

Номинация: лучшая научная работа Института.

Авторы: Катушкина О.А. (н.с. лаб 534), Измоденов В.В. (зав. лаб. 534), Алексашов Д.Б. (с.н.с. лаб. 534).

Цикл статей под общим названием «Межзвездные атомы водорода в гелиосфере: анализ экспериментальных данных IBEX-Lo, SOHO/SWAN, MESSENGER/MASCS».

Аннотация:

Данный цикл статей посвящен теоретическому анализу данных измерений потоков межзвездных атомов водорода, а также интенсивности рассеянного на атомах солнечного Лайман-альфа излучения в гелиосфере. Анализ проведен на основании результатов кинетической модели распределения межзвездных атомов водорода в гелиосфере, разработанной нами ранее. В модели одновременно учитываются нестационарные эффекты существенные вблизи Солнца, а также асимметрия в распределении атомов вдали от Солнца, связанная с влиянием перезарядки в районе границы гелиосферы.

В работе [1] впервые проведен теоретический анализ потоков межзвездных атомов водорода, полученных прибором IBEX-Lo на космическом аппарате Interstellar Boundary Explorer (IBEX) в 2009 г. Данные IBEX уникальны, поскольку это первые **прямые** измерения потоков межзвездных атомов водорода в гелиосфере (ранее проводились только косвенные измерения рассеянного Лайман-альфа излучения и захваченных протонов). Мы провели численное моделирование потоков, измеряемых IBEX в течение наиболее благоприятного периода весны 2009 г., когда наблюдались максимальные потоки атомов. Анализировались потоки атомов в первых двух энергетических диапазонах прибора (10-21 эВ и 20-41 эВ), которые соответствуют энергиям межзвездных атомов. Было обнаружено качественное различие между результатами модели и данными измерений в соотношении потоков в двух энергетических диапазонах: в данных IBEX потоки в первом диапазоне значительно превышают потоки во втором диапазоне, в то время как модель предсказывает противоположное поведение. Показано, что наиболее существенным параметром модели для анализа данных IBEX является сила солнечного радиационного давления, действующая на атомы вблизи Солнца. Для объяснения данных IBEX в рамках нашей модели необходимо предположить значительно завышенное значение этой силы по сравнению с имеющимися прямыми измерениями потока солнечной радиации. Указанное противоречие может быть связано с неверной калибровкой инструмента IBEX-Lo для низких энергий. Этот результат необходим для дальнейшей обработки данных IBEX и уточнения калибровочных параметров.

Работа [2] посвящена исследованию отклонения средней скорости атомов водорода в гелиосфере от ее первоначального направления в межзвездной среде за счет влияния межзвездного магнитного поля (ММП). Впервые это отклонение ($\sim 4^\circ$) было обнаружено в работе Lallement et al. (Science, 2005) с помощью анализа данных SOHO/SWAN по спектрам рассеянного на атомах солнечного Лайман-альфа излучения. В этой же работе было предложено качественное объяснение такого отклонения, связанное с косвенным влиянием ММП, которое приводит к асимметрии гелиосферы и отклонению межзвездных протонов, которое передается вторичным межзвездным атомам водорода за счет процесса перезарядки. Мы в своей работе провели детальное моделирование рассеянного Лайман-

альфа излучения и данных, получаемых на SOHO/SWAN. В результате показано следующее:

1) Результаты 3D кинетико-МГД модели гелиосферного ударного слоя с величиной ММП 4.4 мГс и углом отклонения от вектора скорости межзвездного ветра в 20° дают хорошее совпадение угла отклонения атомов водорода внутри гелиосферы с данными измерений SOHO/SWAN, что является косвенным способом диагностики конфигурации межзвездного магнитного поля.

2) Угол отклонения атомов, полученный из данных SWAN, зависит не только от конфигурации ММП, но также и от локальных эффектов отклонения атомов вблизи Солнца (за счет действия солнечной гравитации и радиационного давления). Локальные эффекты, меняющиеся в течение цикла солнечной активности, приводят в среднем к отклонению потока атомов на $1-1.5^\circ$.

3) Степень ионизации ЛМС значительно влияет на угол отклонения атомов (за счет большего или меньшего числа перезарядок), а также учет ионов гелия (He^+) приводит к увеличению угла отклонения.

Полученные результаты необходимо учитывать для корректной интерпретации данных SWAN по углу отклонения и использования этих данных для диагностики ММП.

В работе [3] проведен совместный анализ данных по интенсивности рассеянного Лайман-альфа излучения, полученных одновременно (в 2010-2011 гг.) с помощью прибором SWAN и UVVS (на аппаратах SOHO и MESSENGER, соответственно). Использование данных с двух аппаратов впервые позволило исследовать распределение атомов водорода внутри орбиты Земли (т.е. на расстояниях меньше 1 а.е. от Солнца). Сравнение с результатами численного моделирования показало, что это распределение существенно зависит как от локальных эффектов, связанных с Солнцем (сила радиационного отталкивания, а также ионизация), так и от вектора скорости ЛМС относительно Солнца. Показано, что результаты численного моделирования хорошо воспроизводят данные измерений. Это означает, что информация о солнечной активности, заложенная в модели, является достаточно точной.

Литература:

1. **Katushkina O.A., Izmodenov V.V., Alexashov D.B.,** Schwadron N.A., McComas D.J., interstellar hydrogen fluxes measured by IBEX-Lo in 2009: numerical modelling and comparison with the data, *Astrophysical Journal Suppl. Ser.*, 2015, in press
2. **Katushkina O.A., Izmodenov V.V., Alexashov D.B.,** Direction of the interstellar hydrogen flow in the heliosphere: theoretical modelling and comparison with the SOHO/SWAN data, *MNRAS*, V. 446, Is. 3, P.2929-2943, 2015.
3. E.Quemerais, B. McClintock, G. Holsclaw, **O. Katushkina, V. Izmodenov,** Hydrogen Atoms in the Inner Heliosphere: SWAN-SOHO and MASCS-MESSENGER Observations, *J. of Geophys., Res.*, V. 119, Is. 10, P.8017-8029, 2014.