

Аннотация к работе

Zelenyi L.M., H.V. Malova, E.E. Grigorenko, V.Yu. Popov and E.M. Dubinin, Universal scaling of thin current sheets, Geophysical Research Letters, V. 47, issue 14, e2020GL088422, <https://doi.org/10.1029/2020GL088422>.

1. Авторы (ИКИ РАН): Л.М. Зеленый, Х.В. Малова, Е.Е. Григоренко, В.Ю. Попов;

2. Название: Универсальное масштабирование тонких токовых слоев

3. Ссылка на публикацию

Zelenyi, L. M., Malova, H. V., Grigorenko, E. E., Popov, V. Y., & Dubinin, E. M. (2020). Universal scaling of thin current sheets. Geophysical Research Letters, 47, e2020GL088422. <https://doi.org/10.1029/2020GL088422>

4. Общая формулировка научной проблемы и ее актуальность:

Тонкие токовые слои (ТТС) широко распространены в природе - это области, в которых может накапливаться, а затем взрывным образом высвободиться свободная энергия, что сопровождается магнитным пересоединением, ускорением частиц плазмы и волновой активностью. В процессе спутниковых исследований было показано, что ТТС являются ключевыми структурами, которые являются необходимыми триггерными элементами в динамических процессах магнитосфер планет солнечной системы. Ранее было показано, что ТТС представляют собой метастабильные вложенные структуры, где узкий электронный ток вложен внутрь более широкого протонного тока, а вся эта конфигурация вложена внутрь наиболее широкого плазменного слоя. Наиболее адекватным описанием подобной вложенной системы оказалось представление, когда ионы рассматривались в рамках квазиadiaбатического приближения, а электроны – в рамках магнитной гидродинамики. Проблема, однако, заключалась в том, что, в отличие от ионных масштабов (оценки которых были сделаны в рамках кинетического приближения) толщина тока намагниченных электронов, при усреднении уравнений движения по ларморовскому вращению, не масштабируется в рамках МГД - подхода. Более того, отсутствие экспериментальных данных для малых электронных масштабов привело к тому, что понимание физики электронов было неполным. Для ТТС как важных участников (триггеров) магнитосферной динамики физика электронов имеет первостепенное значение по двум причинам: (1) их очень тонкие и интенсивные токи обеспечивают существенный вклад в свободную энергию ТТС, (2) намагниченные электроны обеспечивают "жесткость" линий магнитного поля, предотвращая начало повторного магнитного пересоединения. Таким образом, они являются одним из главных факторов метастабильности ТТС. Исследования структуры электронного слоя могли бы способствовать лучшему пониманию этого очень важного явления, и, таким образом, являются очень актуальными для космической физики и могут иметь широкое применение для описания разнообразных космических систем..

В настоящей работе, в рамках теоретического рассмотрения, авторы обнаружили новые и необычные свойства очень узкого электронного слоя внутри тонкого ионного токового слоя. Было выведено выражение для их толщин, учитывающее взаимодействие электронного и ионного токовых слоев. Теоретические результаты сравнивались с имеющимися наблюдениями спутника Maven с высоким разрешением в хвосте

магнитосферы Марса. На достаточно убедительной статистике пересечений ТТС спутником Maven полностью подтверждено теоретическое предсказание о том, что вместо общепринятого линейного (по поперечной к слою координате z) профиля магнитного поля $B(z) \sim z$ в самом центре ТТС, где доминируют электронные токи, образуется совершенно иная структура с $B(z) \sim z^{1/3}$.

5. Конкретная решаемая в работе задача и ее значение;

Решена фундаментальная задача определения масштаба вложенного электронного тока в тонком токовом слое в бесстолкновительной космической плазме. Исследования электронных слоев имеют важное значение для понимания структуры и динамики распространенных в космосе тонких токовых структур, которые играют роль резервуаров свободной энергии и являются ключевыми структурами, участвующими в триггерном включении взрывной фазы суббури в магнитосферах планет. Проведенное исследование является очень актуальным и может иметь широкое применение для описания разнообразных систем в космосе.

6. Используемый подход, его новизна и оригинальность.

Используемый теоретический подход является новым и оригинальным как по методике исполнения, так и в связи с тем, что в последние десятилетия запущены новые космические миссии, позволяющие получать данные с высоким разрешением. Так, удалось сравнить результаты работы с наблюдениями, полученными в хвосте магнитосферы Марса спутником Maven. На очереди стоят новые исследования по сравнению результатов теории с данными миссии MMS, что позволит показать универсальность масштабирования электронных токовых слоев в ТТС.

7. Полученные результаты и их значимость.

Полученные результаты имеют мировой уровень и опубликованы в высокорейтинговом журнале. Описанные в статье модели носят экспериментально-ориентированный и предсказательный характер, основанный на анализе фундаментальных, универсальных свойств описываемых тонких токовых структур в бесстолкновительной космической плазме. Результаты свидетельствуют об универсальности законов природы в разных космических системах, где встречаются тонкие токовые слои – в короне Солнца, солнечном ветре, магнитосферах планет.