при многокомпонентном распределении атомов. Расчёты по нестационарной модели показали, что нестационарность на его появление не влияет.

Значимость результатов в том, что многолетняя проблема теоретического объяснения минимума решена. Минимум оказывается свойством методики обработки, однако его наличие в данных SWAN остаётся косвенным подтверждением существования вторичной популяции. Результаты задают требование к дальнейшему анализу: модельные спектры должны проходить ту же обработку, что и наблюдательные.