

Заявка на конкурс научных работ ИКИ 2022 г. в номинации «Лучшая научная работа или цикл работ молодого ученого»

1. Автор – Балюкин Игорь Игоревич, м.н.с. лаб. 534 отд. 53

2. Название: Цикл работ «Исследование распределения захваченных протонов в гелиосфере на основе данных прибора IBEX-Hi о потоках энергичных нейтральных атомов»

3. Ссылки на публикации:

Baliukin I. I., Izmodenov V. V., Alexashov D. B. «Heliospheric energetic neutral atoms: Non-stationary modelling and comparison with IBEX-Hi data» (2020) // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (Q1 WoS), 499(1), 441-454, DOI: 10.1093/mnras/staa2862

Baliukin I. I., Izmodenov V. V., Alexashov D. B. «Energetic pickup proton population downstream of the termination shock as revealed by IBEX-Hi data» (2022) // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society (Q1 WoS), 509(4), 5437–5453, DOI: 10.1093/mnras/stab3214

4. Общая формулировка научной проблемы и ее актуальность

Локальная межзвёздная среда (ЛМС) является частично-ионизованной и содержит, помимо плазменной компоненты, также и атомы различных элементов (H, He, O, Ne и др.), которые могут проникать в гелиосферу из-за относительного движения Солнца и ЛМС. В результате ионизации межзвёздных атомов водорода, основной по космическому содержанию нейтральной компоненты, в области сверхзвукового солнечного ветра образуются захваченные протоны, которые захватываются гелиосферным магнитным полем и переносятся во внутренний ударный слой (в область между гелиосферной ударной волной и гелиопаузой). На своём пути захваченные протоны могут испытывать стохастическое ускорение, вызванное турбулентностью солнечного ветра, ускорение при взаимодействии с распространяющимися межпланетными ударными волнами, и ускорение на гелиосферной ударной волне, вследствие чего в распределении захваченных протонов по скоростям формируется высокоэнергетический «хвост».

Во внутреннем ударном слое, где плазма солнечного ветра замедлена и сильно нагрета ($T \sim 10^6$ K), атомы водорода вступают в процесс перезарядки с горячими протонами ($H + H^+ \rightleftharpoons H^+ + H$), что приводит к образованию энергичных нейтральных атомов (ЭНА) с энергиями порядка нескольких кэВ. Некоторые ЭНА двигаются в направлении Солнца, и часть из них попадает в окрестность орбиты Земли, где они регистрируются прибором IBEX-Hi (0.3–6 кэВ) на КА IBEX. ЭНА имеют большие длины свободного пробега, и измеряя потоки ЭНА можно получить информацию о распределении протонов в области гелиосферного ударного слоя. Данные прибора IBEX-Hi являются одним из немногих источников знаний о структуре границы гелиосферы, и их анализ при помощи численной модели позволяет верифицировать и уточнить используемую модель гелиосферы, накладывая существенные ограничения на её параметры.

5. Конкретная решаемая в работе задача и ее значение

В цикле работ была разработана кинетическая модель распределения захваченных протонов в гелиосфере. На основе данных наблюдений, полученных прибором IBEX-Hi, и численной модели было проведено параметрическое исследование и определены параметры энергичной популяции захваченных протонов, отвечающей за «хвосты» в распределении по скоростям, для различных положений за гелиосферной ударной волной. Таким образом, была проведена удаленная диагностика свойств границы гелиосферы, и, в частности, была восстановлена функция распределения захваченных протонов за гелиосферной ударной волной.

Популяция захваченных протонов оказывает динамическое влияние на глобальную структуру области взаимодействия солнечного ветра с локальной межзвёздной средой, поскольку эта компонента является доминирующей по давлению в гелиосфере. На текущий момент ни одна из существующих глобальных моделей гелиосферы не учитывает захваченные протоны самосогласованно и в рамках необходимого для их рассмотрения кинетического подхода. Таким образом, построение корректной кинетической модели распределения захваченных протонов в гелиосфере, которое проведено в цикле работ, выступает следующим шагом в развитии модели взаимодействия солнечного ветра с локальной межзвёздной средой.

6. Используемый подход, его новизна и оригинальность

Новизна и оригинальность работы заключается в использовании детального кинетического подхода при рассмотрении надтепловой составляющей протонов в гелиосфере (захваченных протонов) в трехмерной нестационарной постановке. Такой метод выгодно отличается от других существующих подходов, так как основан на фундаментальных физических законах, и на данный момент разработанная модель не имеет аналогов среди конкурирующих научных групп.

7. Полученные результаты и их значимость

Впервые на основе анализа данных КА IBEX были получены количественные оценки на параметры функции распределения энергичной компоненты захваченных протонов по скоростям для различных положений за гелиосферной ударной волной. Между данными наблюдений потоков ЭНА и теоретическими предсказаниями модели получено хорошее качественное соответствие, которое подтверждает валидность используемой глобальной модели гелиосферы Izmodenov and Alexashov [2015, 2020]. Полученные количественные оценки параметров энергичной популяции захваченных протонов за гелиосферной ударной волной могут быть использованы для верификации других моделей, имитирующих ускорение ионов на ударных волнах.